

**SYNDICAT MIXTE DES EAUX DE LA  
VALLEE DE L'HERAULT**



**CONSEIL DEPARTEMENTAL DE  
L'HERAULT**

---

**CAPTAGE DE CAZOULS D'HERAULT**

**SUIVI HYDROGEOLOGIQUE DU FORAGE DE  
RECONNAISSANCE FR-2020 ET SUIVI ET  
INTERPRETATION DE POMPAGE D'ESSAI**

**- Rapport final -**

**Février 2021**

**Rapport R- 2011a**



**ARTÉSIE** – 50, Chemin Marius Eynaud - 13310 Saint-Martin-de-Crau

Tel : 09.67.14.42.64 / 06.67.89.44.52

Email : [contact@artésie.com](mailto:contact@artésie.com) - Société à responsabilité limitée au capital de 2 000 €

SIREN : 501 233 308 RCS ARLES - n°TVA FR19501233308

---

# SOMMAIRE

---

<b>I. Contexte et objectifs de l'intervention.....</b>	<b>6</b>
<b>I.1. Cadre de l'intervention .....</b>	<b>6</b>
<b>I.2. Liste des études précédentes .....</b>	<b>7</b>
<b>I.3. Localisation du forage de reconnaissance.....</b>	<b>8</b>
<b>I.4. Contexte géologique et hydrogéologique .....</b>	<b>13</b>
<b>I.5. Données disponibles sur les ouvrages actuels .....</b>	<b>17</b>
<b>I.6. Les Pompages d'essai historiques .....</b>	<b>20</b>
I.6.1. Pompage d'essai de septembre 1998 (Eau&Geoenvironnement) .....	20
I.6.2. Pompage d'essai d'octobre 2007 (Eau&Geoenvironnement).....	21
I.6.3. Conclusion.....	22
<b>I.7. Connaissance préalable de la configuration locale des alluvions .....</b>	<b>22</b>
<b>II. Compte-rendu de suivi hydrogéologique du forage FR-2020 .....</b>	<b>23</b>
<b>II.1. Déroulement du chantier .....</b>	<b>23</b>
<b>II.2. Coupe géologique et technique du forage FR-2020 .....</b>	<b>26</b>
<b>III. Pompage d'essai sur FR2020 d'octobre 2020 (ARTESIE).....</b>	<b>27</b>
<b>III.1. Principes du pompage d'essai.....</b>	<b>27</b>
III.1.1. Principes de l'essai de puits ou Pompage par paliers .....	27
III.1.2. Principes de l'essai de nappe ou pompage de longue durée.....	27
<b>III.2. Suivi piézométrique du forage et du piézomètre.....</b>	<b>28</b>
<b>III.3. Conditions de mise en œuvre de l'essai d'octobre 2020 .....</b>	<b>31</b>
<b>III.4. Résultats de l'essai de puits (pompage par paliers) .....</b>	<b>36</b>
III.4.1. Suivi des niveaux / DEBITS .....	36
III.4.2. Suivi qualitatif .....	37
III.4.3. Interprétation du pompage par paliers .....	38
<b>III.5. Résultats de l'essai de nappe (longue durée).....</b>	<b>39</b>
III.5.1. Suivi des niveaux .....	39
III.5.2. Suivi qualitatif .....	42
III.5.3. Interpretations .....	43
III.5.4. Interprétation du pompage d'essai du 20 octobre 2020 sur FR-2020 .....	45

---

III.5.5. Discussion des enseignements du pompage d'essai.....	49
<b>IV. Conclusions et perspectives.....</b>	<b>52</b>
<b><u>Liste des annexes</u>.....</b>	<b>55</b>
<b>Annexe 1 : Planche photographique du chantier de forage.....</b>	<b>56</b>
<b>Annexe 2 : Résultats des analyses granulométriques .....</b>	<b>71</b>

## LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Tableau 1 – Liste des études hydrogéologiques connues sur le site de Cazouls d'Hérault.....	7
Tableau 2 – Emplacement du forage .....	11
Tableau 3 – Caractéristiques des puits et forages présents sur le site .....	17
Tableau 4 – Mesures des profondeurs actuelles le 19 novembre 2020 .....	17
Tableau 5 – Rabattements lors du pompage d'essai de septembre 1998 .....	20
Tableau 6 – Rabattements atteints lors du pompage d'essai 16-17 octobre 2007 .....	21
Tableau 7 – Bilan du suivi de la pose du massif filtrant.....	25
Tableau 8 - Conditions de mise en œuvre de l'essai par pompages d'octobre 2020 sur FR-2020.....	31
Tableau 9 – Rabattements en fin d'essai longue durée à 60 m <sup>3</sup> /h sur FR-2020 .....	41
Tableau 10 – Résumé des paramètres hydrodynamiques issus des ajustements de Theis et de Jacob des premières 13h44 de la descente de l'essai sur FR-2020 du 20 octobre 2020.....	48
Tableau 11 – Niveaux statiques mesurés sur le site (ou approchés d'après les courbes piézométriques pour les puits exploitation).....	49
Figure 1 : Localisation du site au 1 / 25 000 .....	8
Figure 2 : Localisation du site sur fond aérien au 1 / 1 000 .....	9
Figure 3 : Plan du périmètre de protection immédiate au 1 / 1 000.....	10
Figure 4 : Profil géophysique P2 – méthode des panneaux électriques Pôle-Dipôle (rapport Géophy, décembre 2017) .....	12
Figure 5 - Extrait de la carte géologique au 1 / 50 000.....	13
Figure 6 – Carte piézométrique basses eaux de la nappe de l'Hérault (20 novembre 2000) au 1 / 200 000.....	14
Figure 7 – Carte piézométrique hautes eaux de la nappe de l'Hérault (26 décembre 2000) au 1 / 200 000 .....	15
Figure 8 – Carte piézométrique locale moyennes eaux (avril 2007) .....	16
Figure 9 – Coupe technique du puits de Boyne .....	18
Figure 10 – Coupe géologique du forage Martin .....	19
Figure 11 – Cartographie des anciens chenaux historiques de l'Hérault (d'après Soulié, 1975 et BRPG, 1986) .....	22
Figure 12 – Coupe géologique et technique du nouveau forage FR-2020.....	26
Figure 13 – Suivis piézométriques sur le site de Cazouls .....	29
Figure 14 – Contexte hydrologique des investigations .....	32
Figure 15 – Photographies du 15 octobre 2020 .....	33
Figure 16 – Suivis des niveaux d'eau lors du pompage d'essai d'octobre 2020 – Ensemble des courbes.....	35
Figure 17 – Suivis du pompage par paliers du 16 octobre 2020 .....	36
Figure 18 – Suivi qualitatif du pompage par paliers du 16 octobre 2020 .....	37
Figure 19 - Ajustement du pompage par paliers – 16 octobre 2020, forage FR2020.....	38
Figure 20 – Suivi du pompage longue durée du 20 au 21 octobre 2020.....	40
Figure 21 – Suivi qualitatif de l'eau du forage FR-2020 durant l'essai longue durée (oct. 2020) .....	42
Figure 22 : Validité de l'hypothèse du régime permanent par pompage sur le puits Hérault pendant l'essai sur FR-2020 .....	44
Figure 23 : Ajustements de Theis et Jacob en nappe libre des premières 13h44 de la descente l'essai sur FR-2020 .....	45
Figure 24 : Temps d'atteinte du point d'inflexion (=temps d'atteinte de la limite étanche) lors de l'essai sur FR-2020 .....	48
Figure 25 : Coupe hydrogéologique schématique longitudinale NNE / SSO du site (coupe n°1) .....	50
Figure 26 : Coupe hydrogéologique schématique transversale ONO / ESE du site (coupe n°2) .....	50
Figure 27 : Localisation des coupes hydrogéologiques.....	51

Ce dossier a été réalisé pour le SMEVH (sous la direction du Conseil Départemental de l'Hérault) par :

	<p><b>ARTÉSIE</b> – 50, Chemin Marius Eynaud – 13310 Saint-Martin-de-Crau 09.67.14.42.64 06.67.89.44.52 – Email : <a href="mailto:contact@artésie.com">contact@artésie.com</a></p>
--	--

Date d'émission	Numéro rapport	indice	Rédaction
18 décembre 2020	R-2011	-	Y. ARGOUARC'H
28 février 2021		a	

# I. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'INTERVENTION

## I.1. CADRE DE L'INTERVENTION

Le SMEVH exploite le site de captage de Cazouls d'Hérault constitué de deux puits dans la nappe alluviale en rive droite de l'Hérault : le puits Hérault au Nord et le puits Boyne au Sud, respectivement situés à 33 et 42 m en rive droite du cours d'eau et à 60 m de distance l'un de l'autre. Ces deux puits sont constitués d'un tubage en béton armé de 3 000 mm de diamètre et de 30 cm d'épaisseur percé de barbacanes qui en constituent la partie captante. Leur fond est en contact direct avec les alluvions et il se trouve à 9,4 m de profondeur par rapport au terrain naturel pour le puits Hérault et à 8,7 m pour le puits Boyne.

Le puits de Boyne, présentant un débit d'exploitation en baisse par rapport à la situation passée, il a fait l'objet en 2016 d'une opération de décolmatisation de ses barbacanes par scaphandriers puis d'un pompage de nettoyage Sondalp. L'opération a permis d'améliorer sa productivité de 40%. Du fait d'une apparition de turbidité, ce puits a également fait l'objet d'une opération de décolmatisation des fines en 2019-2020 par le SMEVH par injection d'eau dans les barbacanes.

Le site est également muni d'un bâtiment d'exploitation bâti au-dessus d'une bêche de pompage de 10 m de diamètre et de 7,6 m de profondeur par rapport au terrain naturel, dont le fond n'est pas étanche. En réalité, il s'agit donc d'un puits incomplet.

Le Conseil Départemental de l'Hérault, Maître d'ouvrage mandataire de la commune, a lancé une étude hydrogéologique de recherche d'eau afin d'augmenter le potentiel de production pour faire face à l'évolution des besoins actuels et futurs.

La nappe contenue dans les alluvions récentes de l'Hérault constituant selon les connaissances actuelles la ressource la plus à même de répondre aux objectifs de la recherche, il a été décidé de s'intéresser à l'optimisation de l'actuel site de captage.

Une étude géophysique de reconnaissance de la nature et de l'épaisseur des alluvions a été effectuée en décembre 2017 par le bureau d'études Géophy à la demande du CD34, basée sur la réalisation de 3 profils en travers par la méthode des panneaux électriques. Cette étude a permis de repérer la présence d'une zone potentielle de paléochenal potentiellement plus transmissive, avec proposition d'un site de foration potentiellement le plus favorable à quelques mètres au Sud de la bêche de pompage.

Dans ce cadre, ARTESIE a été missionné pour le suivi hydrogéologique du forage et le suivi et l'interprétation du pompage d'essai.

Le présent rapport comprend à ce stade conformément au CCTP le suivi de la réalisation d'un forage de reconnaissance convertible en forage d'exploitation et d'un pompage d'essai par paliers non enchainés et d'un pompage continu à débit constant de longue durée.

## I.2. LISTE DES ETUDES PRECEDENTES

La liste des études liées à notre connaissance au captage étudié est reportée dans le tableau suivant.

**Tableau 1 – Liste des études hydrogéologiques connues sur le site de Cazouls d'Hérault**

Date	Dénomination étude	Auteur	Maître d'ouvrage	Transmis
Octobre 1938	<i>Rapport géologique sur le projet d'adduction d'eau potable des communes de Roujan, Caux, Adissan, Nizas, Cazouls d'Hérault, Alignan-du-Vent, Tourbes</i>	<i>M. Thoral</i>	<i>Communes ?</i>	
Août 1974	<i>Rapport sur les possibilités d'aménagement des captages du SMEVH à Cazouls d'Hérault</i>	<i>C. Joseph</i>	<i>SMEVH</i>	
Février 1976	Rapport géologique sur les possibilités de captage au confluent de l'Hérault et de la Boyne - Cazouls d'Hérault	C. Joseph	SMEVH	Oui
Mars 1976	<i>Rapport préliminaire sur les possibilités d'aménagement du site de captage du SMEVH au confluent de la Boyne et de l'Hérault</i>	<i>C. Joseph</i>	<i>SMEVH</i>	
Octobre 1976	Expertise géophysique du chenal alimentant la station de pompage du SMEVH	M. Soulie	SMEVH	Oui
Avril 1986	Etude des alluvions de l'Hérault Cazouls d'Hérault - Prospection électrique	BRPG	DDAF34	Oui
Juillet 1986	Coupe géologique des 5 forages d'exploration (sans plan)	Boniface Forages	DDAF34	Oui
Juin 1998	Essais par pompage sur la station de Cazouls d'Hérault juin 1998	Eau et Géoenvironnement	SMEVH	Oui
Septembre 1998	Essais par pompage sur la station de Cazouls d'Hérault septembre 1998	Eau et Géoenvironnement	SMEVH	Oui
Juin 1999	Essais d'infiltration au niveau des formations de surface - Alluvions de l'Hérault à Cazouls et Usclas d'Hérault	Eau et Géoenvironnement	SMEVH	Oui
Février 2008	Essais par pompage sur la station de Cazouls d'Hérault octobre 2007	Eau et Géoenvironnement	SMEVH	Oui
Février 2008	Vulnérabilité de l'aquifère - Puits SMEVH	Eau et Géoenvironnement	SMEVH	Oui
Juillet 2008	<i>Volet pesticides - Etudes du schéma directeur en eau potable - Cazouls d'Hérault</i>	<i>ENTECH/TERTIA/BeMEA</i>	<i>SMEVH</i>	
Août 2008	Dossier préalable à l'intervention de l'Hydrogéologue Agréé en matière d'Hygiène Publique - Champ de captage des puits Boyne et Hérault	Eau et Géoenvironnement	SMEVH	Oui
Août 2009	Avis de l'Hydrogéologue Agréé en matière d'Hygiène Publique - Champ captant de Cazouls d'Hérault - Puits de Boyne et Puits d'Hérault	F. Touet	SMEVH	Oui
Janvier 2011	Avis de l'Hydrogéologue Agréé en matière d'Hygiène Publique - Additif au rapport final du 22 août 2009 - Champ captant de Cazouls d'Hérault - Puits de Boyne et Puits d'Hérault	F. Touet	SMEVH	Oui
Novembre 2012	Avis de l'Hydrogéologue Agréé en matière d'Hygiène Publique - Note modificative - Captage des puits Boyne et d'Hérault - Cazouls d'Hérault	F. Touet	SMEVH	Oui

### I.3. LOCALISATION DU FORAGE DE RECONNAISSANCE

Les profils géophysiques de décembre 2017, les installations existantes et l'implantation du forage FR-2020 sont localisés sur fond de plan IGN sur la figure 1 et sur fond de carte géologique sur la figure 2.

Figure 1 : Localisation du site au 1 / 25 000

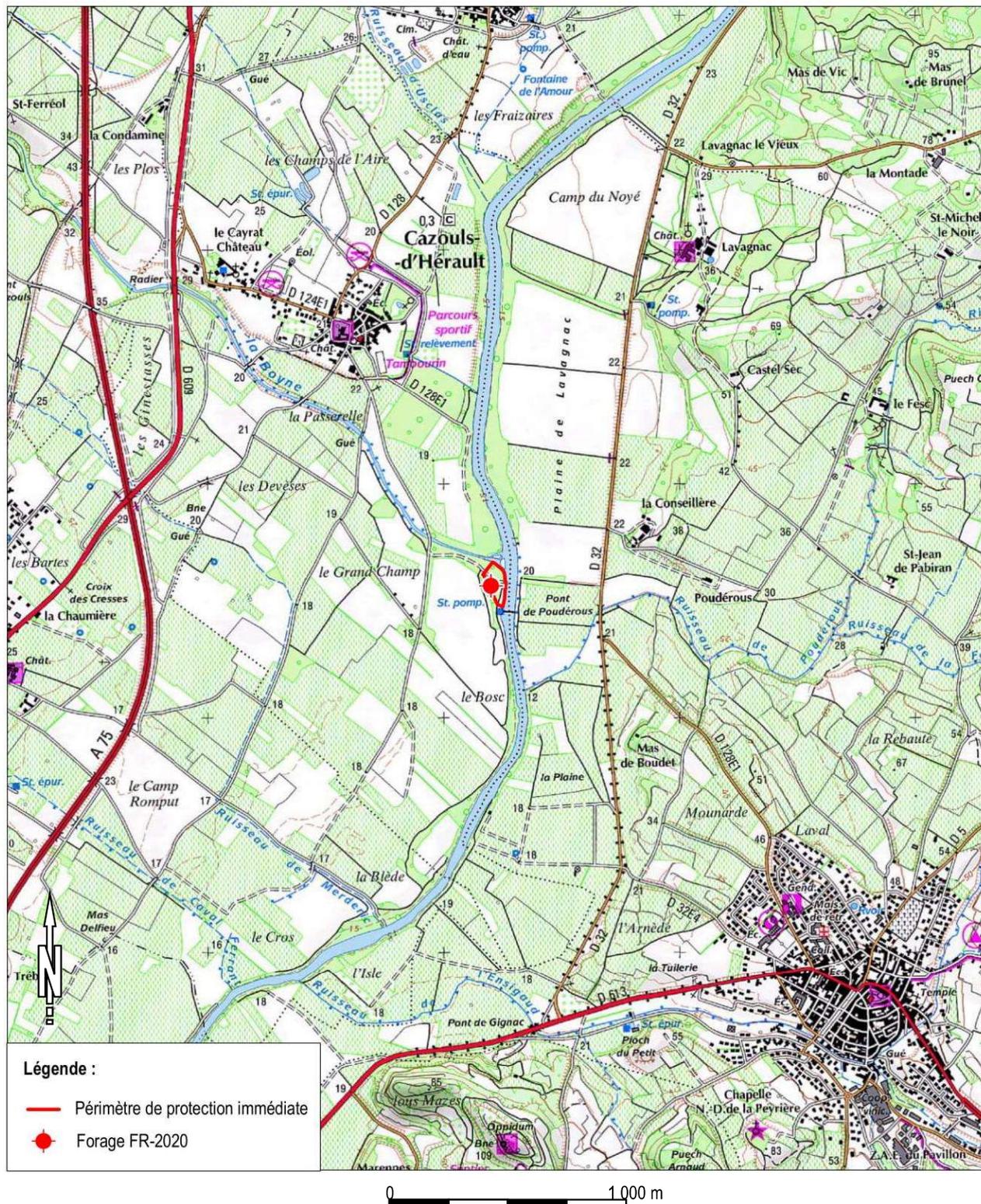


Figure 2 : Localisation du site sur fond aérien au 1 / 1 000

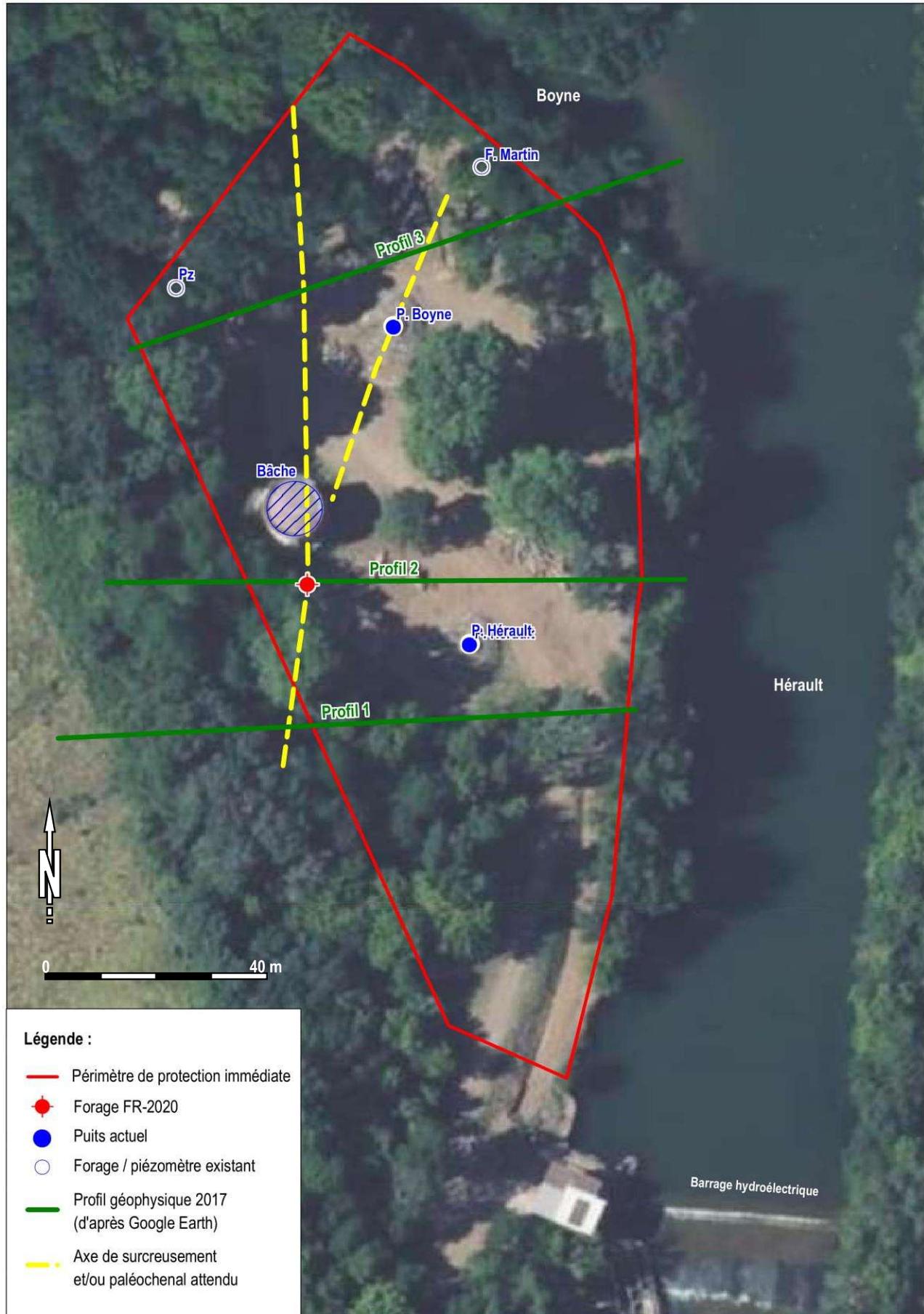
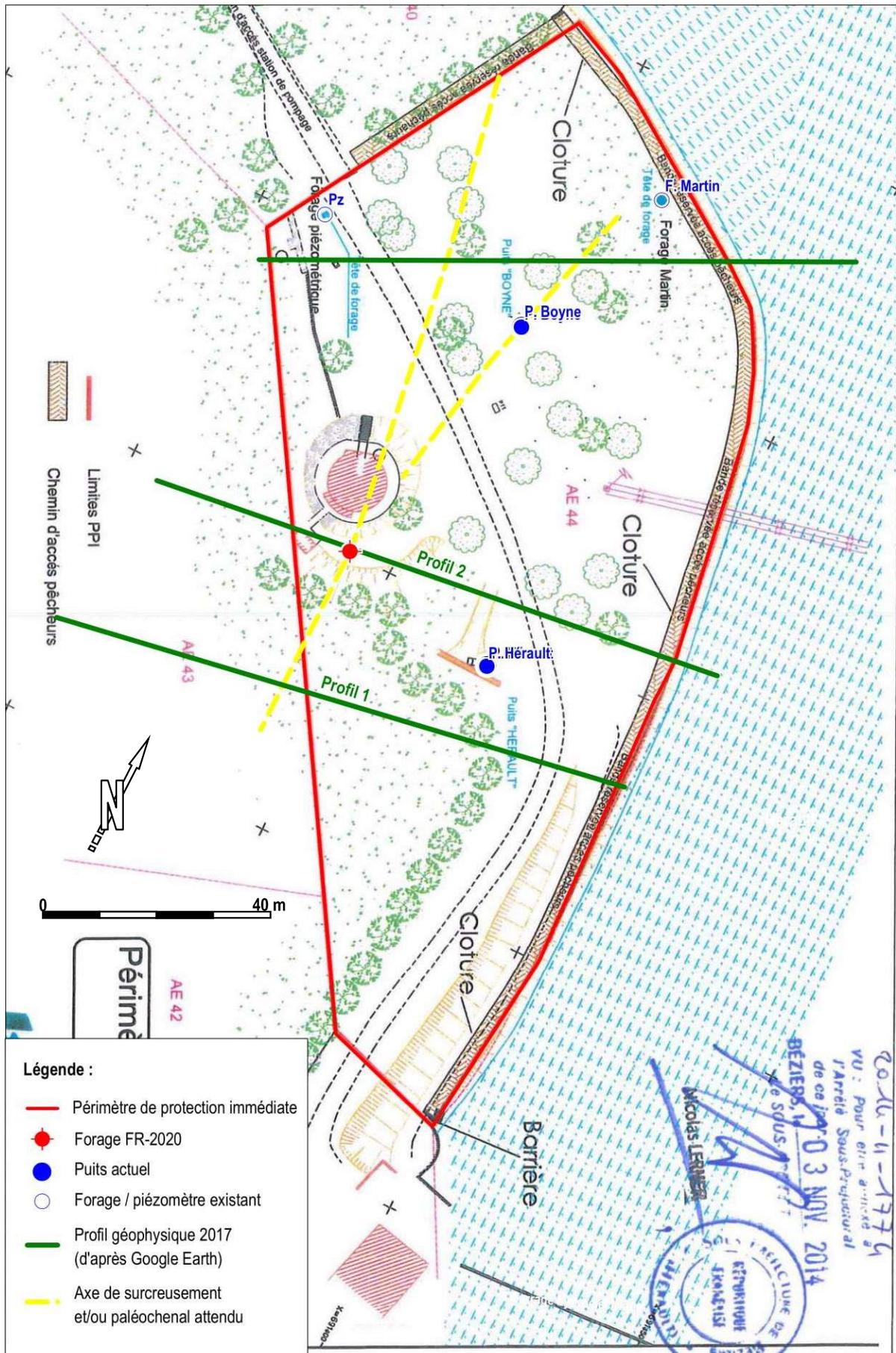


