

Annexe n°7 : Essais de pompage du forage SAD2_2019
(rapport BergaSud)

Département du Gard
Commune de SAINT-LAURENT LA VERNÈDE
Sadargues

RAPPORT HYDROGÉOLOGIQUE

**DOE : RÉALISATION DU FORAGE D'EXPLOITATION SAD2
POUR L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DU SIAEPA DE ST-LAURENT LA VERNÈDE**

**Compte rendu des travaux de réalisation du forage SAD2,
des essais par pompage, des résultats de l'analyse de première adduction
valant compte rendu de la déclaration de travaux 3011-2019-00009**

Réalisé à la demande de :

**SIAEPA de St-Laurent La Vernède
7 impasse Durande
30330 SAINT-LAURENT LA VERNÈDE**

Montpellier, le 23 mars 2020

N° 30/279 X 20 016

SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION.....	4
	1.1. Objet de l'étude.....	4
	1.2. Identification du maître d'ouvrage et des intervenants.....	5
	1.3. Rapports BERGA-Sud relatifs au site des Clottes	6
2.	SITUATION GÉOGRAPHIQUE.....	6
3.	TRAVAUX DE FORAGE	7
	3.1. Déclarations/Autorisations administratives.....	7
	3.2. Atelier de forage.....	7
	3.3. Chronologie des opérations	8
	3.4. Terrains traversés.....	9
4.	ESSAI PAR POMPAGE	10
	4.1. Caractéristiques techniques	11
	4.2. Pompage par paliers de débit	12
	4.2.1. Mise en œuvre	12
	4.2.2. Résultats et interprétation	13
	4.3. Essai par pompage de longue durée	15
	4.3.1. Chronologie	15
	4.3.2. Résultats et interprétation	15
	4.3.3. Suivi des paramètres physico-chimiques.....	24
5.	ANALYSE DE PREMIÈRE ADDUCTION	25
6.	PROPOSITIONS D'EXPLOITATION.....	27
7.	CONCLUSION.....	28

Liste des Figures

- Figure 1** **Situation géographique au 1/12 500**
- Figure 2** **Situation cadastrale au 1/2 000**
- Figure 3** **Coupes géologique et technique du forage SAD2**

Liste des Annexes

- Annexe I** **Récépissés des déclarations et autorisations des travaux**
- Annexe II** **Coupes géologique et technique du forage SAD1 et du piézomètre**
- Annexe III** **Rapport analytique CARSO LSHEL des eaux de SAD2 (RP1A et PHY20) de**

1. INTRODUCTION

1.1. Objet de l'étude

Le Syndicat Intercommunal d'Adduction d'Eau Potable et d'Assainissement de St-Laurent La Vernède (dénommé le SIAEPA dans la suite de ce rapport) exerce la compétence eau potable pour les communes de St-Laurent La Vernède, Fontarèches et La Bruguière.

Actuellement le SIAEPA est alimenté en eau à partir du captage de La Rouquette situé sur la commune de St-Laurent-La-Vernède au Sud du bourg (1 ouvrage R1, avis sanitaire du 15/03/2010 par Michel PERRISSOL), et du captage d'Estrasson (1 ouvrage F2, avis sanitaire du 15/03/2010 par Michel PERRISSOL) situé sur la commune de Fontarèches à proximité de la limite avec la commune de La Bruguière.

Pour sécuriser et diversifier sa ressource le syndicat a lancé dans un premier temps des recherches en eau visant l'aquifère des calcaires barrémiens à faciès urgonien sur le secteur de Lembarnès au Nord de St-Laurent la Vernède (cf. compte rendu de travaux BERGA-Sud n° 30/279 M 06 015). Un forage de reconnaissance a été réalisé et n'a pas donné les résultats escomptés, ce site de recherche a donc été abandonné.

Dans un second temps, les recherches se sont réorientées vers l'aquifère des sables cénomaniens sur le flanc Nord du synclinal au Nord du village sur la commune de St-Laurent la Vernède. Un premier forage de reconnaissance n'a pas été concluant mais a été conservé (cf. rapport BERGA-Sud n° 30/279 N 06 107). Il a servi de piézomètre pour les essais par pompage faisant l'objet du présent rapport.

En 2008 un second forage de reconnaissance (SAD1) a été réalisé quelques centaines de mètres à l'Est du précédent (cf. rapports BERGA-Sud n° 30/279 P 08 085 et 30/279 Q 08 104). Les essais par pompage ont montré un potentiel intéressant et ont conduit le syndicat à engager les travaux de réalisation d'un forage d'exploitation (SAD2) sur le même site, suite à l'avis sanitaire favorable de l'hydrogéologue agréé M. Michel PERRISSOL, du 15/03/2010. SAD1 devait être conservé en secours.