Figure 3 : Plan du périmètre de protection immédiate au 1 / 1 000



Le forage FR-2020 est localisé à 7 m au Sud de la structure enterrée de la bache de pompage (figures 2 et 3). Il a été implanté au droit du point proposé à l'issue de l'étude géophysique (Géophy, décembre 2017), au niveau de l'électrode n°15 du profil numéro 2. La méthode pôle-dipôle a été retenue pour l'implantation du forage, cette méthode s'intéressant à la zone profonde des alluvions qui nous intéresse ici (contrairement à la méthode Schlumberger, utilisée ici pour l'auscultation des formations de surface).

La parcelle concernée par le projet est la suivante :

**Tableau 2 – Emplacement du forage**

<b>Région :</b>	Occitanie
<b>Département :</b>	Hérault
<b>Commune :</b>	Cazouls d'Hérault
<b>Lieu-dit :</b>	Clocher
<b>Section cadastrale :</b>	AE
<b>N° de parcelle :</b>	44

La parcelle appartient au SMEVH.

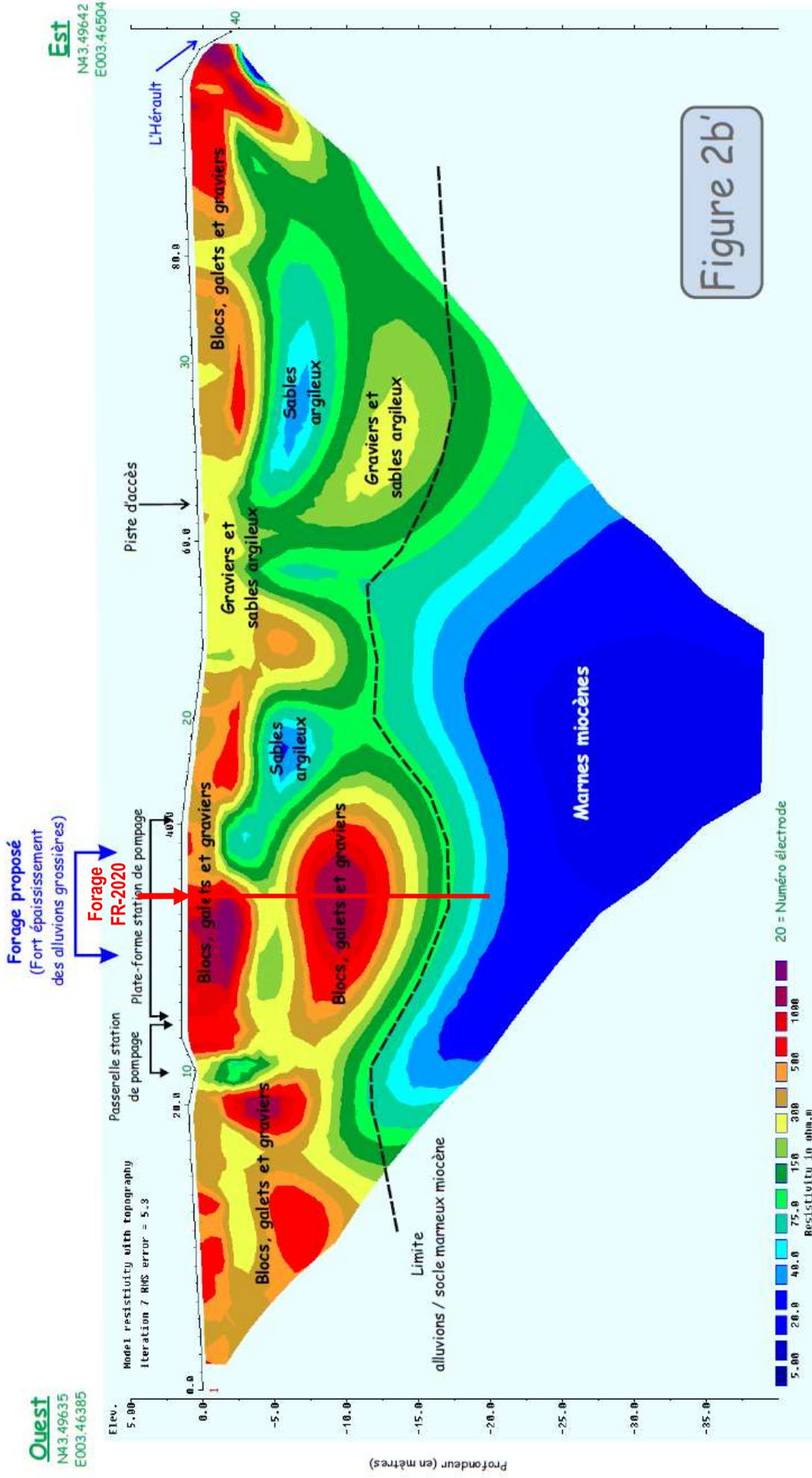
Les coordonnées du forage, exprimées dans le système de référence Lambert 93, sont les suivantes (mesurées par nos soins par GPS différentiel en réseau pour X et Y et par nivellement manuel par rapport au repère IGN n°MD-L3-89 situé au pied du puits Hérault) :

<b>X = 737 564,4</b>	<b>Y= 6 266 477,6 m</b>	<b>Z (TN) = 19,88 m NGF</b>	<b>Z (haut tubage) = 20,63 m NGF</b>
----------------------	-------------------------	-----------------------------	--------------------------------------

La nappe exploitée est incluse dans les formations alluviales de l'Hérault, dont voici la fiche entité hydrogéologique SANDRE :

<b>Numéro :</b>	FRDG 311
<b>Nom</b>	Alluvions de l'Hérault
<b>Structure :</b>	Monocouche – Entité hydrogéologique à partie libre

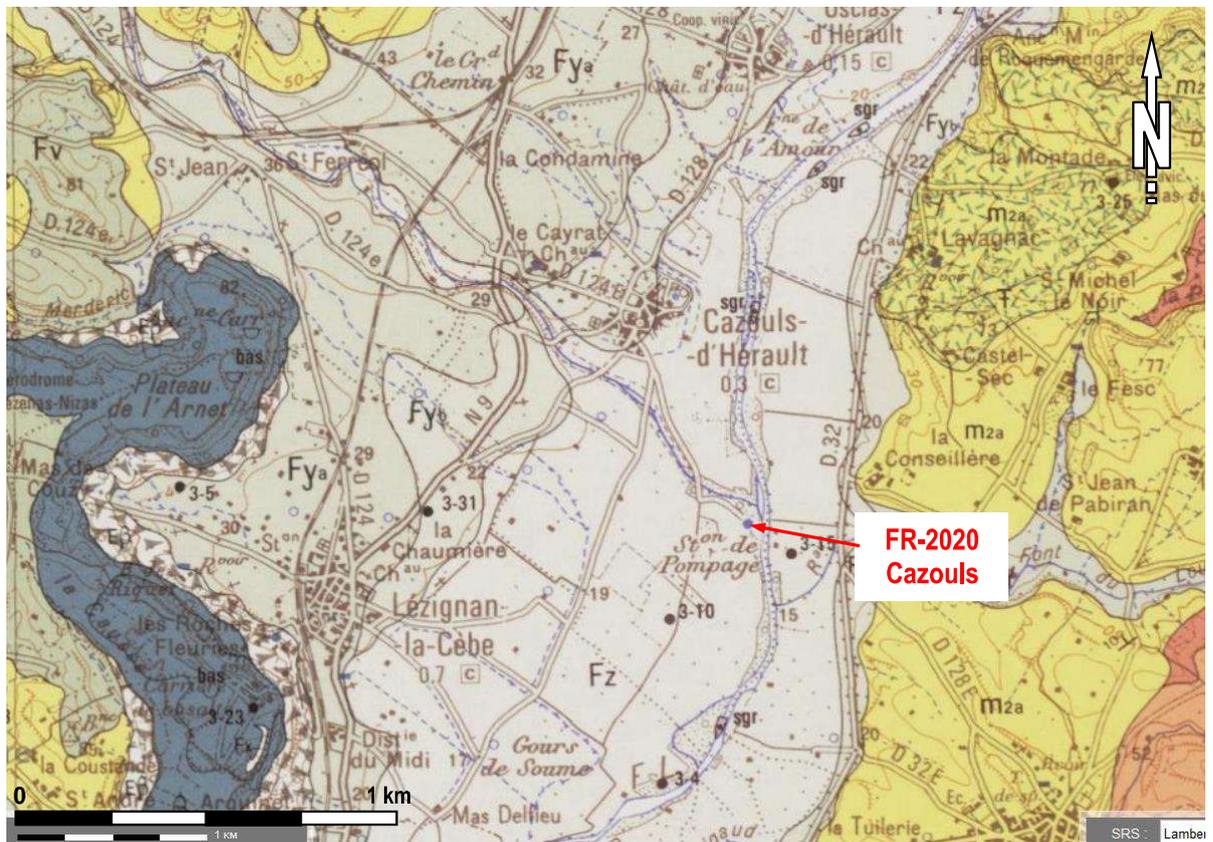
Figure 4 : Profil géophysique P2 – méthode des panneaux électriques Pôle-Dipôle (rapport Géophy, décembre 2017)



## I.4. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

On reporte ci-dessous un extrait de la carte géologique locale au 1/50 000<sup>ème</sup> du BRGM.

Figure 5 - Extrait de la carte géologique au 1 / 50 000



### Légende :

Fz : Alluvions récentes

Fy : Alluvions modernes de basses terrasses

Fx : Alluvions anciennes de hautes terrasses

m2a3 : Miocène : calcaire lumachelique dans molasse sableuse et marnes bleues

m2a : Miocène : molasse sableuse et marnes bleues de l'Hélvétien

Les alluvions modernes et récentes s'étendent sur environ 75 km<sup>2</sup> avec une largeur croissante vers l'aval. Elles sont constituées de formations détritiques à granulométrie croissante en fonction de la profondeur. On rencontre en général la succession de terrains suivante de haut en bas :

- limons d'inondation apportés par les crues de l'Hérault,
- sables,
- graviers et sables.

Le captage et le secteur étudié concernent une langue d'alluvions récentes en rive droite de l'Hérault. Les alluvions sont néanmoins peu étendues dans le secteur en rive gauche mais atteignent parfois des épaisseurs parfois non négligeables à la faveur des anciens chenaux du cours d'eau.

La nappe étudiée est contenue dans les alluvions graveleuses et sableuses perméables de l'Hérault alimentée par le cours d'eau, les précipitations et par la nappe des alluvions des terrasses anciennes depuis le Nord-Ouest.

Figure 6 – Carte piézométrique basses eaux de la nappe de l'Hérault (20 novembre 2000) au 1 / 200 000  
Extrait du rapport BRGM RP-51326-FR (projet PACTES, 2001)

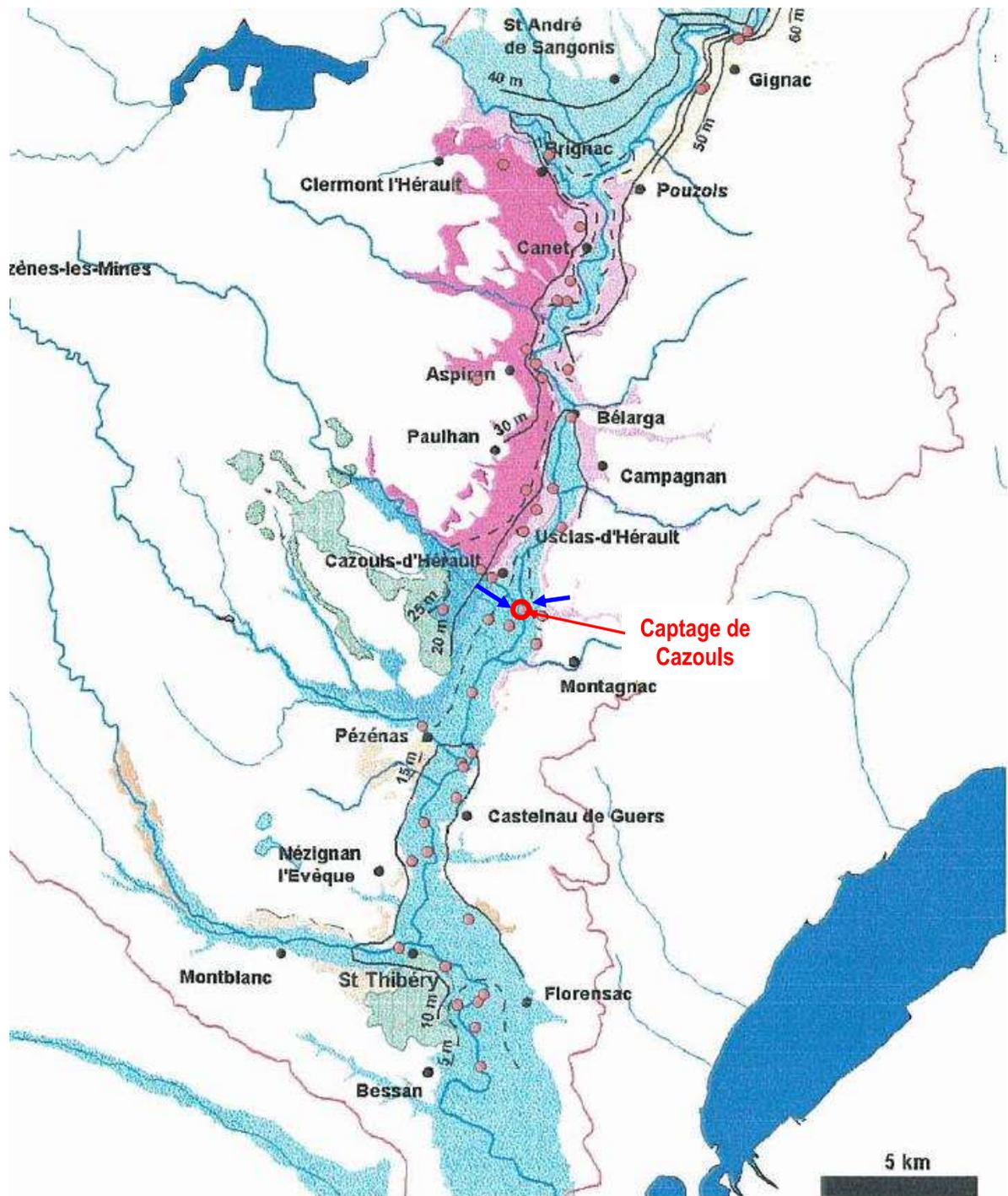
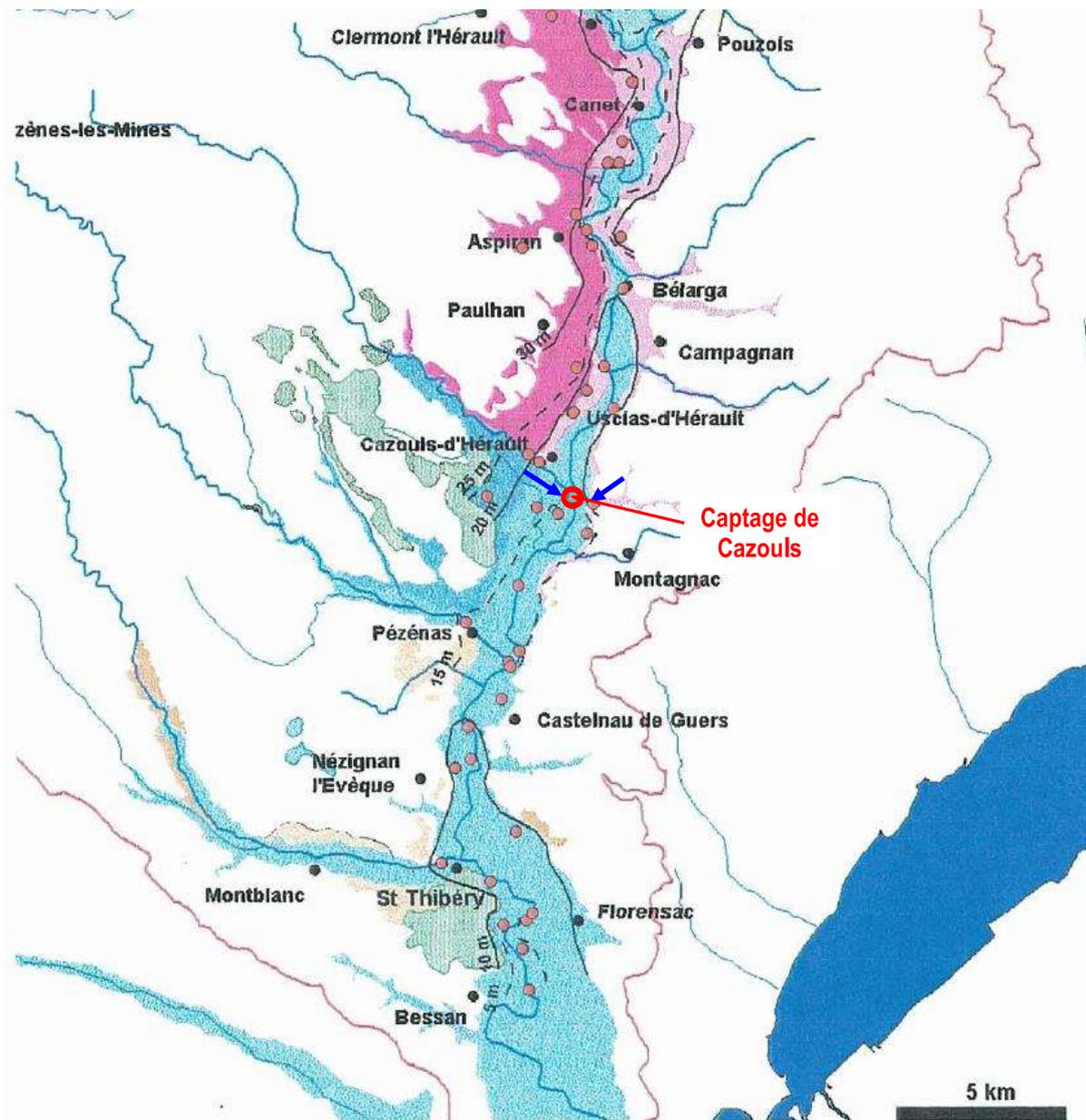


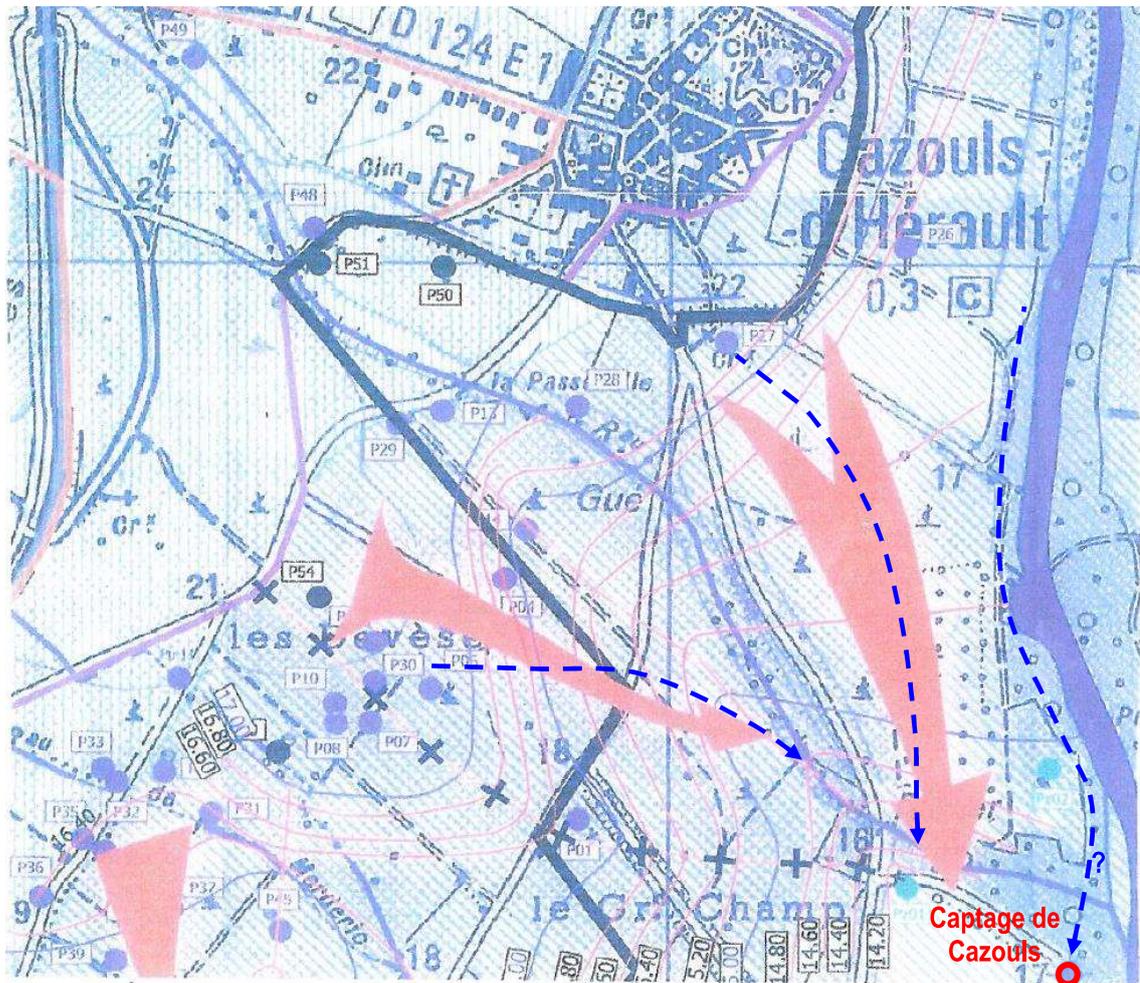
Figure 7 – Carte piézométrique hautes eaux de la nappe de l'Hérault (26 décembre 2000) au 1 / 200 000  
Extrait du rapport BRGM RP-51326-FR (projet PACTES, 2001)



Selon la carte piézométrique locale de moyennes eaux d'avril 2007 (Eau et Géoenvironnement, figure suivante), la nappe s'écoule localement entre une direction du Nord vers le Sud, parallèle à l'Hérault (côté Est) et une direction du Nord-Ouest au Sud-Est (secteur des coteaux à l'Ouest).