Dans ce cadre, sous maîtrise d'œuvre de CEREG, le SIAEPA a lancé un marché de travaux pour la réalisation du forage. L'encadrement hydrogéologique de cette mission nous a été confié.

Les travaux de foration ont été attribués à l'entreprise BRANTE Forages, ils se sont déroulés d'octobre à décembre 2019 et les essais par pompage et l'analyse de première adduction réglementaire ont été mis en œuvre mi-janvier 2020.

Ce rapport est un compte rendu de ces travaux qui ont fait l'objet des déclarations réglementaires préalables auprès de l'Autorité Environnementale (DREAL) et du service de Police de l'Eau (DDTM) au titre du Code de l'Environnement, ainsi qu'auprès de la DREAL au titre du Code Minier (cf. paragraphe 3.1).

1.2. Identification du maître d'ouvrage et des intervenants

Maître d'ouvrage :

Nom : **SIAEPA de St-Laurent la Vernède**
 Adresse : 7 impasse Durande -30330 ST-LAURENT LA VERNÈDE
 Tél. : 04 66 72 88 21
 Mail : siaepa.stlaur@orange.fr
 Personne à contacter : M. Claude DUVALET, Président

Exploitant du captage (régie) :

Nom : **SIAEPA de St-Laurent la Vernède**
 Adresse : 7 impasse Durande -30330 ST-LAURENT LA VERNÈDE
 Tél. : 06 76 83 26 11
 Mail : siaepa.stlaur@orange.fr
 Personnes à contacter : Jean-Marie VERNASSAL, Responsable technique

Maître d'œuvre :

Nom : **SARL CEREG**
 Adresse : 176 avenue Roger Salengro – 30200 BAGNOLS SUR CÈZE
 Tél. : 04 66 39 02 65
 Mail : t.peltier@cerreg.com
 Personne à contacter : Thomas PELTIER, Ingénieur chef de projet, responsable d'agence

Entreprise de forage qui a réalisé les travaux :

Nom : **SAS BRANTE FORAGES**
 Adresse : 240 impasse de Bellevue – 30140 BOISSET ET GAUJAC
 Tél. : 04 66 52 34 24
 Mail : brante-forages@orange.fr
 Personne à contacter : Charles BRANTE, Président

Bureau d'études ayant piloté les travaux :

Nom : **SARL BERGA-Sud**
 Adresse : 10 rue des Cigognes - 34000 Montpellier
 Tél. : 04 67 99 52 52
 Mail : guillaume.latge@bergasud.fr
 Personne à contacter : Guillaume LATGÉ, Gérant, hydrogéologue

Hydrogéologue agréé :

Nom : **M. Michel PERRISSOL**
 Adresse : 110 route de Lavérune – 34990 JUVIGNAC
 Tél. : 04 67 45 41 72
 Mail : perrisol.michel@9business.fr

1.3. Rapports BERGA-Sud relatifs au site des Clottes

La liste des principaux rapports relatifs au site de Sadargues est donnée ci-après :

Titre	Référence et date
Sadargues. Compte rendu des travaux de réalisation du forage F2 et de l'essai de puits	30/279 N 06 107 22/01/2007
Sadargues. Réalisation d'un forage de reconnaissance (SAD1)	30/279 P 08 085 24/10/2008
Sadargues. Interprétation des essais par pompage sur le forage SAD1	30/279 Q 08 104 28/11/2008
Sadargues. Déclarations réglementaires préalables aux travaux : Autorité Environnementale (examen au cas par cas) – Police de l'Eau/DDTM (formulaire de déclaration préfectorale rubrique 1.1.1.0 des IOTA) – DREAL : déclaration au titre du Code Minier	30/279 U 18 146 09/09/2018
Sadargues. Demande de réalisation d'une analyse de première adduction sur le forage SAD2	30/279 W 19 154 04/12/2019

2. SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Les forages SAD1 et SAD2 sont situés sur la commune de Saint-Laurent la Vernède au lieu-dit « Sadargues », sur la parcelle C 867 (anciennement C 521) du plan cadastral communal (cf. Figures 1 et 2), à environ 1 km au Nord de la zone urbanisée.