Le site de captage a fait l'objet d'un certain nombre d'études dont l'historique est résumé dans le paragraphe I.2. L'épaisseur locale de la nappe en étiage sur le site est d'après les forages et piézomètres du site comprise entre 5 et 6 m.

Figure 8 – Carte piézométrique locale moyennes eaux (avril 2007)  
Extrait du rapport de l'hydrogéologie agréé F. Touet (janvier 2011)



Les résultats de la campagne de mesures géophysiques de décembre 2017 suggèrent la présence au droit d'un site d'une zone de paléochenal plus transmissive avec un surcreusement du substratum. L'axe de ce paléochenal potentiel est représenté sur les figures 2 et 3. Selon la méthode des panneaux électriques, la profondeur attendue du substratum au droit du site potentiellement le plus favorable (électrode 15 du profil 2) est de 16 m par rapport au terrain naturel (17 m par rapport au sommet de la plate-forme de remblai présente à cet endroit). Cette valeur est à comparer au substratum réellement reconstruit sur le site aux profondeurs de 11,35 m au droit du forage Martin et de 8,5 m au droit du puits Hérault.

## I.5. DONNEES DISPONIBLES SUR LES OUVRAGES ACTUELS

L'implantation du site de captage de Cazouls d'Hérault aurait été effectuée dans les années 1930 à 50 à la suite d'un rapport de M. Thorat du 19 octobre 1938. Ce rapport n'ayant pu être retrouvé, nous ne connaissons pas les critères de choix et les moyens d'investigation éventuels utilisés.

Le captage est muni d'une Déclaration d'Utilité Publique du 3 novembre 2014 autorisant le prélèvement de 8 600 m<sup>3</sup>/jour à raison de 430 m<sup>3</sup>/h sur l'ensemble des deux puits.

Les puits Boyne et Hérault sont chacun constitués d'une structure de béton armée circulaire de diamètre intérieur 3 000 mm et de profondeurs respectives 8,85 et 9,4 m par rapport au terrain naturel. Les deux puits sont munis d'une soixantaine de barbacanes de diamètre DN 50 mm (68 dans le puits Boyne, dont 5 ont été bouchées par le SMEVH en raison d'un apport de fines plus important).

On reporte dans le tableau suivant les principales caractéristiques dimensionnelles des puits et forages présents sur le site, obtenues dans la bibliographie et confirmées ou précisées par nos mesures sur site.

**Tableau 3 – Caractéristiques des puits et forages présents sur le site**

Puits	Puits Boyne	Puits Hérault	Forage Martin	Piézomètre
X Lambert 93 centre de l'ouvrage (m)	737 579,5	737 594	737 595	737 540
Y Lambert 93 centre de l'ouvrage (m)	6 266 525	6 266 467	6 266 554	6 266 532
Objet	En exploitation		Exploration	Surveillance
Date travaux	Années 30 à 50	Années 30 à 50	Entre 1976 et 1977	Avant 1998
Cote TN (m NGF)	18.87	18.7	18.80	18.92
Tubage (mm)	3000 mm béton armé, percé d'une soixantaine de barbacanes DN 50 mm		609 mm acier	193 mm acier
Profondeur annoncée / TN (m)	8.85	9.43	11.35	-
Cote fond annoncée (m NGF)	10.02	9.27	7.45	9.16
<b>Profondeur substratum marneux / TN (m)</b>	<b>&gt;11.25</b>	-	<b>10.9</b>	-
<b>Cote substratum marneux (m NGF)</b>	<b>&lt;7.55</b>	-	<b>7.9</b>	-
Débit d'exploitation (m <sup>3</sup> /h)	100 à 200	100 à 200	-	-
Débit maximal estimé (m <sup>3</sup> /h)	200	220	0	-

**Tableau 4 – Mesures des profondeurs actuelles le 19 novembre 2020**

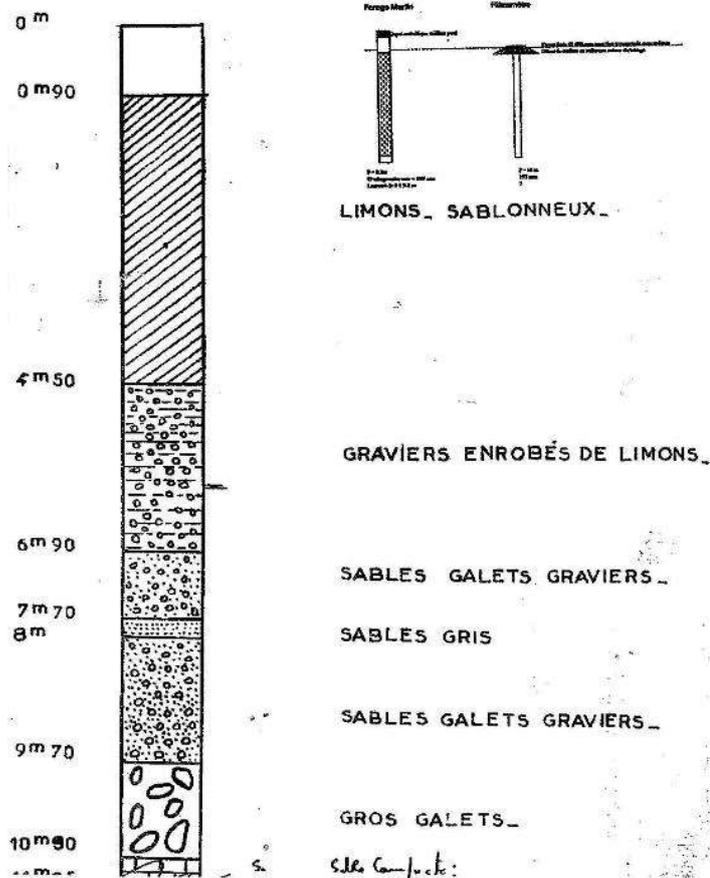
Puits	Puits Boyne	Puits Hérault	Forage Martin	Piézomètre
Repère piézométrique novembre 2020	Radier béton tête de puits		Rebord tube acier	Rebord tube (bride)
Cote repère piézométrique novembre 2020 (m NGF)	21.67	21.48	19.22	19.90
Profondeur annoncée ouvrages / repère (m)	11.65	12.21	11.77	-
Profondeur ouvrages / repère - mesure 19-11-2020 (m)	11.56	12.13	7.9 (en partie comblé)	10.82

Les mesures du fond des ouvrages effectuées le 19 novembre 2020 dépassent de 8 à 9 cm les cotes altimétriques annoncées, probablement en raison la présence de matériaux alluvionnaires déposés dans le fond (en majorité des fines d'après les observations du SMEVH). Le fond des deux puits n'est pas étanche et le SMEVH y a observé la présence de venues d'eau non négligeables. La surface du fond de chaque puits est voisine de 7,1 m<sup>2</sup>, à comparer aux 0,12 m<sup>2</sup> estimés d'ouvertures cumulés développés par les 63 barbacanes du puits Boyne. Au vu des débits exploités et des rabattements limités en situation de pompage malgré la surface limitée des barbacanes, il est fort à parier qu'une partie importante du débit provienne du fond des ouvrages.



Le site comprend également un ancien forage d'exploration dit Forage Martin réalisé à 7 m de la confluence de la Boyne dans l'Hérault dont la coupe est la suivante :

Figure 10 – Coupe géologique du forage Martin



Le forage martin, dont la profondeur annoncée est voisine de 11 m, ne fait plus aujourd'hui que 7,6 m de profondeur par rapport au terrain naturel. Il se trouve donc en partie comblé, mais d'après sa coupe, il se trouverait encore en contact avec la partie supérieure de l'aquifère (sables, galets et graviers entre 6,9 et 7,6 m de profondeur)

## I.6. LES POMPAGES D'ESSAI HISTORIQUES

Les documents disponibles décrivent la réalisation des essais suivants :

- Juin 1998 ;
- Septembre 1998 (étiage) ;
- Octobre 2007.

On s'intéresse aux deux derniers, réalisés en période d'étiage, période stratégique pour l'évaluation du potentiel du captage.

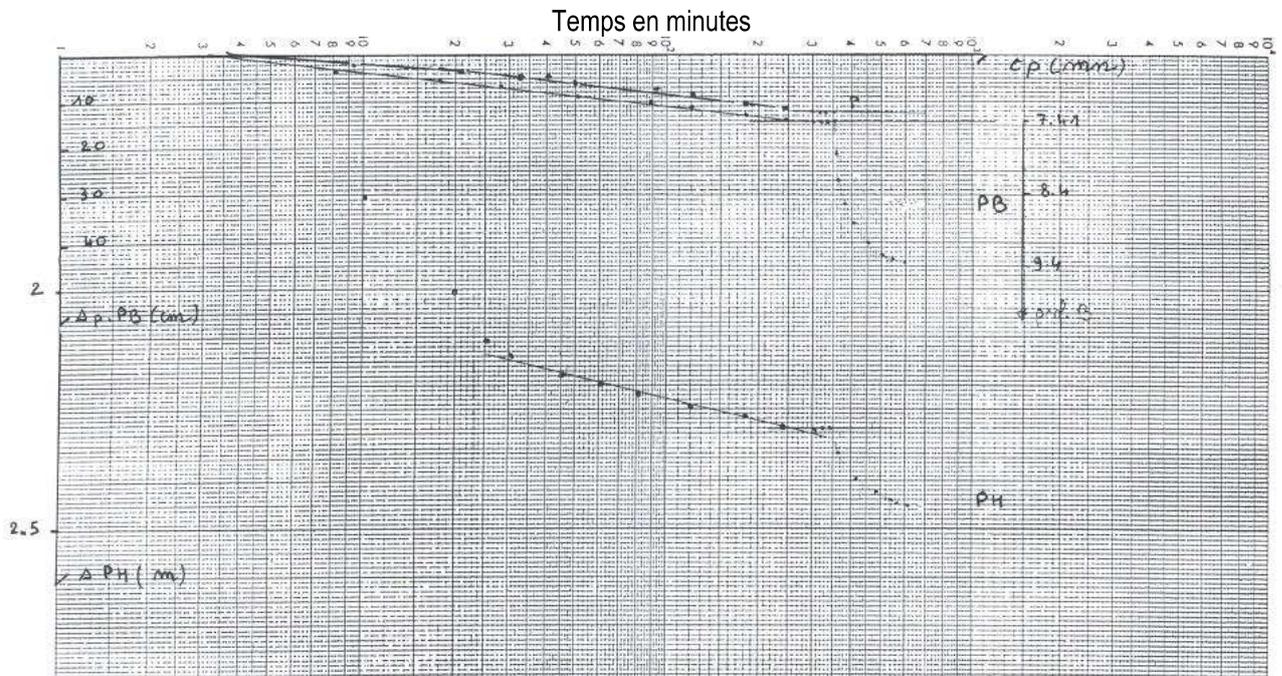
### I.6.1. POMPAGE D'ESSAI DE SEPTEMBRE 1998 (EAU&GEOENVIRONNEMENT)

L'essai du 9 septembre 2020 a été effectué au moyen d'un pompage de 220 m<sup>3</sup>/h sur le Puits Hérault complété 5h30 après par un pompage de 205 m<sup>3</sup>/h (pompage cumulé de 425 m<sup>3</sup>/h pendant 6 h supplémentaires) sur le Puits Boyne et avec rejet intégral à l'Hérault.

Tableau 5 – Rabattements lors du pompage d'essai de septembre 1998

	NIVEAU STATIQUE	ND après 1° stabilisation	ND après 2° pseudo -stabilisation	Rabattement final en ml.
Puits Boyne	14.73	14.59	12.64	2.09
Puits Hérault	14.59	12.31	12.16	2.43
Piézomètre	14.57	14.45	14.27	0.30

La tranche d'eau résiduelle en fin d'essai par déduction de la cote du fond est estimée à 2,62 m dans le puits Boyne et 2,89 m dans le puits Hérault. Il restait donc à ce débit respectivement pour les puits Boyne et Hérault 56% et 54% de leur tranche d'eau initiale.



Le compte-rendu évoque une pseudo stabilisation au bout de 5 h dans chaque ouvrage (avec un rabattement résiduel de 1 cm / heure). Les courbes semi-logarithmiques montrent qu'il ne s'agit pas d'une stabilisation réelle liée à l'atteinte éventuelle d'une limite d'alimentation (Hérault et/ou Boyne) qui mettrait plus de temps à se manifester.

Eau & Géoenvironnement a procédé à un ajustement des courbes de descente pour déterminer la transmissivité. Les résultats de l'ajustement sont les suivants :

- Puits Hérault : 0,16 m<sup>2</sup>/s (méthode de Papadopoulos) ;
- Puits Boyne : 0,14 m<sup>2</sup>/s (méthode de Papadopoulos) ;
- Piézo : 0,12 m<sup>2</sup>/s (méthode d'approximation logarithmique de Jacob).

Le coefficient d'emménagement a été ajusté par la méthode de Jacob à 1,3% sur la descente dans le piézomètre, valeur caractéristique d'une nappe libre à semi-captive.

## I.6.2. POMPAGE D'ESSAI D'OCTOBRE 2007 (EAU&GEOENVIRONNEMENT)

L'essai du 16 au 17 octobre 2007 a consisté après une phase de 7h30 de repos, en une mise en exploitation des deux puits à l'aide des siphons en place à un débit total de 350 m<sup>3</sup>/h à la bêche pendant 24 h, puis la mise en route d'une pompe supplémentaire de 90 m<sup>3</sup>/h dans le puits Hérault avec rejet dans l'Hérault pendant 7 h supplémentaires (débit cumulé de 440 m<sup>3</sup>/h pendant cette phase).

Cet essai a été perturbé par une petite crue de l'Hérault (le 16 octobre à partir de 8h30) qui a conduit à une remontée du niveau d'eau dans les puits au bout de 5 h de pompage, ce qui rend impossible l'analyse fine du comportement aux limites de la nappe et notamment la réalimentation par l'Hérault.

**Tableau 6 – Rabattements atteints lors du pompage d'essai 16-17 octobre 2007**

	Puits Boyne	Puits Hérault	Bêche
Cote niveaux statiques après 7h30 de repos (m NGF)	14.04	14.2	14.36
Cote fond des ouvrages (m NGF)	10.02	9.27	11.01
Tranche d'eau initiale / fond (m)	4.02	4.93	3.35
Rabattement au bout de 24 h à 350 m <sup>3</sup> /h	1.01	1.23	1.40
Rabattement au bout 24 h à 350 m <sup>3</sup> /h puis 7 h à 440 m <sup>3</sup> /h	1.30	1.73	1.81
Tranche d'eau finale / fond (m)	2.72	3.20	1.54

On note que cet essai s'est effectué dans des conditions d'étiage plus sévères que celui de 1998 (niveaux statiques plus bas de 40 à 70 cm selon le point considéré). Malgré ce contexte moins favorable, les rabattements observés sont moindres qu'en 1998 pour un débit global légèrement supérieur. L'explication pourrait être recherchée selon nous dans la différence de protocole : en 1998, seuls les puits Hérault et Boyne ont fait l'objet d'un pompage avec rejet intégral à l'Hérault alors qu'en 2007, le pompage s'effectuait en conditions d'exploitation avec rejet et pompage dans la bêche, dont la surface d'échange du fond est très importante (près de 74 m<sup>2</sup>) et a dû probablement contribuer au débit global de manière non négligeable, réduisant le débit pompé dans les deux puits du fait du fonctionnement du système de siphons.

### I.6.3. CONCLUSION

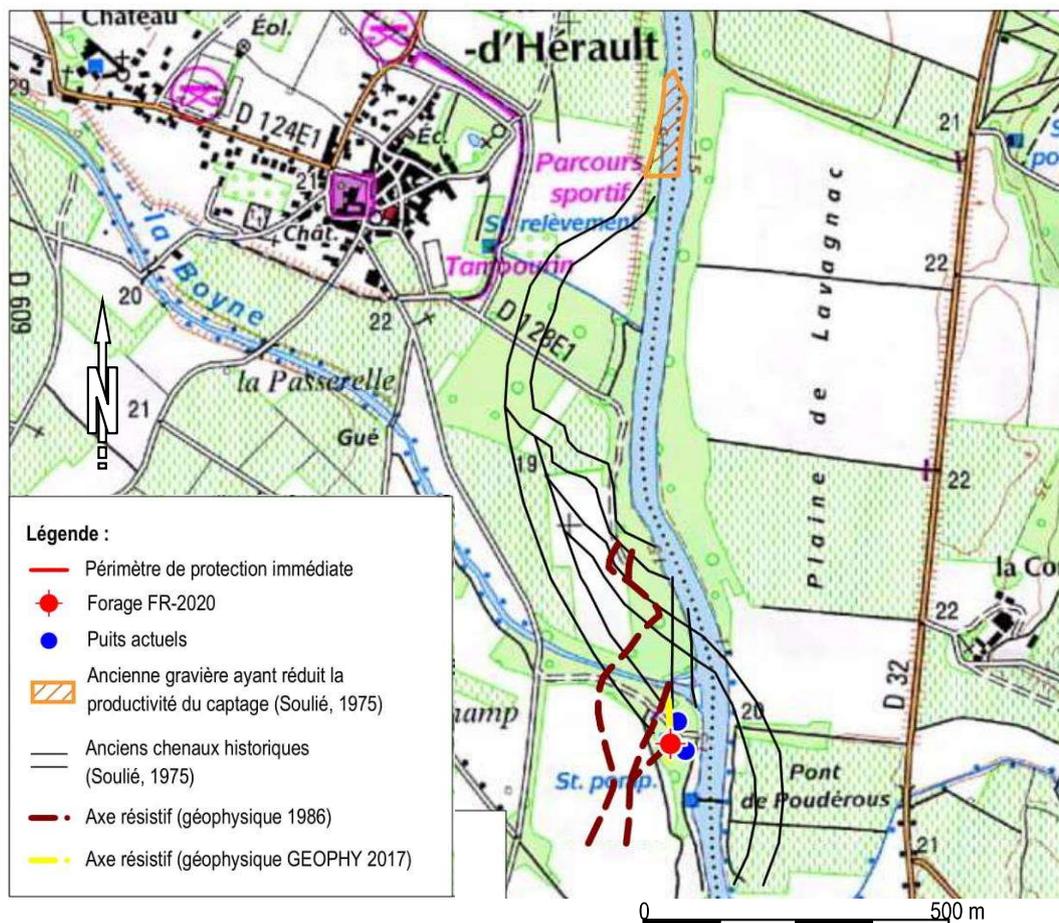
Seul l'essai de septembre 1998 s'est déroulé dans des conditions d'étiage « stable » et selon un protocole permettant de dissocier le débit de pompage dans chacun des deux puits. C'est celui qui permet de s'approcher le plus du potentiel réel des deux puits exploités. Cependant, la durée totale de l'essai (6h) est insuffisante pour permettre de comprendre le comportement de la nappe à distance des puits. Au bout de 6 h de pompage, la stabilisation des niveaux n'étant pas atteinte, l'éventuelle limite de réalimentation par l'Hérault n'est pas connue précisément.

## I.7. CONNAISSANCE PREALABLE DE LA CONFIGURATION LOCALE DES ALLUVIONS

Les travaux de M. Soulié en 1975 et la campagne géophysique du BRPG en 1986 (sondages électriques) permettent de disposer de plusieurs informations quant à la configuration locale des anciens chenaux de l'Hérault :

- Plusieurs méandres fossiles sont visibles sur les photographies aériennes historiques disponibles depuis les années 1930 (M. Soulié). Le plus long d'entre eux semble participer de manière importante à l'alimentation des deux puits du site : en effet la création d'une gravière non autorisée en 1974 a conduit selon le rapport de M. Soulié à une chute importante de productivité du captage ;
- Plusieurs axes résistifs correspondant à des alluvions plus grossières et/ou plus épaisses sont localisés dans le secteur (BRPG, 1986).

Figure 11 – Cartographie des anciens chenaux historiques de l'Hérault (d'après Soulié, 1975 et BRPG, 1986)



## II. COMPTE-RENDU DE SUIVI HYDROGEOLOGIQUE DU FORAGE FR-2020

### II.1. DEROULEMENT DU CHANTIER

Le forage FR-2020 est localisé à 7 m au Sud de la bache de pompage (figures 2 et 3). Il a été implanté au droit du point proposé à l'issue de l'étude géophysique (Géophy, décembre 2017), au niveau de l'électrode n°15 du profil numéro 2..