Le PPI a été défini dans l'avis sanitaire de mars 2010, il consiste en un rectangle dont les limites se situent à 10 m des forages SAD1 et SAD2. Ce périmètre ayant été borné sur le terrain, le forage SAD2 a donc été réalisé précisément à l'emplacement prévu sur le plan fourni dans l'avis sanitaire. On accède au PPI par un chemin qui a été empierré depuis la route départementale. Il est bordé à l'Est par une oliveraie, par une friche à l'Ouest (ancienne vigne) et une zone boisée au Nord et au Sud.

À quelques dizaines de mètres au Sud un talweg, dénommé « Valat du Pont » draine le secteur et donne lieu à des écoulements en période de pluies significatives qui vont rejoindre la Tave au Sud de St-Laurent. En dehors de ces périodes il est sec.

Les coordonnées géographiques et cadastrales des forages SAD1, SAD2 et du piézomètre (ancien forage F2) sont précisées dans le tableau ci-après.

Codes BSS	SAD1 (*)	SAD2 (*)	Piézomètre (**)
	BSS002CLKU	BSS003QDGC	BSS002CLKX
Coordonnées topographiques (Lambert 93)			
x (m)	816 421,5	816 414,3	816 054
y (m)	6 336 036,9	6 336 038,1	6 336 059
Altitude TN (m NGF)	250,96	250,40	269
Situation cadastrale			
Commune	St-Laurent La Vernède		
Section/Parcelle	C 853 (97 954 m ²)		
Superficie PPI	≈ 550 m ² (20 x 27,50 m)		
Lieu-dit	Sadargues		

(*) : coordonnées issues de la reprojection avec Circé des valeurs levées par le géomètre (source : avis sanitaire).

(**) : coordonnées issues de la fiche BSS.

Les coupes des forages sont données en Figure 3 (SAD2) et en Annexe I (SAD1 et Piézomètre BSS002CLKX).

3. TRAVAUX DE FORAGE

3.1. Déclarations/Autorisations administratives

Les références des déclarations et autorisations préalables aux travaux sont regroupées dans le tableau ci-dessous. Les récépissés sont donnés en Annexe II.

Service instructeur	Décision	Référence	Date
DDTM 30 / SEI	Autorisation de réaliser les travaux (1.1.1.0)	30-2018-00330	18/10/2018
Autorité Environnementale	Dispense d'étude d'impact après examen au cas par cas	2018-006735	10/10/2018
DREAL Code Minier	néant	BSS003QDGC	03/09/2018

3.2. Atelier de forage

Le personnel sur site est composé d'un foreur et de deux aides-foreur.

L'atelier de forage est constitué :

- foreuse HMS (Hydro Meca Services), montée sur camion et positionnée sur bâche plastique étanche,
- groupe électrogène QAS 35 Atlas Copco, disposant d'une cuve de rétention,
- pompe SEW USOCOME R72,

- pompe à boue Caprari 306 E11,
- minipelle Volvo EC55,
- un camion de liaison.

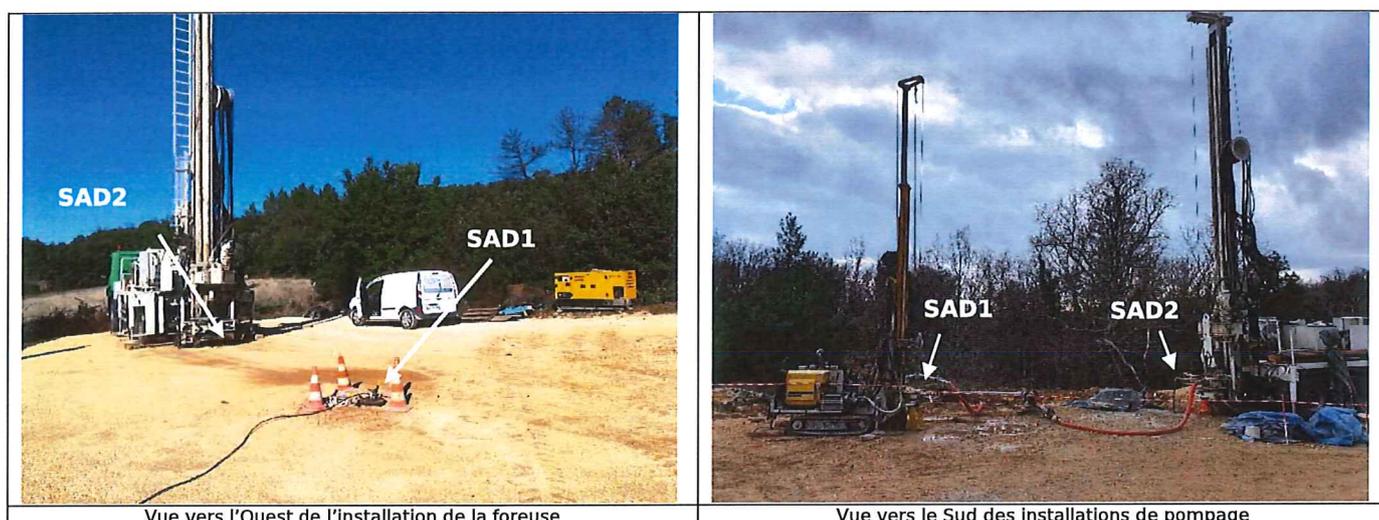
Les boues et déblais de forage ont été stockés dans une fosse creusée au Sud à l'extérieur du PPI.