Le chantier a été réalisé par la société AD FORAGES (basée à Villemoustaussou, Aude) entre le 27 juillet et le 10 septembre 2020. Il a été foré au marteau de fond de trou avec tubage à l'avancement en diamètre extérieur 508 mm et en passes de tubes de 4 m. L'outil de forage est de type Symetrix et comprend un taillant pilote et un taillant annulaire. Le fluide de forage est l'air. L'une des particularités de la méthode de tubage à l'avancement est qu'elle ne permet pas d'apprécier les venues d'eau en cours de forage, celles-ci étant aveuglées au fur et à mesures par le tube de soutènement provisoire.

Au vu de la proximité de la bache de reprise qui n'est pas étanche, l'apparition d'eau turbide au fond de la bache pendant la foration étant probable, il a été décidé de ne pas pomper sur la station pendant la foration. Les opérations induisant une foration ont donc été concentrées sur un créneau de 4 h quotidiennes avec contrôles réguliers de la turbidité en sortie de la bache.

Le déroulement du chantier a été le suivant (voir planche photos en annexe 1) :

- Semaine du 20 au 24 juillet : amenée du matériel : foreuse Fraste T20 (39 tonnes), 2 compresseurs et l'ensemble des tubes et outils du chantier ;
- Lundi 27 juillet : mise en place et insertion du marteau dans le tubage à l'avancement ;
- Mardi 28 juillet : forage jusqu'à la profondeur de 8 m (1,2 m de remblais caillouteux, 5,3 m de limons puis 1,5 m de cailloutis silto-sableux) mais le marteau se bouche à cette profondeur après avoir attendu pour monter la prochaine passe de tube. La colonne a été retirée entièrement une première fois et les 8 trous d'arrivée d'air de l'outil étaient bouchés par des cuttings. Ceux-ci ont pu être nettoyés simplement sans démontage ;
- Mercredi 29 juillet : forage jusqu'à 12 m de profondeur mais le marteau se bouche à nouveau à la reprise du forage vers la mi-journée. Début de remontage de la colonne. Il semble que la conception de l'outil soit imparfaite ou/et la pression d'air trop faible ;

Une turbidité est apparue dans la bache (maximum 31 NTU en début de pompage) et est disparue après 1h30 de purge de la bache par le syndicat. Aucune turbidité n'est apparue dans le puits Hérault qui a contribué par dilution à la disparition de la turbidité dans la bache ;

- Jeudi 30 juillet : AD Forages a fini de retirer toute la colonne et rapatrié le marteau à l'atelier. La remontée du tubage a été fortement compliquée par la remontée d'une épaisseur non négligeable de limons restés adhérents au tube de soutènement qui a eu pour effet de créer une importante cavitation entre 0 et 4,7 m. Un tube de soutènement acier en diamètre 608 mm est mis en place jusqu'à 4,7 m de profondeur, avec cimentation de l'espace annulaire sur un volume approximatif de 3 m<sup>3</sup>. La partie dans l'eau (approximativement sous 7 m de profondeur) s'est éboulée ;
- Mardi 4 août : reprise du chantier après 2 jours d'arrêt pour rectification du marteau : AD Forages a rétréci la section des 8 trous d'arrivée d'air initialement en diamètre 32 mm, par des tubes de DN 16 mm intérieur soudés sur l'outil afin d'augmenter la vitesse d'arrivée de l'air à la reprise et

limiter la remontée des cuttings dans la chambre intérieure du marteau à chaque interruption de forage. Un troisième compresseur est ajouté aux deux déjà en place. Après reformation à partir de la profondeur 4,7 m, la base des alluvions perméables (cailloutis plus ou moins finement sableux) est atteinte à 12,5 m de profondeur, soit approximativement 4 m plus haut que ne le laissait entendre le profil géophysique. Un faciès de transition constitué de sables silto-argileux à galets est traversé jusqu'à 13,5 m, profondeur à laquelle est rencontré le substratum très peu perméable formé de marnes sableuses molassiques bleues (Helvétien) avec quelques galets au sommet. Arrêt du marteau à 15,5 m de profondeur.

Une turbidité est apparue dans la bêche (maximum 187 NTU en début de pompage) et a disparu après 3 à 4 h de purge de la bêche par le syndicat. Aucune turbidité n'est apparue dans le puits Hérault ;

- Mercredi 5 août : exploration de la marne au trilame PDC en trou nu 445 mm de 15,5 à 21 m sans changement de faciès. Après 6,5 m de traversée d'un substratum marneux homogène, la décision est prise d'arrêter la foration. Remblai du trou entre 21 m et 15 m par du sable lavé puis du gravier 4-6 mm. Pose de la colonne de tube Inox DN 345 / 355 mm avec raccords ZSM, un bouchon de fond à 15,10 m de profondeur, la partie crépinée (fil enroulé à 36% d'ouverture) étant installée entre 8,8 et 12,65 m de profondeur, face aux deux horizons de cailloutis sableux plus grossiers ;
- Jeudi 6 août : Gravillonnage de l'espace annulaire avec enlèvement très progressif du tube à l'avancement (par passes de 15 à 30 cm). Entre 15 et 12,5 m : graviers 2,5-5 mm puis entre 12,5 et 8,1 m (partie captante) : graviers 4-8 mm . Un phénomène de cavitation important de l'espace annulaire est rencontré entre 7,9 et 8,15 m de profondeur, comblée par du gravier 4-8 mm et complétée par du granulats alluvionnaire 4-16 mm. Top provisoire du gravillonnage à 7,1 m de profondeur. Difficultés de dévissage de la passe du tube de soutènement 4-8 m ôtée du trou ;
- Vendredi 7 août : Reprise de la tentative de dévissage sans succès. Au vu de ces difficultés, le chantier est interrompu pour cause de congés annuels du foreur. La foreuse est laissée en place avec la colonne de soutènement en place dans le trou entre 0 et 7 m de profondeur et avec ouverture remontant hors du trou à 5 m de hauteur, fermée et sécurisée par la tête de levage laissée en butée sur le tube. L'ensemble du reste du matériel est replié et les trois compresseurs sont stockés à l'atelier du Syndicat ;
- Lundi 31 août et mardi 1<sup>er</sup> septembre au matin : réamenée et réinstallation du matériel et dévissage du tube bloqué à l'aide de colliers spécifiques munis de manches leviers ;
- Mardi 1<sup>er</sup> septembre : mise en place dans l'espace annulaire d'un gravier 2,5-5 mm puis d'un lit de sable siliceux lavé entre 7,1 et 6,5 m de profondeur. Début de la cimentation par le bas à la canne en deux gâchées séparées par la pause de midi. Top provisoire de la cimentation à 5,85 m ;
- Mercredi 2 septembre : suite et fin de la cimentation ;
- Lundi 7 septembre : pose de la colonne de soufflage en D225 mm, à 30 cm du fond : 30 min de soufflage ;
- Mardi 8 septembre : suite et fin du soufflage : 2 h en continu puis pendant toute la journée par à-coups de 3 secondes toutes les 20 secondes de façon à laisser tomber la colonne d'eau brusquement dans le forage ;
- Mercredi 9 septembre : fin du soufflage 4 h en continu avec une eau qui s'est nettement éclaircie, démontage de la colonne de soufflage ;

- Vendredi 11 septembre : passage caméra de réception, ayant permis de vérifier le parfait état de l'ouvrage, la conformité des cotes, la présence régulière du massif filtrant bien visible à travers les crépines et la propreté du forage (absence de dépôts au fond).

Un important phénomène de cavitation a été rencontré au sommet des cailloutis aquifères : le suivi des quantités de graviers injectés permet de montrer que l'épaisseur du massif filtrant au droit de l'aquifère atteint 69 cm dans la zone soumise à forte cavitation (aux alentours du niveau statique du forage, soit entre 8 et 7,85 m de profondeur et entre 8 et 11,7 cm dans les autres secteurs à cavitation limitée (contre 7,65 cm théoriques).

**Tableau 7 – Bilan du suivi de la pose du massif filtrant**

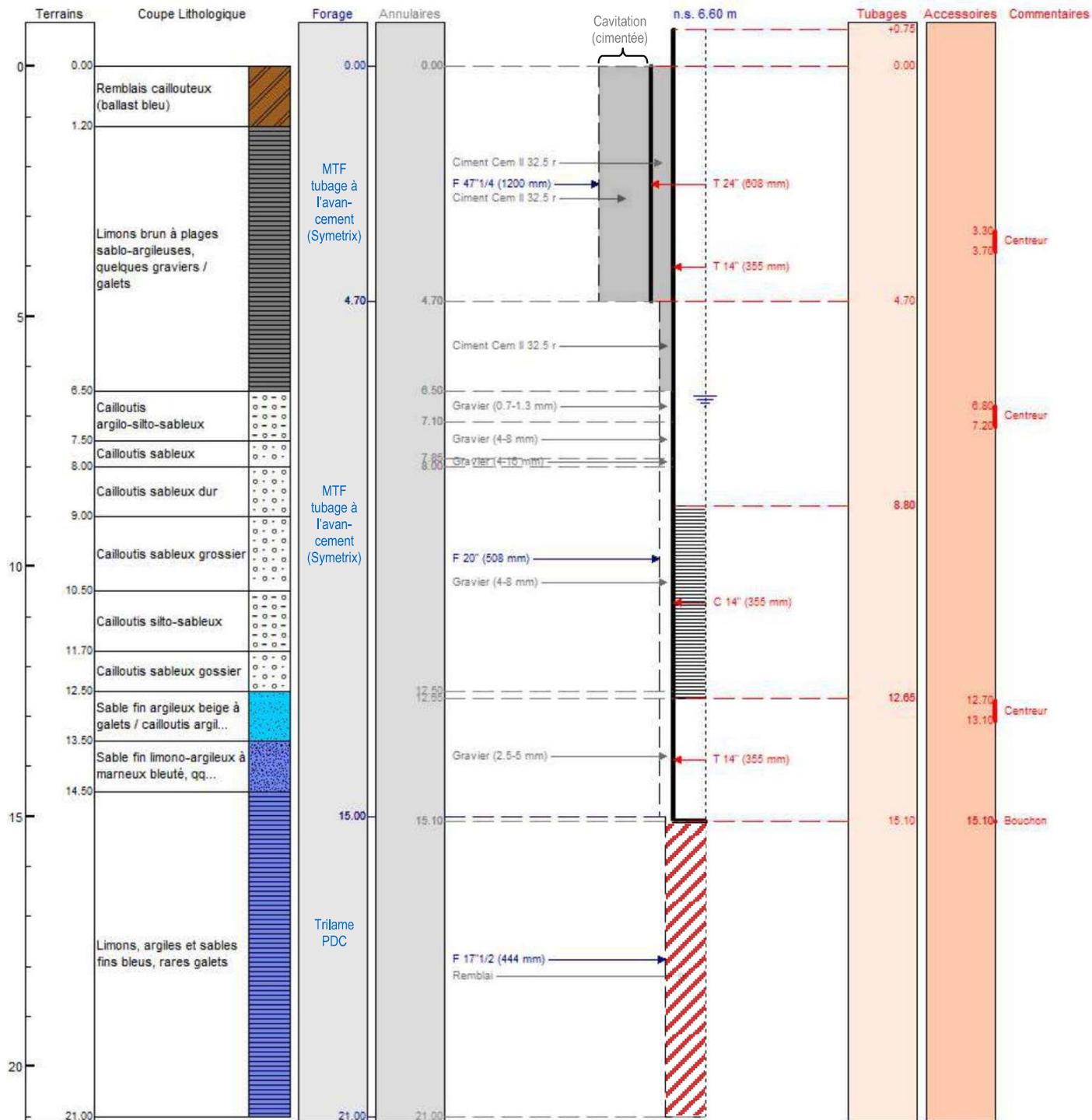
Bas (m)	Haut (m)	Matériaux	Diamètre forage (mm)	Diamètre ext.. Tubage inox (mm)	Densité matériau	Nombre de sacs déversés	Masse 1 sac (kg)	Masse totale déversée (kg)	Epaisseur du massif filtrant (mm)
15.1	12.65	Graviers siliceux roulés 2,5-5 mm	508	355	1.5	13	25	325	57
12.65	8	Graviers siliceux roulés 4-8 mm	508	355	1.5	39	25	975	117
8	7.85	Graviers siliceux roulés 2,5-5 mm	508	355	1.5	11	25	275	694
7.85	7.1	Graviers siliceux roulés 4-16 mm	508	355	1.5	8	15	120	80
7.1	6.5	Sable siliceux 0.7-1.3 mm	508	355	1.5	4.7	25	117.5	107

Une très importante cavitation a été observée également lors de l'injection du ciment au droit des limons : au total, 3,9 m<sup>3</sup> de ciment de densité comprise selon les bâchées entre 1,72 et 1,83, ont été injectés dans l'espace annulaire entre 6,5 m de profondeur et la surface. Sans phénomène de cavitation cette quantité aurait dû avoisiner 0,6 m<sup>3</sup>. Le suivi des quantités injectées montre que l'épaisseur moyenne de la cimentation entre 6,5 et 4,7 m de profondeur varie entre 33 et 61 cm d'épaisseur contre 7,65 cm théoriques. Cette cavitation s'explique par la remontée d'importantes quantités de limons adhérents au tube provisoire lors de sa première remontée.

Afin d'apprécier la qualité des cailloutis aquifères traversés, nous avons procédé à 3 échantillons pour analyses granulométriques. Les résultats de ces analyses sont donnés en annexe 2.

## II.2. COUPE GEOLOGIQUE ET TECHNIQUE DU FORAGE FR-2020

Figure 12 – Coupe géologique et technique du nouveau forage FR-2020



## III. POMPAGE D'ESSAI SUR FR2020 D'OCTOBRE 2020 (ARTESIE)

### III.1. PRINCIPES DU POMPAGE D'ESSAI

#### III.1.1. PRINCIPES DE L'ESSAI DE PUIITS OU POMPAGE PAR PALIERS

Les dimensions d'un forage et les phénomènes qui ont lieu à son voisinage introduisent des effets parasites qui déforment les courbes de rabattement lors des essais de pompage. Ces déformations se manifestent plus fortement au début du pompage, à l'inverse de celles inhérentes à l'aquifère (limites hydrogéologiques, changement de faciès,...) qui se manifestent de préférence après un certain temps de pompage. Ainsi, les pertes de charges singulières (ou effet de puits ou effet pariétal) dues au puits viennent s'ajouter aux pertes de charges théoriques dues à l'aquifère.

Les pompages d'essai par paliers de courte durée ont pour but de quantifier ces effets parasites, dus au puits et à son voisinage immédiat (crépine, massif filtrant) et ce faisant, de déterminer le débit d'exploitation optimal du forage. Les équations utilisées pour la détermination des pertes de charge ci-après sont celles de Jacob (1947) :

$$s = B.Q + C.Q^P$$

-> B désigne le coefficient de pertes de charge linéaires dans l'aquifère, C désigne le coefficient de pertes de charges non-linéaires dues aux turbulences au sein ou aux alentours proches du forage.

-> P désigne l'ordre des pertes de charge non linéaires, ce coefficient varie de 1,5 à 3,5, mais dans un ouvrage en bon état il est souvent proche de 2.

Le rendement à un débit donné est le rapport dans l'ouvrage des pertes de charges linéaires (dues à l'aquifère) sur les pertes de charges totales.

#### III.1.2. PRINCIPES DE L'ESSAI DE NAPPE OU POMPAGE DE LONGUE DUREE

Le pompage d'essai de longue durée, pratiqué de préférence à débit constant, a pour objectifs principaux la détermination des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère (transmissivité, coefficient d'emménagement), l'étude des caractéristiques géométriques de l'aquifère (limite d'alimentation, limite de drainance, imperméabilité, anisotropie...), l'évaluation en vraie grandeur des conditions d'exploitation de l'ouvrage et des impacts sur le milieu.

De nombreuses méthodes d'interprétation des essais de pompage longue durée existent, elles sont applicables aux diverses configurations hydrogéologiques.

Le calage des courbes de rabattement observées sur les ouvrages a été testé selon la formule « classique » de **Theis**.

Formule de Theis en milieu confiné:

$$s = \frac{Q}{4.\pi.T} \int_u^{\infty} \frac{e^{-y}}{y} .dy \quad \text{avec} \quad u = \frac{r^2.S}{4.t.T}$$

L'application de la formule de Theis en nappe libre (c'est le cas ici) nécessite l'emploi d'un rabattement corrigé :

$$s' = s - (s^2/2b)$$

s : rabattement (m)

T : transmissivité (m<sup>2</sup>/s)

S : coefficient d'emmagasinement

t' : temps de remontée après arrêt

s' : rabattement corrigé (m)

r : distance radiale entre pompage et piézomètre (m)

b : épaisseur de l'aquifère libre

Q : débit de pompage (m<sup>3</sup>/s)

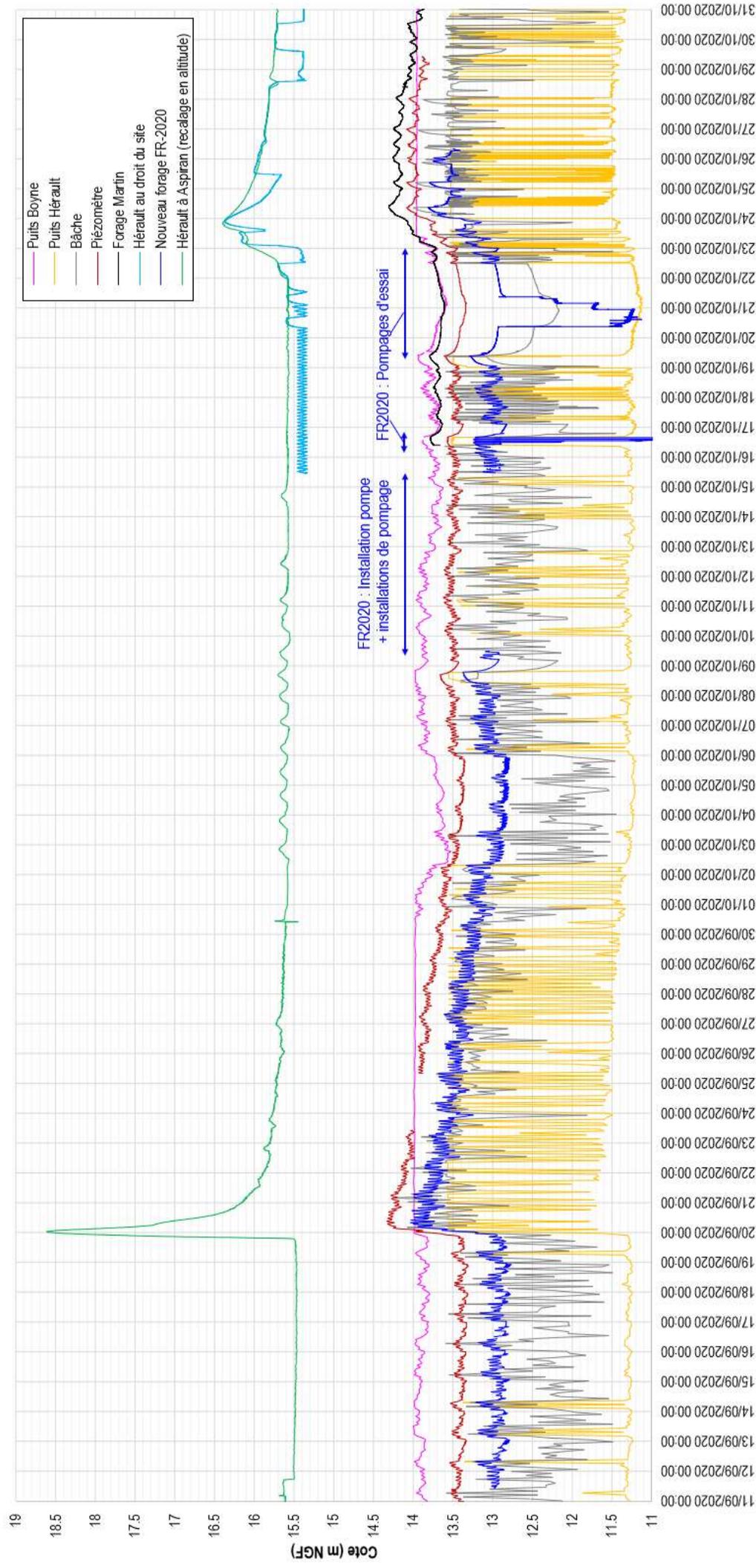
t : temps de pompage

Les paramètres hydrodynamiques sont approchés numériquement par une simulation effectuée à l'aide du logiciel AQTESOLV.

### III.2. SUIVI PIEZOMETRIQUE DU FORAGE ET DU PIEZOMETRE

Une fois le forage terminé, nous y avons installé une sonde de mesure DL OCS 0,5 bars. On reproduit l'évolution du niveau statique dans le forage, en parallèle du suivi du piézomètre(CD34), des installations du captage (SMEVH) et de l'Hérault au droit du site et du forage Martin suivis par nos soins par deux sondes DL OCS respectivement de 0,5 et 0,2 bars lors des pompages d'essai d'octobre 2020. On y appose également le suivi de l'Hérault à Aspiran (9 km en amont) recalé pour l'occasion à une altitude équivalente à l'Hérault au droit du site.

Figure 13 – Suivis piézométriques sur le site de Cazouls



Ce suivi donne les informations suivantes :

- Les niveaux de nappe sur le site, y compris le forage Martin, situé à seulement 7 m de l'Hérault se trouve en permanence à environ 1,6 m sous le niveau de la rivière au droit du site. Il faut noter que le niveau l'Hérault est maintenu à cette cote élevée par le barrage de la centrale électrique à 100 m en aval, dont la chute d'eau était de 3,0 m selon nos mesures du 18 novembre 2020. L'Hérault se trouve donc localement en déconnexion, perché de plus de 1,5 m par rapport à sa nappe d'accompagnement ;
- Le niveau de l'Hérault subit chaque jour des fluctuations de 15 à 25 cm, sous l'effet des cycles d'exploitation des turbines de la centrale électrique présente au niveau du barrage à 100 m au Sud du forage. Cette variation de l'Hérault n'a eu aucun effet décelable sur la nappe, y compris au forage Martin pourtant très proche.

**La nappe alluviale exploitée au droit du site est donc localement déconnectée de l'Hérault qui se trouve perché de plus de 1,5 m par rapport à sa nappe d'accompagnement.**

On s'intéresse à la crue du 19 septembre 2020, où l'Hérault est monté de 3,1 m et la nappe (en FR-2020 et Pz) seulement de 90 cm. Cette crue a la particularité d'avoir été provoquée par des pluies intenses très en amont du bassin versant de l'Hérault ; au droit du secteur étudié (station Météo France de Pezenas), il n'est en effet tombé que 15 mm le 19 septembre 2020, hauteur insuffisante pour provoquer un gonflement notable de la nappe.

### III.3. CONDITIONS DE MISE EN ŒUVRE DE L'ESSAI D'OCTOBRE 2020

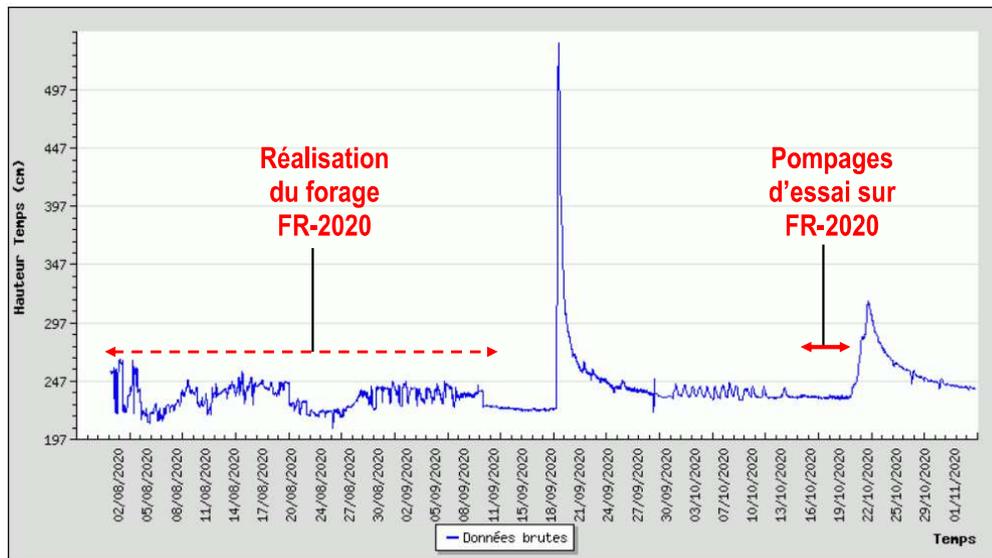
**Tableau 8 - Conditions de mise en œuvre de l'essai par pompages d'octobre 2020 sur FR-2020**

Pompe dans le forage testé	Pompe immergée 10 pouces 319 m <sup>3</sup> /h installée à entre 8,6 et 12,1 m de profondeur (par rapport au bord du tube) alimentée par un groupe électrogène
Entreprise chargée du pompage	AD Forages à Villemoustaussou (11)
Pompage par paliers	Forage testé : après constat de la productivité limitée du forage : 4 paliers non enchaînés d'1 h à 22,5 ; 52, 80,2 et 86,5 m <sup>3</sup> /h (pseudo-palier : établissement d'un équilibre au débit maximum sans dénoyage de la pompe) le 16 octobre 2020 de 10 h 25 à 15 h 35
	Champ captant de Cazouls : absence de pompage entre 2 h avant le début de l'essai et la dernière remontée du dernier palier
Pompage « longue durée »	Forage testé : 24 h dont 13 h exploitables à 62 m <sup>3</sup> /h du 20 octobre 9 h au 21 octobre 2020 9 h (dysfonctionnement pompe à partir de 22 h 44)
	Champ captant de Cazouls : pompage continu dans le puits Hérault à partir de 24 h avant l'essai et 24 h après la fin du pompage, à raison de 161 m <sup>3</sup> /h (transit du débit par la bêche)
Rejet de l'eau pompée dans le forage	Hérault au droit du site
Suivi du débit	Débitmètre électromagnétique Promag 10 (Endress + Hauser) (avec canalisation de rejet remontant en coude en aval du compteur afin que celui-ci soit maintenu en charge)
	Enregistreur automatique du débit Ecograph T RSG35 (Endress + Hauser)
Suivis et enregistrement automatique des niveaux d'eau	Forage : sonde automatique STS WMS 0,5 bar réglée sur un pas de temps de 10 secondes et munie d'une transmission automatique des données par antenne GSM (période de transmission des données réglée à 1 h), doublée par une sonde Diver 1 bar  Forage Martin : sonde STS DL-OCS 0,5 bar réglée sur un pas de temps 2 minutes  Hérault face au forage : sonde STS DL-OCS 0,5 bar réglée sur un pas de temps 2 minutes  Piézomètre : sonde automatique Druck 1 bar réglée sur un pas de temps de deux minutes pendant les essais et de 15 minutes hors essai  Puits Hérault, puits Boyne et bêche de pompage : sondes de niveau d'autosurveillance du Syndicat réglée sur un pas de temps 5 minutes pendant l'essai et variable hors essai  Contrôles manuels des niveaux d'eau réguliers dans le forage, le forage Martin, l'Hérault et le piézomètre
Suivi de la conductivité à 25°C et de la température	Immergée dans le forage : sonde automatique CTD Diver (conductivité, température et niveau d'eau)
Suivi de la turbidité	En sortie de forage : contrôles manuels réguliers au turbidimètre manuel au robinet de prélèvement

Le pompage d'essai s'est déroulé en période de basses eaux (mi-octobre). Aucune pluie ne s'est manifestée durant les essais, excepté après le pompage, dans le bassin versant amont, ce qui a occasionné un gonflement de l'Hérault visible sur les courbes de remontée à partir de 16 h après la fin du pompage.

Le débit de l'Hérault à est suivi à la station Hydrométrique d'Aspiran à 9 km en amont en amont du seuil du même nom. A Aspiran, le débit de l'Hérault entre le 16 et le 21 octobre 2016 a varié entre 14,8 et 15,2 m<sup>3</sup>/s, soit un débit de basses eaux mais pas d'étiage marqué. En revanche, en raison du caractère influencé du régime de l'Hérault et du caractère peu intense de la période d'étiage 2020 (débit journalier jamais passé sous 10 m<sup>3</sup>/s), la période des essais est tout de même significative pour 2020 et caractérisée par des conditions de basses eaux stabilisées.

**Figure 14 – Contexte hydrologique des investigations avec la courbe des niveaux d'eau à la station hydrométrique d'Aspiran à 9 km en amont du site**



Le captage de Cazouls étant intensément exploité pour l'alimentation en eau du syndicat, il n'a pas été possible de le stopper pour le temps de l'essai de longue durée sur FR 2020. Par conséquent, il a été décidé de s'affranchir des variations de niveau d'eau liée à l'exploitation en établissant les conditions d'un régime permanent en faisant fonctionner le puits Hérault en continu entre au mois 24 h avant le début de l'essai et la fin de la remontée de l'essai de longue durée. Le débit de pompage global en sortie de la bache (non étanche) pendant toute la durée de l'essai longue durée était stabilisé à 160 m<sup>3</sup>/h.

En revanche, pour l'essai par palier, signature hydraulique de l'ouvrage, il a été pris la décision de le réaliser en conditions de repos, hors pompage d'exploitation. En raison de la durée possible de ce repos, limitée à 8 h pour éviter tout manque d'eau, il a été réalisé après 2 h de remontée du niveau, durée insuffisante pour retrouver le niveau statique de la nappe.

**Figure 15 – Photographies du 15 octobre 2020**

**Groupe électrogène et container mobile de pompage**



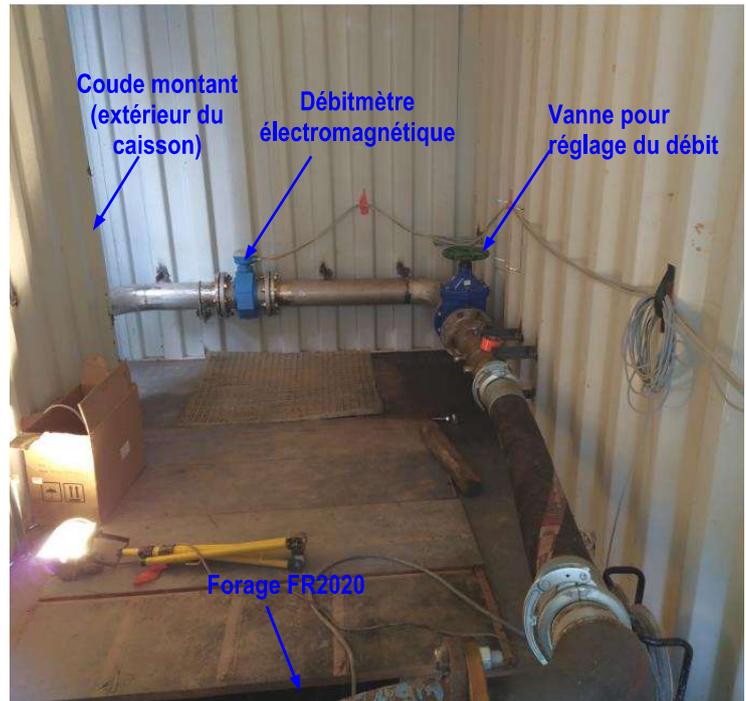
**Rejet des eaux pompées à l'Hérault**



### Pompe provisoire installée



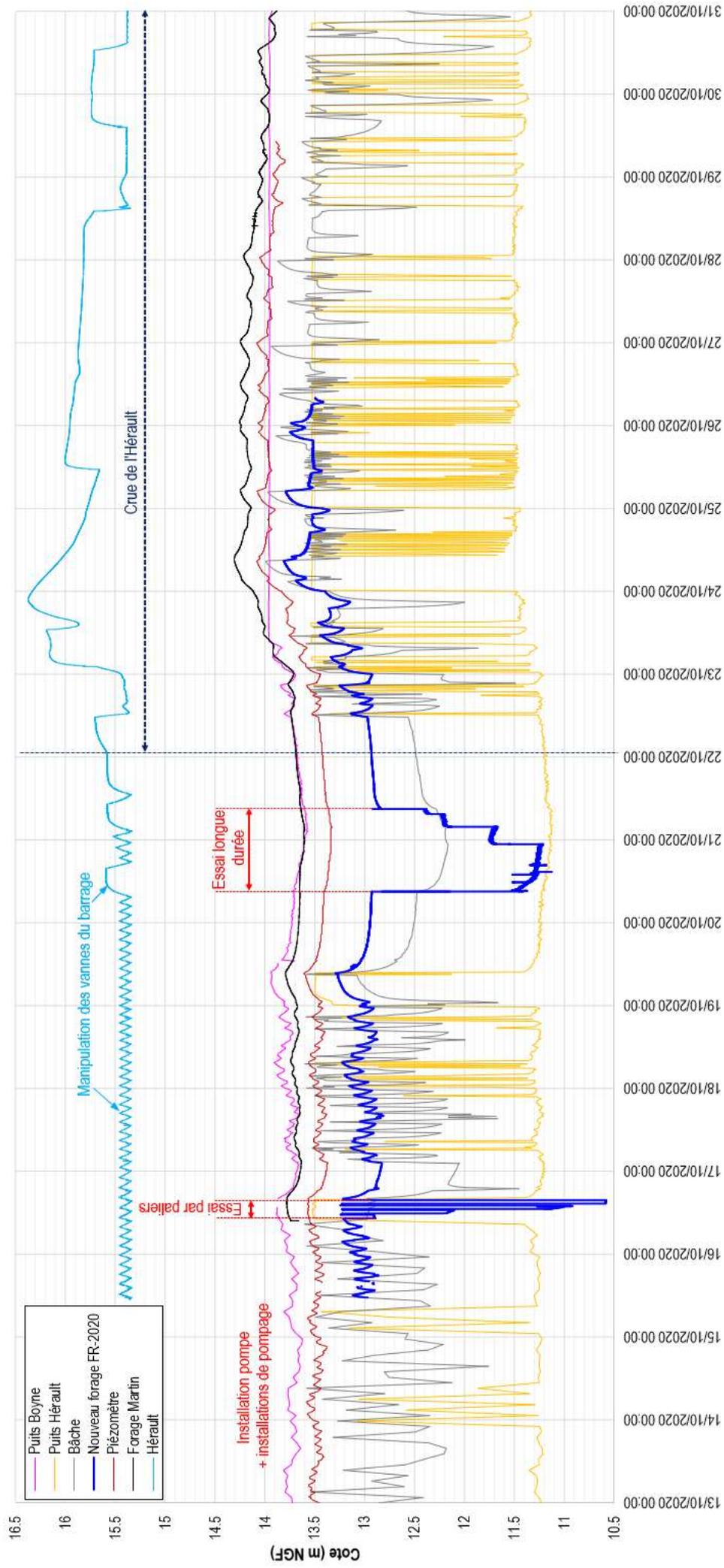
### Container mobile de pompage



### Cadrant du débitmètre électromagnétique



Figure 16 – Suivis des niveaux d'eau lors du pompage d'essai d'octobre 2020 – Ensemble des courbes



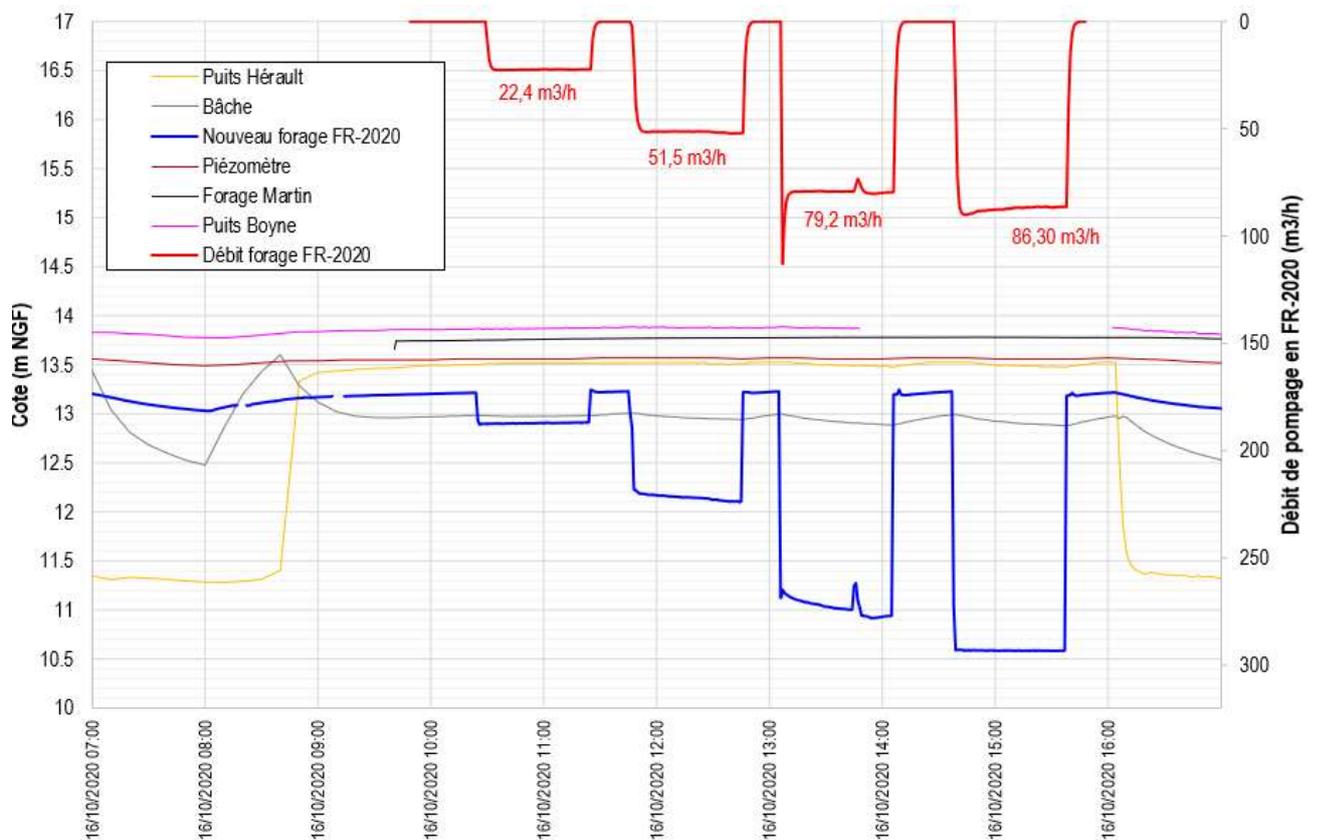
### III.4. RESULTATS DE L'ESSAI DE PUIIS (POMPAGE PAR PALIERS)

#### III.4.1. SUIVI DES NIVEAUX / DEBITS

En raison du temps limité disponible pour ce test effectué avec la station de pompage à l'arrêt (6 h d'essai possible après 2 h de remontée), nous avons effectué 3 paliers d'1h de débits croissants non enchaînés séparés par 20 minutes de repos (le niveau étant revenu à l'état initial). Une 4<sup>ème</sup> « pseudo » palier a été effectué vanne ouverte avec un débit de sortie correspondant à la limite de dénoyage de la pompe (niveau statique maintenu au niveau de l'ouverture de l'aspiration de la pompe).

La courbe de fluctuations des rabattements des niveaux d'eau dans les forages est reportée sur le graphique suivant.

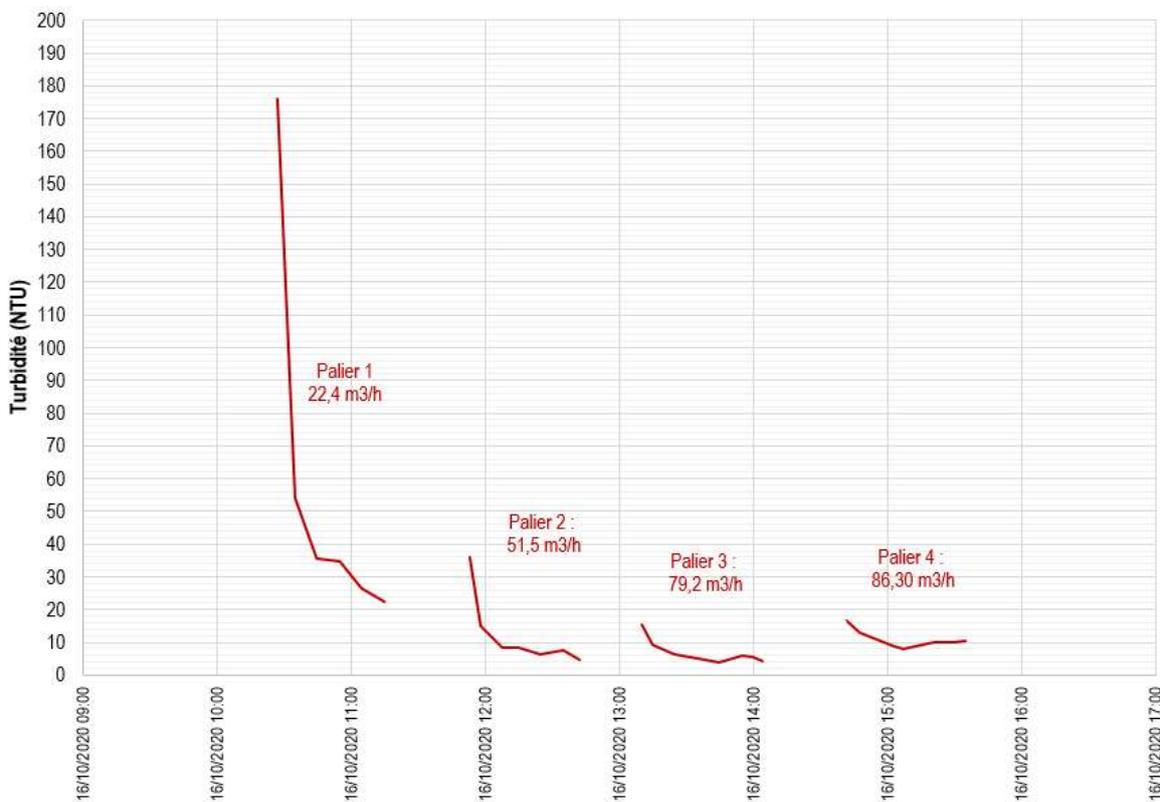
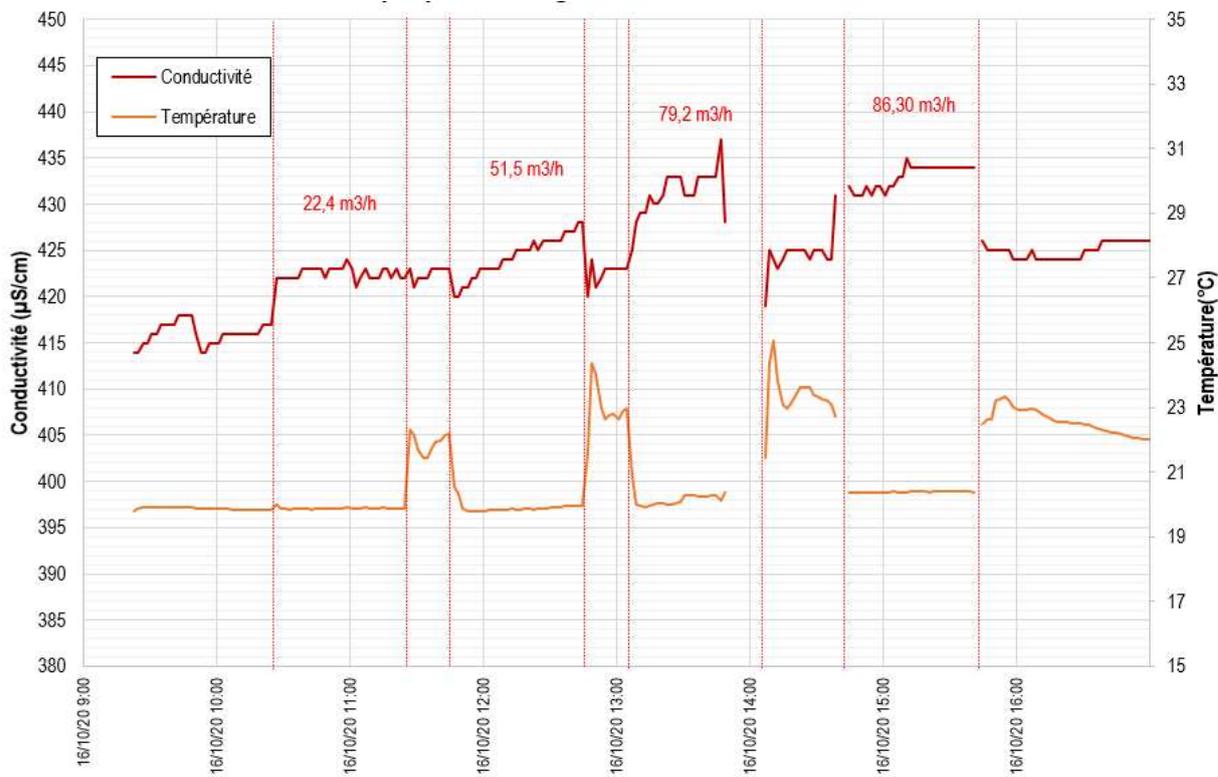
Figure 17 – Suivis du pompage par paliers du 16 octobre 2020



### III.4.2. SUIVI QUALITATIF

Les résultats du suivi qualitatif pendant l'essai sont présentés dans les graphes suivants.

**Figure 18 - Suivi qualitatif du pompage par paliers du 16 octobre 2020**



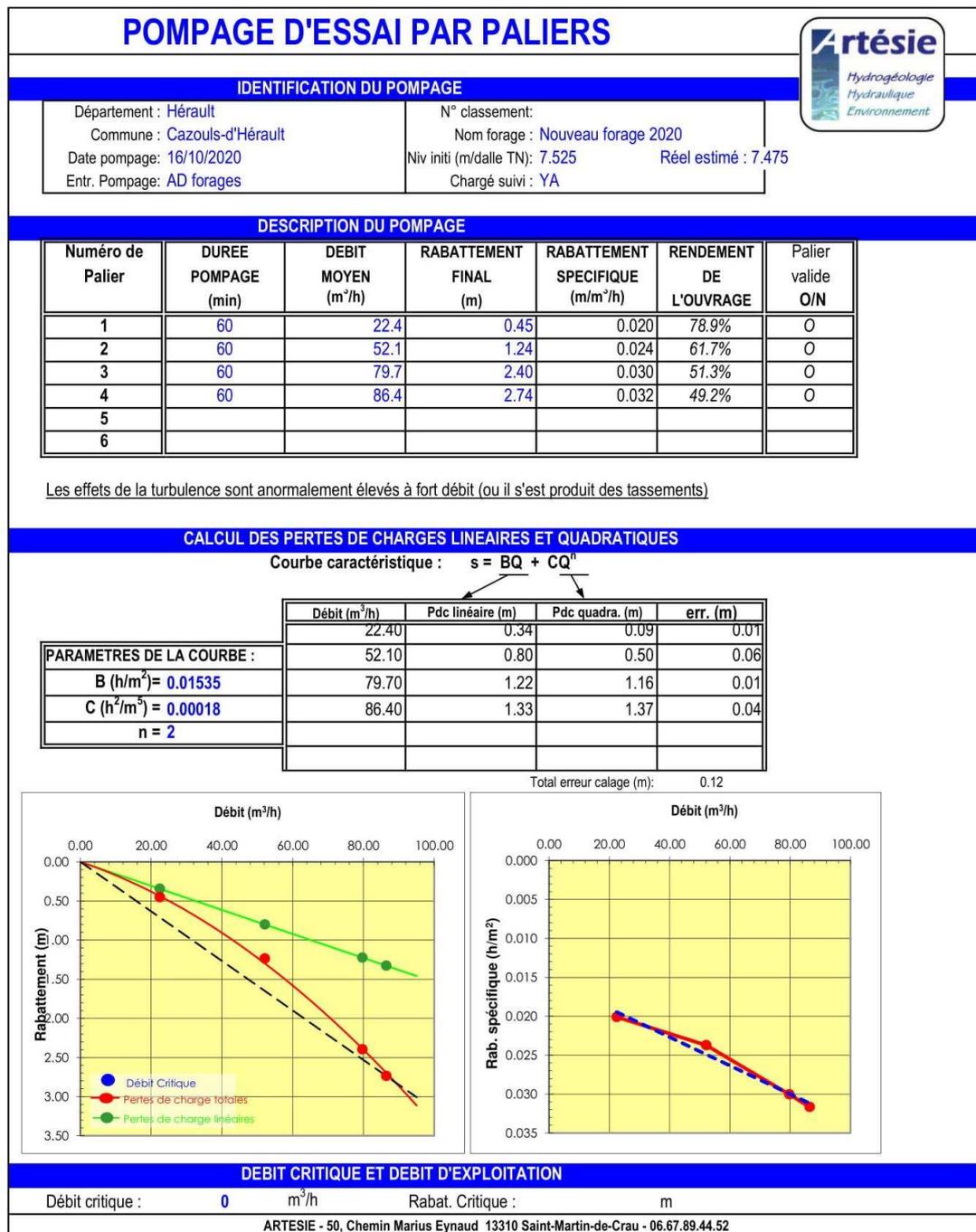
L'eau pompée le 16 octobre présentait une turbidité résiduelle de l'ordre de 4 à 5 NTU en fin des paliers 2 et 3, ce qui peut se comprendre s'agissant d'un forage venant d'être réalisé, malgré un développement soigné à l'air lift.

La conductivité à 25°C a tendance à augmenter légèrement sous l'effet du pompage (de 415 à 434  $\mu\text{S/cm}$ , peu significatif).

### III.4.3. INTERPRETATION DU POMPAGE PAR PALIERS

L'interprétation quantitative de l'essai par paliers est présentée en figure suivante :

Figure 19 - Ajustement du pompage par paliers – 16 octobre 2020, forage FR2020



NB : Avant l'essai, le niveau de la nappe n'était pas totalement stabilisé après seulement 2 h de remontée après pompage de la station. En s'appuyant sur les courbes de remontées enregistrées dans le forage (remontée de 8 h, non totalement stabilisée avant lancement du pompage de longue durée), on estime à 15, 13,5, 12,5 et 11,5 cm le rabattement résiduel en début des paliers 1 à 4 restant avant atteinte du véritable niveau statique. On tient compte de cette correction dans l'interprétation de l'essai par paliers.

On notera que l'ajustement est d'assez bonne qualité témoignant malgré tout des bonnes conditions dans lesquelles l'essai s'est déroulé.

L'analyse des résultats du pompage d'essai du 9 août 2016 montre que **la productivité du forage reste limitée par rapport au débit espéré**. Au bout d'une heure à 86 m<sup>3</sup>/h, le rabattement est de 2,74 m, avec un niveau dynamique descendant à 35 cm sous le sommet des crépines et une tranche d'eau résiduelle dans le puits de 3,2 m, soit le rabattement de 46% de l'épaisseur totale de la nappe (5,9 m). Le rendement à ce débit est estimé à 49% (rapport des pertes de charges linéaires sur les pertes de charges totales : linéaires + quadratiques).

L'augmentation non négligeable des pertes de charges quadratiques peut être liée soit à l'ouvrage, soit à la nappe elle-même aux alentours proches du forage. Si l'on tient compte du taux d'ouvertures des crépines du forage (36%, tube enroulé) et de l'épaisseur d'eau restante dans le forage à 86 m<sup>3</sup>/h (crépines dénoyées sur 35 cm de hauteur), on estime à 1,54 cm/s la vitesse d'entrée de l'eau dans les crépines. Cette vitesse restant près de deux fois inférieure à celle recommandée pour un forage bien conçu, on en déduit que ces pertes de charges quadratiques sont liées à la transmissivité locale limitée de la nappe au droit du forage et non au caractère limitant du forage lui-même.

En raison de la taille de la pompe (320 m<sup>3</sup>/h ; hauteur totale : 3,5 m), il n'a pas été possible de tester un rabattement plus important. Sans tenir compte d'éventuelles dégradations supplémentaires liées à des turbulences plus fortes dans la nappe autour du forage, si l'on extrapole la courbe caractéristique obtenue :

- le rabattement à 100 m<sup>3</sup>/h serait de 3,4 m correspondant à -58% de la tranche d'eau disponible (tranche d'eau restante : 2,5 m, hauteur de crépines dénoyées : 1,35 m, vitesse de l'eau dans la partie ennoyée des crépines : 2,74 cm/s) ;
- le rabattement à 120 m<sup>3</sup>/h serait de 4,5 m correspondant à -76% de la tranche d'eau disponible (tranche d'eau restante : 1,4 m, hauteur de crépines dénoyées : 2,45 m, vitesse de l'eau dans la partie ennoyée des crépines : 5,87 cm/s).

**On en déduit que le débit maximal productible par le forage FR-2020 est voisin de 100 m<sup>3</sup>/h**, à préciser par un pompage à l'aide d'une pompe plus adaptée (moins haute et de moins grande capacité). Si ce forage doit être exploité à ce débit, nous recommandons de rechemiser les 1,4 m supérieurs des crépines par un tube plein afin de limiter les risques d'oxygénation de l'équipement (risques d'encroutements par du fer et du manganèse).

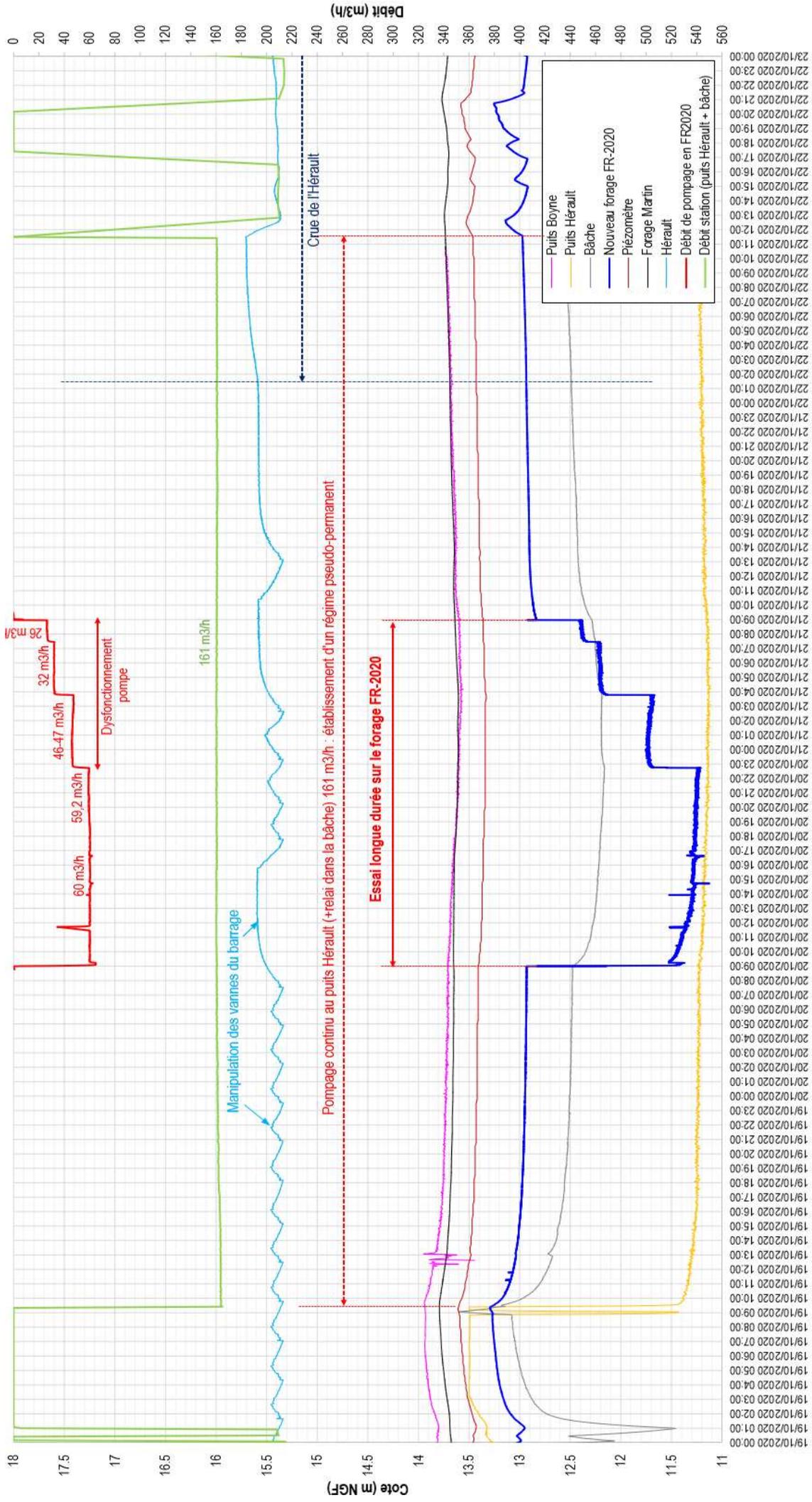
### III.5. RESULTATS DE L'ESSAI DE NAPPE (LONGUE DUREE)

Compte-tenu de la faible tranche d'eau prévisible en pompage au-dessus de la pompe provisoire, l'essai longue durée s'est effectué à un débit voisin de 60 m<sup>3</sup>/h, permettant l'observation dans de bonnes conditions du comportement de la nappe à ses limites sans risquer de dénoyer la pompe en place au bout du pompage de longue durée.

#### III.5.1. SUIVI DES NIVEAUX

L'essai devant durer 72 h, n'a duré que 24 h, dont 13h44 réellement exploitables du fait d'un dysfonctionnement de la pompe au bout de 13h44 de pompage. La courbe de descente et de remontée au forage est donnée sur la figure suivante.

Figure 20 – Suivi du pompage longue durée du 20 au 21 octobre 2020



Le pompage en continu opéré dans le puits Hérault (transitant par la bâche non étanche) à 160 m<sup>3</sup>/h a conduit à une pseudo-stabilisation dans le puits Hérault mais pas tout à fait en FR-2020.

L'essai de longue durée devant initialement durer 72 h a été interrompu au bout de 24 h du fait d'une panne de la pompe provisoire qui a provoqué plusieurs chutes du débit par paliers durant la première nuit de l'essai. En raison de la survenue d'une crue de l'Hérault en fin de remontée, il n'a pas été possible de recommencer l'essai avec une nouvelle pompe, les niveaux de nappe n'étant plus stabilisé après la crue. Malgré cela, la première partie de l'essai (13 h 44) reste exploitable.

Le niveau de l'Hérault au droit du site a subi durant l'essai plusieurs fluctuations de 25 cm, sous l'effet des cycles d'exploitation des turbines de la centrale électrique présente au niveau du barrage à 100 m au Sud du forage. Cette variation de l'Hérault n'ayant eu aucun effet décelable sur la nappe dont le niveau d'eau étaient naturellement stables durant la période des essais. Les données sont donc exploitables malgré le dysfonctionnement de la pompe. La durée de l'essai n'a pas permis d'obtenir la stabilisation totale du niveau d'eau mais celle-ci s'est tout de même esquissée.

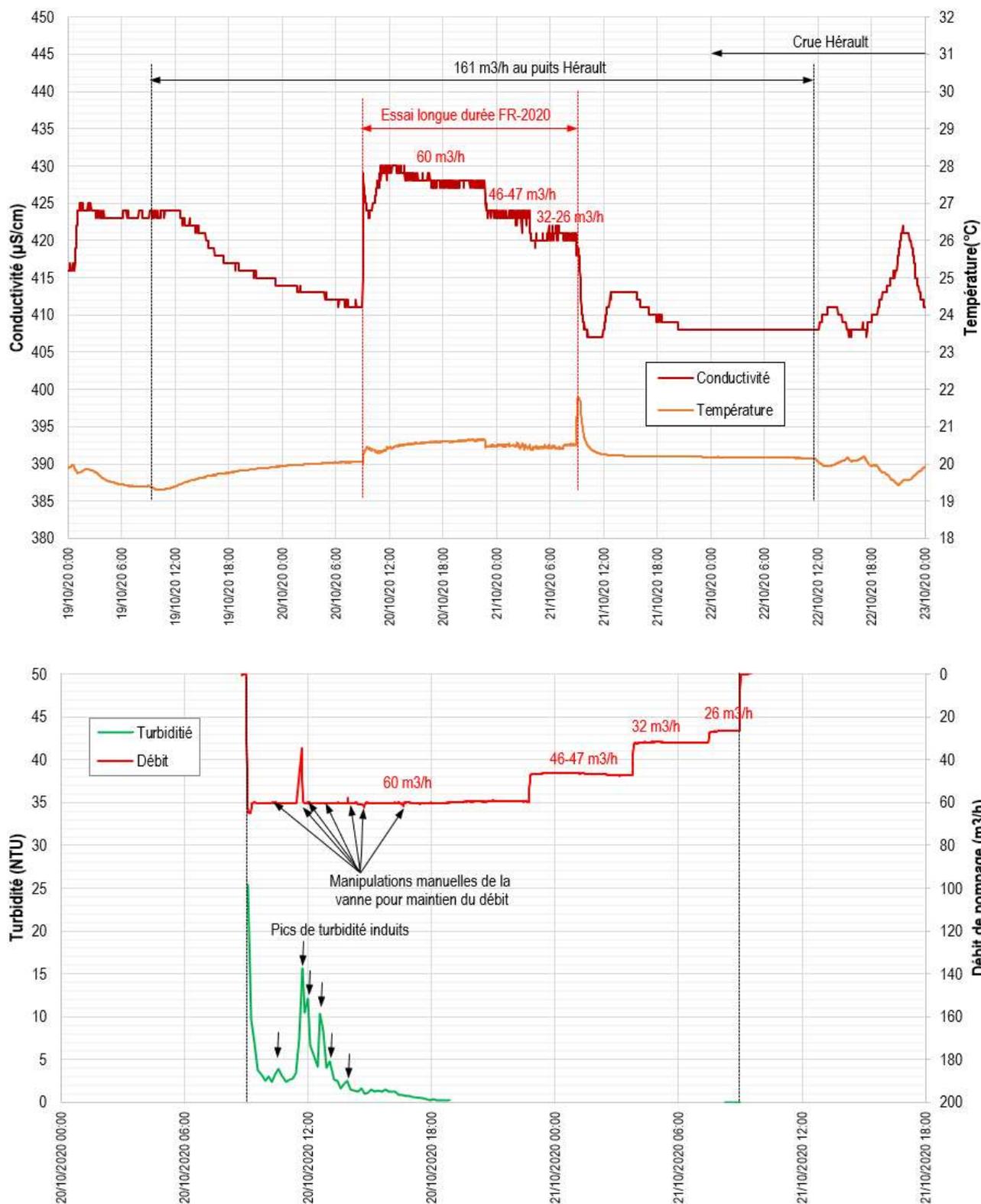
Le rabattement (non stabilisé) après 13 h 44 de pompage à 60 m<sup>3</sup>/h a été (par rapport au niveau pseudo-stabilisé en conditions d'exploitation du puits Hérault) en FR2020 de 1,72 m (et 2,13 m par rapport au niveau statique réel estimé d'après l'extrapolation des courbes de remontées disponibles : environ 13,35 m NGF).

**Tableau 9 – Rabattements en fin d'essai longue durée à 60 m<sup>3</sup>/h sur FR-2020**

	Distance du centre de l'ouvrage par rapport au forage FR-2020 (m)	Rabattement par rapport au niveau pseudo-stabilisé en exploitation du puits Hérault (m)
Forage FR-2020	-	1.72
Bâche	12,2	0.32
Puits Hérault	30	0.10
Puits Boyne	48	0.11
Piézomètre	59	0.07
Forage Martin	82	0.04

### III.5.2. SUIVI QUALITATIF

Figure 21 – Suivi qualitatif de l'eau du forage FR-2020 durant l'essai longue durée (oct. 2020)



L'eau pompée lors de l'essai longue durée a présenté une turbidité non négligeable pendant les premières heures, maintenue en partie par de petites variations instantanées du débit (instabilité de la pompe compensée par une manipulation de la vanne lors de la première journée). Cette turbidité est devenue négligeable en fin de journée avec la stabilisation du dispositif durant le reste de l'essai (<0,5 NTU).

La conductivité à 25°C a peu varié durant l'essai après 24 h de pompage (légère baisse de 430 à 420  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). La température de l'eau dans le forage a approché 15 à 15,5 °C en pompage et 14,5°C hors pompage.

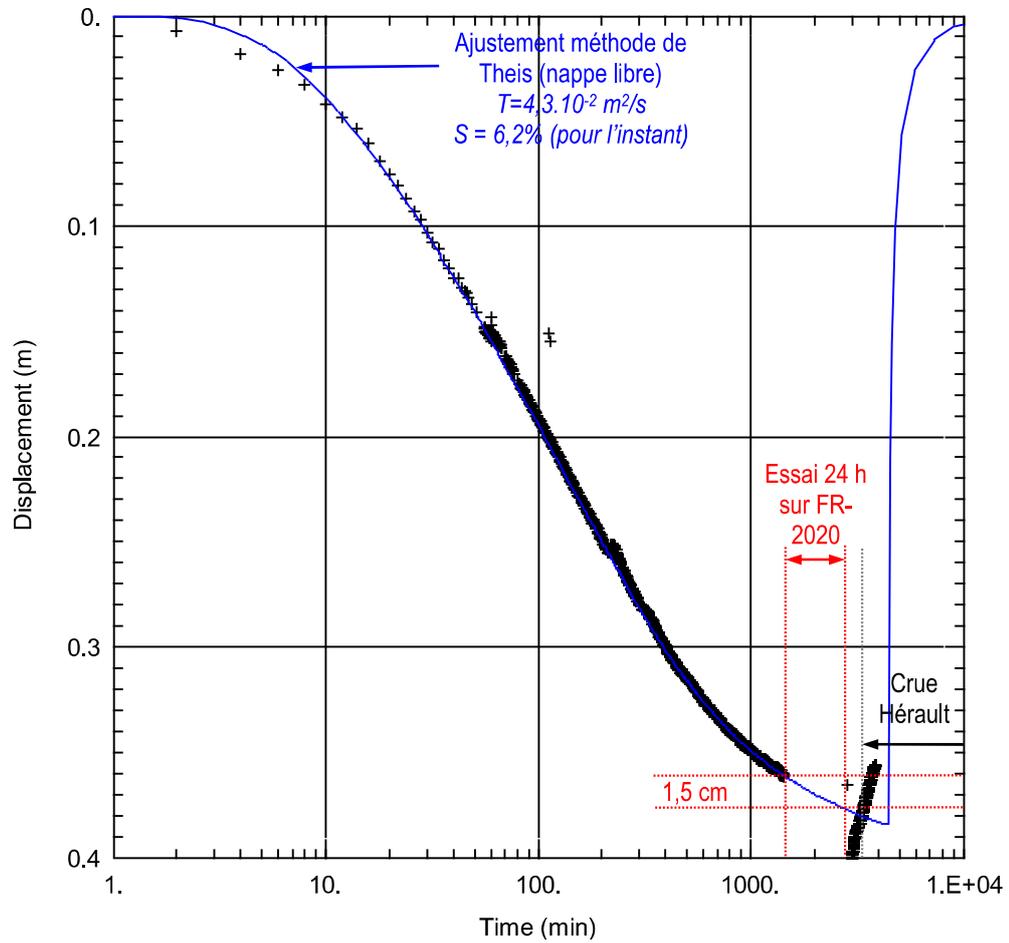
### III.5.3. INTERPRETATIONS

#### III.5.3.1. POMPAGE D'ETABLISSEMENT DU REGIME PERMANENT AU PUIS HÉRAULT

Au bout de 24 h de pompage dans le puits Hérault, l'établissement d'un régime permanent, s'il est nettement esquissé, indiquant une probable limite d'alimentation par l'Hérault à une certaine distance, n'est pas tout à fait complet. Par extrapolation à partir de l'ajustement semi-logarithmique de la courbe de descente en FR-2020, en supposant que l'ensemble du débit de 161 m<sup>3</sup>/h est pompé dans le puits Hérault et en tenant compte d'une limite d'alimentation à 180 m de distance (meilleur ajustement) on estime à 1,5 cm le rabattement résiduel attendu lors des 24 h du pompage en FR-2020 et à moins d'1 cm celui attendu pendant les premières 13h44 exploitables. Au vu de la précision du dispositif, on peut pour les interprétations considérer que les rabattements bruts induit par le pompage en FR-2020 sont représentatifs d'un régime permanent.

*Le SMEVH doit procéder à une mesure du débit spécifiquement pompé sur le Puits Hérault en conditions de l'essai afin d'estimer la part réelle du Puits Hérault dans le pompé à la station lors de l'établissement du régime permanent entre le 19 et le 22 octobre 2020. Dans l'attente de cette estimation, il n'est pas possible d'ajuster de façon définitive les paramètres hydrodynamiques caractéristiques à partir de cette courbe de descente. L'ajustement suivant fait l'hypothèse que l'ensemble du débit provient du puits Hérault, hypothèse probablement fautive puisqu'un rabattement non négligeable est également observé dans la bêche.*

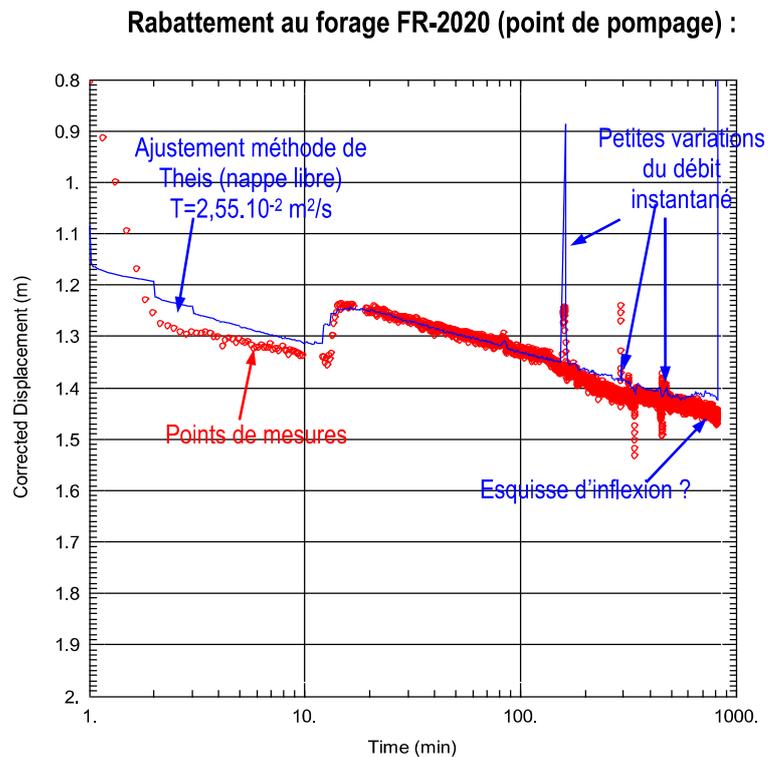
**Figure 22 : Validité de l'hypothèse du régime permanent par pompage sur le puits Hérault pendant l'essai sur FR-2020 - Ajustement de Theis en nappe libre du pompage dans le puits Hérault suivi au forage FR-2020 avec prise en compte d'un puits image en injection à  $2 \times 180 = 360$  m (meilleur ajustement)**



### III.5.4. INTERPRETATION DU POMPAGE D'ESSAI DU 20 OCTOBRE 2020 SUR FR-2020

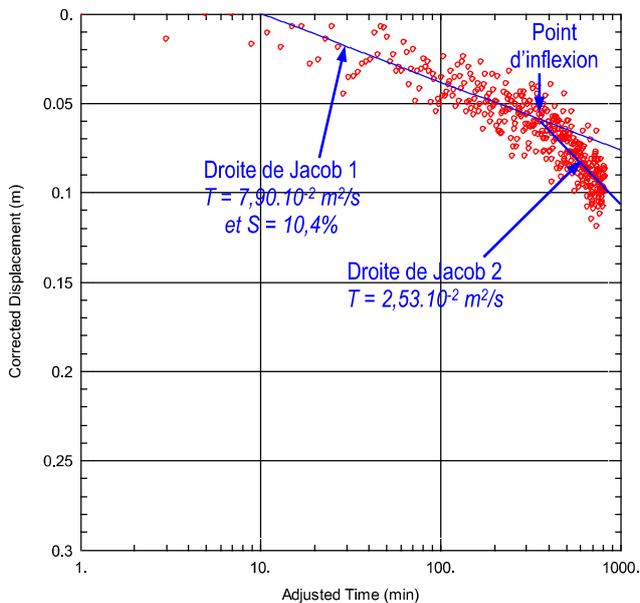
On donne dans les graphes ci-après les ajustements obtenus selon la méthode de Theis en nappe libre (et si nécessaire la méthode d'approximation de Jacob) en chacun des points mesurés avec le logiciel AQTESOLV.

**Figure 23 : Ajustements de Theis et Jacob en nappe libre des premières 13h44 de la descente l'essai sur FR-2020 du 20 octobre 2020**

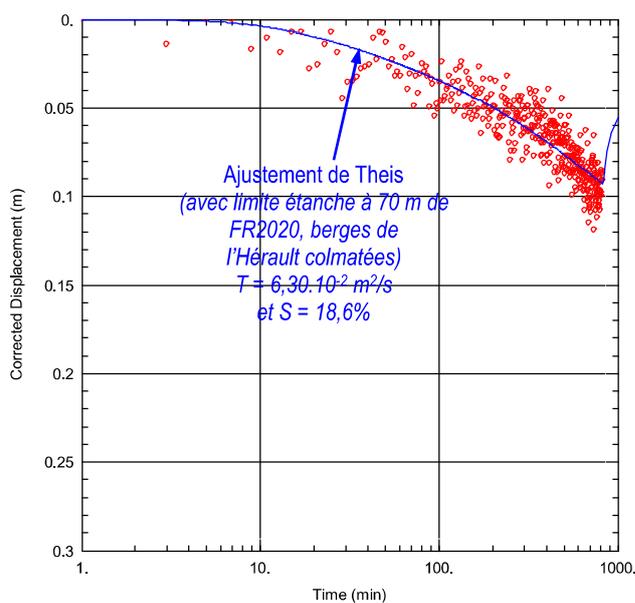


**Rabattements induits au puits Hérault (à 30 m de distance) par FR-2020 :**

**Méthode simplifiée de Jacob**

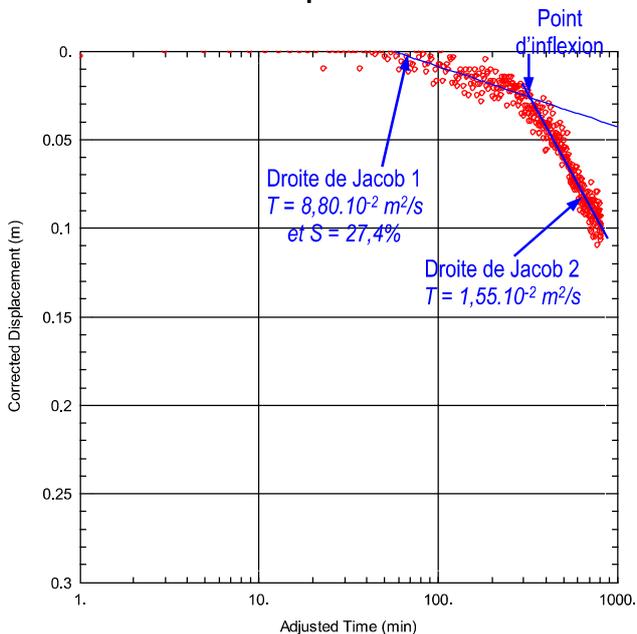


**Méthode de Theis avec limite étanche**

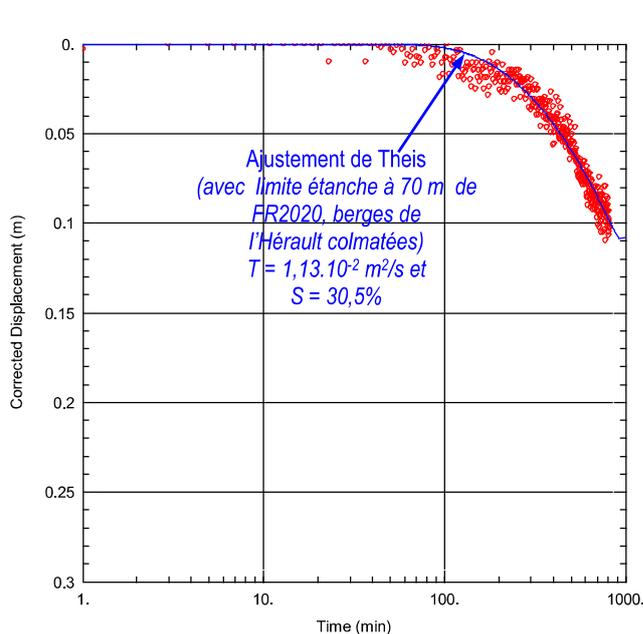


**Rabattements induits au puits Boyne (à 48 m de distance) par FR-2020 :**

**Méthode simplifiée de Jacob**

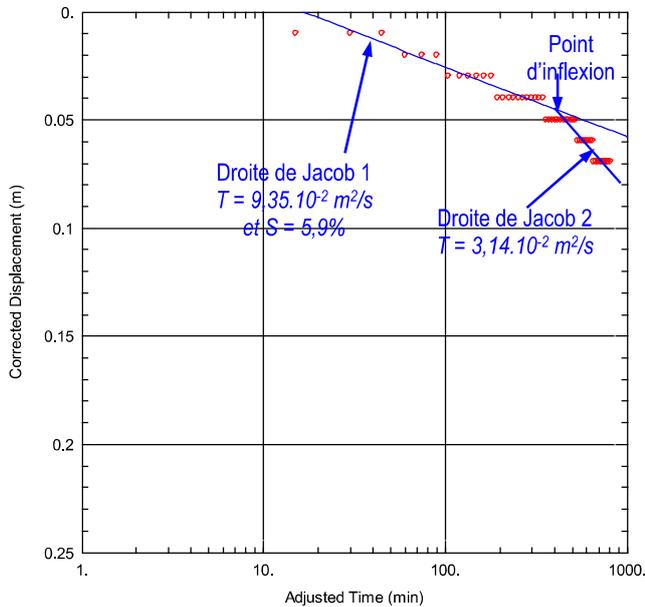


**Méthode de Theis avec limite étanche**

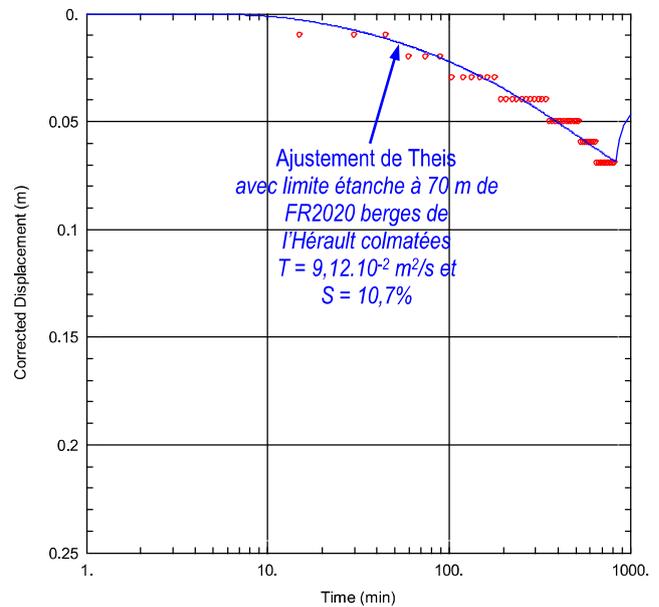


### Rabattements induits au piézomètre (à 59 m de distance) par FR-2020

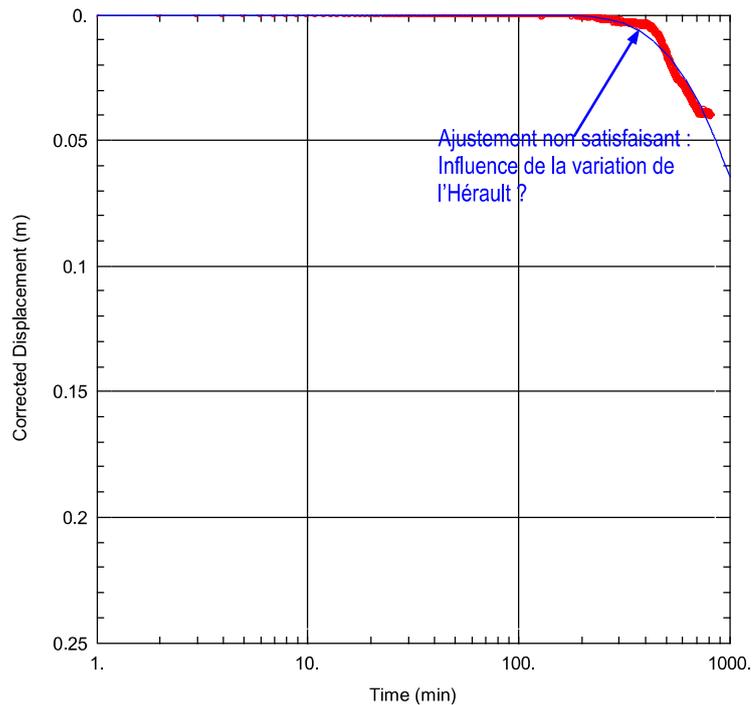
#### Méthode simplifiée de Jacob



#### Méthode de Theis avec limite étanche



### Rabattements induits au forage Martin (à 82 m de distance) par FR-2020 :



L'examen des courbes de rabattement semi-logarithmiques montre qu'à la différence de la première courbe de descente sous l'effet du pompage dans le puits Hérault où une stabilisation sous l'effet de la réalimentation de l'Hérault se dessinait au bout de 600 à 700 minutes, celles liées au pompage dans FR-2020 montrent au contraire un décrochement de la pente logarithmique du rabattement entre 300 et 750 minutes indiquant l'atteinte par le cône de rabattement du forage d'une limite étanche ou d'une zone compartimentée de l'aquifère.

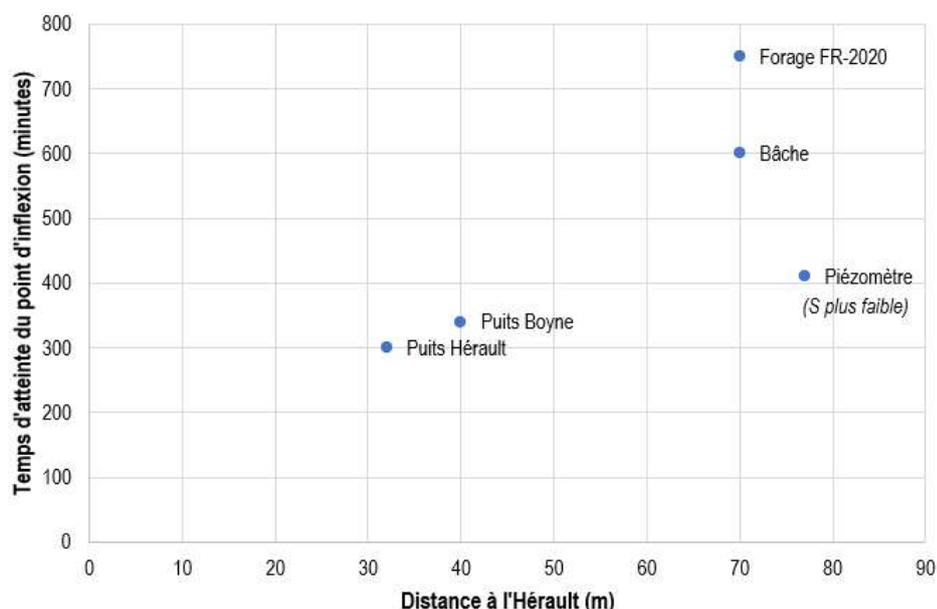
Les ajustements de Theis sont corrects, bien qu'imparfaits, avec une limite étanche simulée à 70 m de distance du forage, ce qui correspond à la berge de l'Hérault. Le calcul est effectué par la méthode de Theis avec prise en compte d'un puits image à 2 x 70 m du forage.

L'ajustement de la transmissivité et du coefficient d'emmagasinement sur le site sont meilleurs avec la méthode d'approximation logarithmique de Jacob pour les puits Hérault, Boyne et le piézomètre, pour lesquels la courbe de Theis sous-estime légèrement la pente de la courbe en fin d'essai.

**Tableau 10 – Résumé des paramètres hydrodynamiques issus des ajustements de Theis et de Jacob des premières 13h44 de la descente de l'essai sur FR-2020 du 20 octobre 2020**

	Distance à FR-2020 (m)	Distance à l'Hérault (m)	Transmissivité avant point d'inflexion (m <sup>2</sup> /s)	Temps point d'atteinte du point d'inflexion (min)	Transmissivité après point d'inflexion (m <sup>2</sup> /s)	Coefficient d'emmagasinement (sur les 100-200 premières minutes)
Forage FR-2020	0	70	0.026	750	(0.012?)	-
Bâche	12	70	0.019	600	0.014	Non valide (distance < diam bâche)
Puits Hérault	30	32	0.079	300	0.025	10.4%
Puits Boyne	48	40	0.088	340	0.015	27.4%
Piézomètre	59	77	0.094	410	0.031	5.9%
Forage Martin	82	7	(0.22 non valide ?)	420 (influencé ?)	0.019 (non valide ?)	Non valide

**Figure 24 : Temps d'atteinte du point d'inflexion (=temps d'atteinte de la limite étanche) lors de l'essai sur FR-2020 du 20 octobre 2020**



NB : la complexité hydrogéologique du site (piézométrie irrégulière, présence d'un ou plusieurs paléochenaux, colmatage localisé de l'Hérault) conduit à rester prudent quant à l'interprétation simplifiée du pompage d'essai avec des méthodes (Theis, Jacob) présupposant un aquifère homogène, infini et sans gradient d'écoulement.

### III.5.5. DISCUSSION DES ENSEIGNEMENTS DU POMPAGE D'ESSAI

Les données issues du pompage à débit constant montrent néanmoins que :

- Le cône de rabattement induit par le puits Hérault est réalimenté à distance du site, probablement en recoupant l'Hérault dans un secteur amont où ses berges ne sont pas colmatées ;
- Le cône de rabattement induit par le nouveau forage FR-2020 n'est pas suffisamment réalimenté par l'Hérault et au contraire subit une influence locale plus forte avec l'atteinte d'une limite étanche, dont les ajustements montrent qu'elle pourrait être constituée par les berges localement colmatées de l'Hérault (ce qui n'exclut pas également l'influence possible d'autres limites étanches : autre paléochenal colmaté, remontée de substratum etc...). Nos mesures des cotes du site, du plan d'eau de l'Hérault et du fond de l'Hérault de part et d'autre du barrage montrent que l'Hérault pourrait avoir atteint le substratum marneux et déposé une quantité importante de fines en amont du barrage (différence d'altitude du fond de près de 5 m entre l'amont et l'aval du barrage). Cette configuration expliquerait la déconnexion locale de l'Hérault par rapport à sa nappe alluviale mise en évidence par les mesures piézométriques sur le site et l'Hérault et pourrait donc constituer une explication possible pour la limite étanche rencontrée dans le pompage d'essai.

L'analyse de la distribution des transmissivités autour de FR-2020 montre que les deux puits Hérault et Boyne se trouvent sur un axe plus transmissif que celui du forage FR-2020 et de la bêche, contrairement à ce que laissaient entendre les résultats des mesures géophysique. Cet axe correspondant probablement à un ancien chenal perméable de l'Hérault mettant en connexion les deux puits et l'Hérault dans un secteur amont où il est en relation directe avec la nappe. Ce paléochenal ne semble pas correspondre à un surcreusement particulier du substratum. Les profils géophysiques semblent bien indiquer la présence d'une remontée du substratum entre le nouveau forage et les deux puits du site mais on ne dispose à ce jour d'aucune donnée venant confirmer cette hypothèse.

On peut invoquer la connaissance des chenaux historiques qui rejoignent l'Hérault entre 300 m et 1 400 m en amont, ce dernier ayant démontré son importance dans l'alimentation du captage (l'exploitation d'une gravière au commencement du paléochenal dans les années 1970 ayant fortement abaissé la productivité du captage). Si l'ajustement de Theis lors du pompage au puits de l'Hérault suggère une limite d'alimentation à environ 180 m, celui-ci est basé sur un coefficient d'emmagasinement homogène élevé (correspondant à la nappe libre au droit du site), ce qui n'est pas forcément le cas plus en amont, où la couche de limons peut induire une semi-captivité de la nappe alluviale et donc un emmagasinement moindre. La limite d'alimentation du puits Hérault peut donc se trouver plus loin en amont que le suggère son ajustement de Theis.

Par ailleurs, on constate, comme c'était le cas lors du pompage d'essai de 1998 que le niveau statique des deux puits est supérieur aux niveaux statiques des autres points sur une même coupe transversale. Cette configuration est compatible avec le schéma d'un chenal plus perméable alimenté par l'Hérault et passant par les deux puits alors que les autres secteurs et notamment celui du forage FR-2020 en seraient à l'écart avec un niveau moindre de connexion avec l'Hérault.

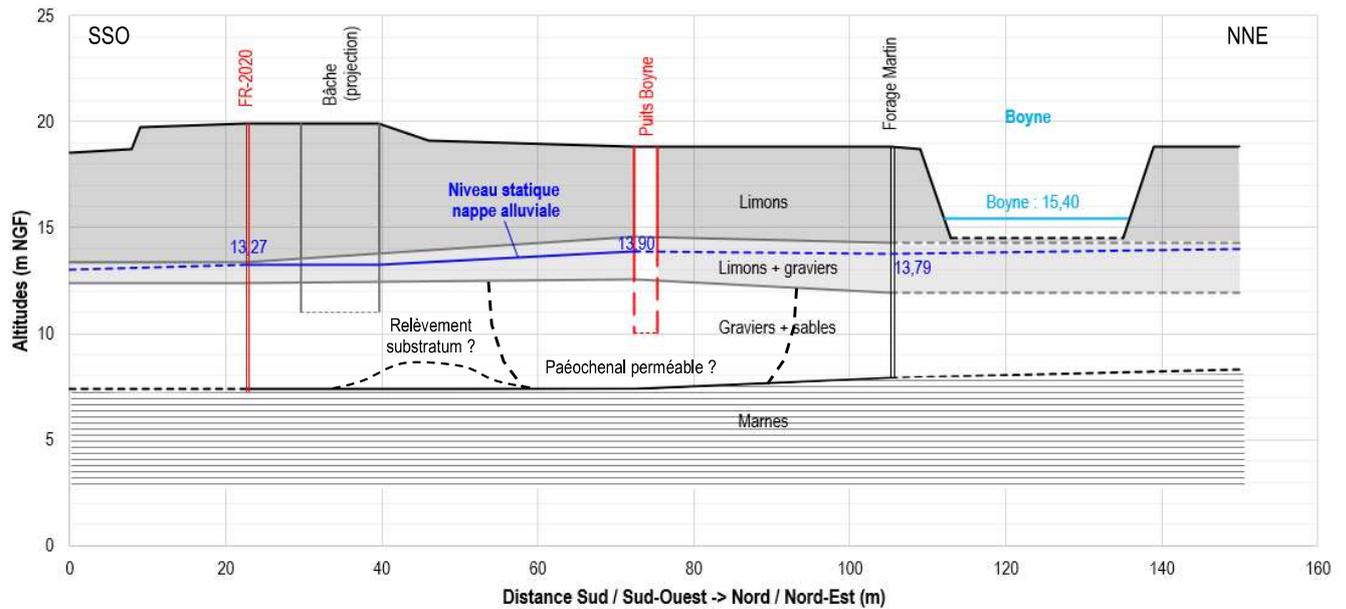
**Tableau 11 – Niveaux statiques mesurés sur le site (ou approchés d'après les courbes piézométriques pour les puits exploitation)**

	09/09/1998	18/10/2020
Forage FR-2020	-	13.27
Puits Hérault	14.59	13.55
Puits Boyne	14.73	13.90
Piézomètre	14.57	13.59
Forage Martin	-	13.79

NB : Le tableau ci-dessus montre également que les niveaux statiques en basses eaux ont nettement baissé par rapport à 1998 (d'au moins 80 cm) alors que la période des mesures d'octobre 2020 ne correspondait pas à un étiage très marqué. La tranche d'eau au droit du site semble donc assez sensible à la dynamique de l'Hérault et à l'évolution de la connexion des paléo-chenaux avec la rivière actuelle qui peut potentiellement évoluer au gré des crues, migrations du lit vif et/ou des accumulations de fines en fond et sur les berges du lit en amont du barrage.

On propose sur les deux figures ci-après deux coupes hydrogéologiques interprétatives du site basées sur l'ensemble des connaissances acquises à ce jour. Le tracé de ces coupes est donné en page suivante.

**Figure 25 : Coupe hydrogéologique schématique longitudinale NNE / SSO du site (coupe n°1) – niveaux statiques du 18 octobre 2020**



**Figure 26 : Coupe hydrogéologique schématique transversale ONO / ESE du site (coupe n°2) – niveaux statiques du 18 octobre 2020**

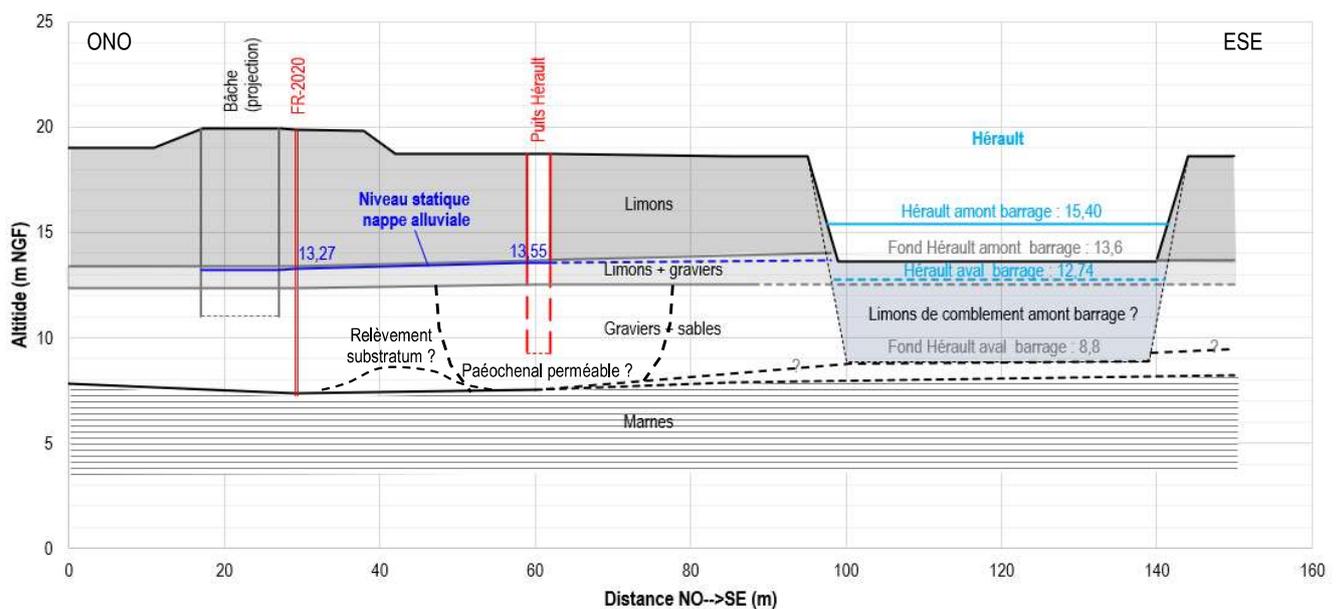
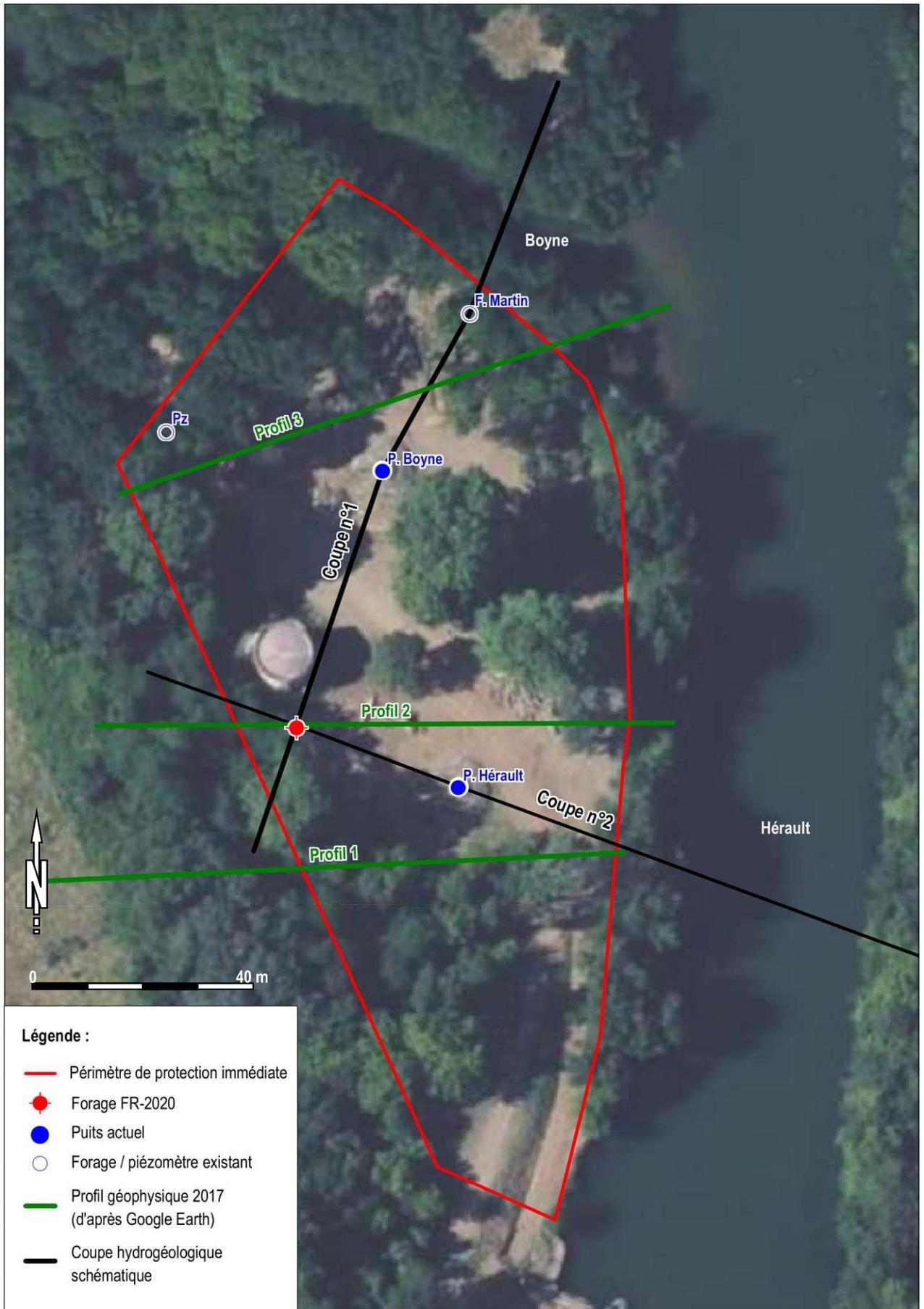


Figure 27 : Localisation des coupes hydrogéologiques



## VI. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

**Le pompage d'essai par paliers a montré que le débit maximal productible par le forage FR-2020 est voisin de 100 m<sup>3</sup>/h**, insuffisant par rapport au besoin initial formulé par le SMEVH de l'ordre de 150 à 250 m<sup>3</sup>/h. Le débit le plus important testé à ce jour est 86,5 m<sup>3</sup>/h en raison de la hauteur trop importante de la pompe installée, surdimensionnée au vu du potentiel du forage plus faible qu'espéré.

En effet, sans tenir compte d'éventuelles dégradations supplémentaires liées à des turbulences plus fortes dans la nappe autour du forage, si l'on extrapole la courbe caractéristique obtenue :

- le rabattement à 100 m<sup>3</sup>/h serait voisin de 3,4 m correspondant à 58% de la tranche d'eau disponible (tranche d'eau restante : 2,5 m, hauteur de crépines dénoyées : 1,35 m, vitesse de l'eau dans la partie ennoyée des crépines : 2,74 cm/s < 3 cm/s, valeur maximale recommandée pour une durabilité de l'exploitation). Il s'agit donc du débit maximal que l'on peut espérer de ce forage ;
- le rabattement à 120 m<sup>3</sup>/h serait voisin de 4,5 m correspondant à 76% de la tranche d'eau disponible (tranche d'eau restante : 1,4 m, hauteur de crépines dénoyées : 2,45 m, vitesse de l'eau dans la partie ennoyée des crépines : 5,87 cm/s). Ce débit serait trop important et risquerait de conduire à une dégradation accélérée de l'ouvrage, voire à des problèmes qualitatifs (turbidité, fer, bactériologie...).

Si ce forage doit être exploité au débit de 100 m<sup>3</sup>/h, nous recommandons de rechemiser les 1,4 m supérieurs des crépines par un tube plein afin de limiter les risques d'oxygénation de l'équipement (risques d'encrustements par du fer et du manganèse). Par ailleurs, il est recommandé d'effectuer à l'étiage un pompage d'essai complémentaire visant à préciser les conditions d'exploitation à 100 m<sup>3</sup>/h, le comportement du cône de rabattement de ce forage à distance sur une durée suffisamment longue (72 h) et à contribuer à évacuer la turbidité résiduelle qui n'était pas totalement disparue à l'issue de notre essai avorté. Par ailleurs, un prélèvement pour analyse de première adduction y sera effectué après 48 h de pompage.

Le pompage d'essai a également montré que **le forage FR-2020 se trouve dans une zone où la perméabilité moyenne des alluvions est au moins 3 fois moindre que celle estimée au voisinage des deux puits en exploitation, ce qui explique la productivité moindre que celle attendue**. Contrairement à ce que laissait augurer la campagne géophysique de 2017, le site du forage ne correspond pas à un surcreusement du substratum ni à une zone de forte perméabilité. L'essai a confirmé que deux puits exploités se trouveraient dans une zone plus favorable, en lien plus marqué avec l'Hérault qui en constitue une limite de réalimentation (*en cours de précision, dans l'attente d'une donnée du SMEVH sur le débit réel du puits Hérault durant l'essai effectué*), alors que cette limite n'est pas visible au nouveau forage dans le temps exploitable de l'essai de 2020 (13h44 de descente). L'Hérault est localement déconnecté de sa nappe alluviale (niveau perché de plus d'1,4 m au-dessus de la nappe) du fait d'un probable colmatage local de son lit probablement instauré au cours du temps par accumulations de fines en amont du barrage. Si l'on recoupe ces informations et l'allure de la piézométrie locale avec les études historiques disponibles, tout porte à croire que les puits Hérault et Boyne se trouvent au droit d'un paléochenal perméable qui recouperait le lit vif de l'Hérault entre 300 et 1 400 m en amont du site. Le nouveau forage FR-2020 s'en trouverait écarté, montrant un certain cloisonnement local de l'aquifère.

Il est également probable que la configuration des deux puits, d'un diamètre intérieur DN 3000 mm, avec une importante surface d'échange avec un horizon productif de l'aquifère au niveau fond non étanché des ouvrages (7,1 m<sup>2</sup>) contribue à leur bonne productivité, plus que la faible surface développée par les barbacanes dans la structure de béton armé des puits (0,12 m<sup>2</sup> pour le puits de Boyne).

Par ailleurs il semble que le niveau de la nappe l'Hérault aie tendance à baisser au fil des années, possiblement en raison d'une évolution de la connexion des paléo-chenaux avec la rivière actuelle qui peut potentiellement évoluer au gré des crues, de migrations du lit vif et/ou des accumulations de fines en fond et sur les berges du lit en amont du barrage. La tranche d'eau, aujourd'hui suffisante pour les besoins du syndicat, doit faire l'objet d'une surveillance car elle pourrait générer sur le long terme une baisse de productivité, voire une augmentation de la turbidité sous l'effet de plus fortes vitesses de l'eau. Ne pouvant écarter une future baisse tendancielle des niveaux, nous recommandons de poursuivre la recherche d'une nouvelle ressource en eau.

#### Recommandations :

Deux axes de recherche sont proposés et peuvent être menées simultanément :

1. **Sur l'enceinte du site** : le site actuel paraît intéressant en raison de la productivité non négligeable des puits actuels, de la proximité des installations existantes et de la maîtrise foncière. Le contexte de protection réglementaire déjà établi par la DUP et la distance hydraulique à l'Hérault qui permet de limiter les risques de transmission d'une pollution accidentelle du cours d'eau au captage sont aussi deux arguments favorables pour chercher à mieux exploiter le site existant.

Le nouveau forage FR-2020 étant à ce jour insuffisant pour sécuriser durablement l'approvisionnement en eau du SMEVH, nous proposons de poursuivre la démarche entamée sur le site au moyen :

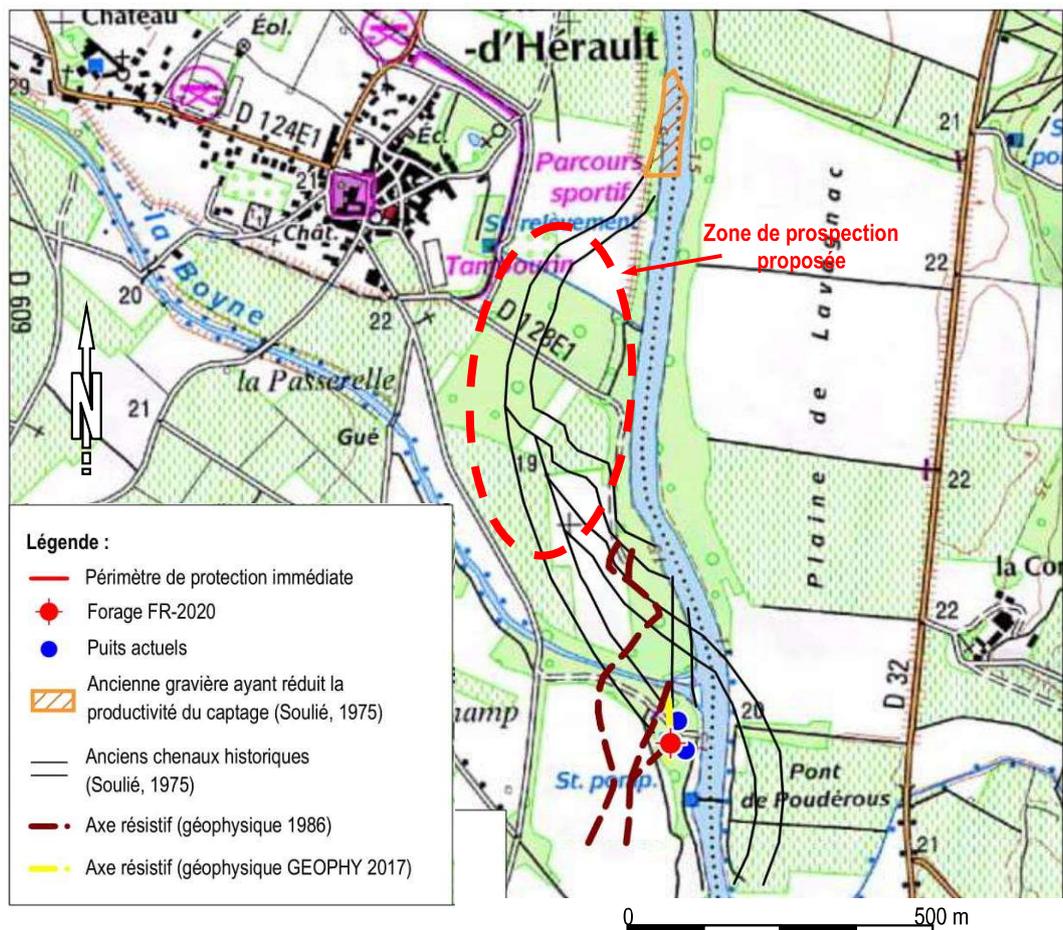
- d'une campagne de mesures géophysiques complémentaires (méthodes pôle-dipôle et Schlumberger) plus denses recouvrant l'ensemble du site, calée sur l'ensemble des coupes géologiques disponibles sur le site et permettant une cartographie suffisamment dense des résistivités à 2 profondeurs différentes (8 et 10 m a priori). Il est proposé un total de 5 à 6 nouveaux profils répartis sur le site avec réinterprétation de l'actuel profil 2 sur la base de la coupe du forage FR-2020 ;
- d'une modélisation hydrogéologique locale afin de mieux exploiter les données acquises lors de nos essais et celles de la campagne géophysique complémentaire et préciser ainsi la compréhension du mode d'alimentation de la nappe au droit du site et la distribution prévisible des transmissivités dans l'objectif d'optimiser l'implantation de la future recherche d'eau. Une telle modélisation a également l'avantage de pouvoir simuler la structure des puits actuels et de la bêche, de pouvoir au besoin subdiviser l'aquifère en plusieurs couches et de prendre en compte le colmatage de l'Hérault et le rôle de la Boyne. Elle s'attachera à reproduire l'évolution des niveaux mesurés lors du pompage d'essai afin d'améliorer leur interprétation et la compréhension de la configuration hydrogéologique locale. Le domaine modélisé comprendra au moins l'ensemble des tracés des paléo-chenaux jusqu'à l'Hérault et s'étendra jusqu'à une distance suffisante à l'aval du barrage. Le modèle permettra de mieux comprendre les mécanismes de réalimentation des puits et forages et de tester plusieurs scénarios d'optimisation et de sécurisation de la ressource : mise en place d'un ou plusieurs nouveau(x) forage(s) sur plusieurs emplacements à tester, interventions sur les puits existants (rajout de drains...).

Puis selon les résultats de la modélisation :

- réalisation de deux forages de reconnaissance à 15 m de profondeur moyenne et à tube acier classique au vu des incertitudes liées à l'hétérogénéité locale des alluvions, implantés à la suite de la modélisation ;
- puis réalisation d'un ou deux forages de même type que celui de FR-2020 implanté sur le site le plus favorable, suivi d'un pompage d'essai par 4 paliers croissants non enchainés et un pompage de longue durée (72 h) au débit d'exploitation retenu, en conditions d'exploitation continues de l'un des puits existants (le plus éloigné si possible), ou de tout autre ouvrage permettant d'optimiser l'exploitation du site.

2. **Au Nord de la Boyne sur le tracé supposé des paléochenaux entre la Boyne et l'Hérault** : en effet, ce secteur permet potentiellement de se rapprocher de la zone d'alimentation des paléochenaux productifs par l'Hérault, ce qui dans une perspective de long terme, avec des incertitudes sur une baisse potentielle des tranches d'eau, pourrait s'avérer favorable. Ce site peut également trouver un intérêt à se trouver à proximité de la future bâche de reprise prévue par le syndicat. En revanche, ce secteur n'étant pour le moment pas du tout connu, nous proposons au préalable la réalisation de 3 profils géophysiques transversaux qui permettront de préciser la localisation des paléochenaux. A l'issue de ces profils, un forage de reconnaissance de 15 m de profondeur prévisionnelle (à adapter selon les résultats de la géophysique) pourra y être implanté.

Figure 28 – Zone de prospection proposée au Nord de la Boyne



## **LISTE DES ANNEXES**

**ANNEXE 1 : PLANCHE PHOTOGRAPHIQUES DU CHANTIER DE FORAGES**

**ANNEXE 2 : RESULTATS DES ANALYSES GRANULOMETRIQUES**

## **ANNEXE 1 : PLANCHE PHOTOGRAPHIQUE DU CHANTIER DE FORAGE**

### 27 juillet 2020 - Installation



### 27 juillet 2020 - Mise en station de la foreuse



## 27 juillet 2020 – Compresseurs



**Marteau de fond de trou Symetrix avec sa couronne dentée**



**27 juillet 2020 – Les tubes de soutènement DN508 mm pour tubage l'avancement**



**28 juillet 2020 – Début de foration, première passe de 4 m**



**28 juillet 2020 – Début de foration, première passe de 4 m**



**28 juillet 2020 – Début de foration, deuxième passe de 4 m**



**28 juillet 2020 – Foration, fin de la deuxième passe de 4 m (profondeur : 7 m)**



**29 juillet 2020 – Foration, troisième passe de 4 m**



**29 juillet 2020 – Foration, fin de la troisième passe de 4 m (profondeurs : 10,5 m et 11 m)**



**30 juillet 2020 – vue du trou après remontée de toute la colonne (marteau ôté pour modifications) – première cavitation dans les limons**



**4 août 2020 – vue du marteau après modifications des 8 ouvertures d'arrivée d'air**



**5 août 2020 – mise en place du trilame PDC**



**5 août 2020 – Foration au PDC entre 16 et 21 m**



**5 août 2020 – Granulats utilisés**

**Graviers concassés de basalte 4-6 mm (remblai de la partie improductive entre 15,1-21 m)**

**Graviers siliceux roulés 4-8 mm (massif filtrant entre 7,1 et 15,1 m)**



**5 août 2020 – Tubes inox 355/345 mm avec raccords ZSM – crépine à fil enroulé 36% de vides**



**3 centreurs inox 355/445 mm**

**Bouchon de fond inox**



**5 août 2020 – Pose de la colonne de tubes inox 355/345 mm avec raccords ZSM – crépine à fil enroulé 36% de vides**



**6 août 2020 – Gravillonnage de l'espace annulaire**



**7 août 2020 – Observation d'une cavité d'effondrement de 50 à 70 cm de profondeur à 75 cm du forage (entraînement sous l'effet de l'eau d'exhaure du forage, de la fraction fine de la plate forme remblayée, que l'on retrouve en pied de l'enrochement de soutènement des remblais)**



**31 août 2020 – Dévissage du tube provisoire de soutènement à l'aide d'un levier et de la grue**



### 1<sup>er</sup> septembre 2020 – Mise en place de l'unité de cimentation et ciment utilisé



### 1<sup>er</sup> septembre 2020 – Fabrication du ciment



**1<sup>er</sup> septembre 2020 – Injection du ciment à la canne (par le bas)**



**7 septembre 2020 – Soufflage (phase d'alternance soufflage / repos)**



### 7 septembre 2020 – Soufflage (phase soufflage continu)



## **ANNEXE 2 : RESULTATS DES ANALYSES GRANULOMETRIQUES**