3.3. Chronologie des opérations

Date	Opérations
07/11/2018	Réunion d'implantation sur site
25/10/2019	Après aménagement du chemin d'accès, installation de l'atelier de forage et approvisionnement du chantier
28/10/2019	Foration (Rotary boue polymères) de l'avant trou en Ø 311 mm, jusqu'à 12 m
29/10/2019	Alésage (Rotary boue polymères) de l'avant trou en Ø 444 mm, jusqu'à 12 m
30/10/2019	Reprise trou, l'argile jaune flue malgré l'épaississement de la boue. Plusieurs tentatives infructueuses de tubage en acier Ø 323 mm immédiatement après le nettoyage
31/10/2019	Tubage acier Ø 323 mm mis en place jusqu'à 11,60 m, ancré dans les argiles. Cimentation par cane à l'extrados après nettoyage de l'intérieur du tubage jusqu'à 12 m pour forcer la circulation
01/11/2019	Cimentation du pied du tubage par l'intérieur
02 au 05/11/2019	Attente pour séchage
05/11/2019	Foration du bouchon de ciment, Rotary trilame Ø 311 mm + masse-tige 273 mm
06 au 08/11/2019	Réunion sur site le 06/11. Poursuite de la foration jusqu'à 30 m en Ø 311 mm en alternant avec le trilame et le tricône + masse-tige 220 mm + racleur 220 mm + masse-tige 168 mm
12 au 22/11/2019	Mauvaise tenue des niveaux argileux qui fluent malgré l'épaississement de la boue de forage (Bentonyl et Polyfor 50 S), perte de boue. Réunion technique au siège du SIAEPA le 13/11 pour évoquer les difficultés rencontrées par l'entreprise de forage et présenter différentes solutions. Compte tenu des risques de collapse du trou, il est décidé de positionner un tubage acier supplémentaire à 100 m en Ø 219 mm et de mettre une colonne captante en PVC Ø 112x125 mm de 0 à 100 m et Ø 80x90 mm de 100 m jusqu'au fond. Attente validation par le conseil syndical du SIAEPA. Mise en place du tubage acier Ø 273 mm et cimentation à l'extrados (20/11) en deux passes (-30 à -13 m, puis jusqu'en surface)
25 au 29/11/2019	Reprise de la foration Ø 244 mm (Rotary tricône) dans des argiles bleues sableuses, avancée de 12 m par jour environ
02 au 04/12/2019	Foration Ø 244 mm (Rotary alternativement tricône et trilame en fonction des passages plus ou moins indurés) réalisée jusqu'à 96 m, mise en place d'un tubage acier Ø 219 mm jusqu'à 87 m de profondeur et cimentation sous pression (1,5 m ³), attente séchage
09 au 11/12/2019	Reprise foration Rotary Ø 203 mm jusqu'à 151 m. Réunion sur le site le 11/12/2019, établissement du plan de tubage
12 et 13/12/2019	Nettoyage du trou, remise en circulation, pose du tubage PVC (raccords filetés) à 142 m (Ø 112x125 mm de 0 à 100 m, cône de réduction de Ø 80x90 mm de 100 à 142 m, bouchon de fond à 142 m. Le tube est crépiné (slot 0,5 mm) de 102,80 m à 139,20 m. centreurs tous les 6 m dans la partie crépinée et tous les 12 m dans la partie pleine. Gravillonnage 1/2,5 mm du fond jusqu'à 50 m, développement par air-lift (évacuation des boues, mise en place du massif). Bouchon d'argiles gonflantes et laitier de ciment jusqu'à -40 m. Sécurisation du site et du forage.
16 au 20/12/2019	Retrait des engins inutiles à la poursuite du chantier, nettoyage, sécurisation du chantier

Date	Opérations
06 au 09/01/2020	Mise en place des Installation de pompage et des conduites de refoulement
10/01/2020	Mise en place des sondes piézométriques Réalisation des paliers de débit sur SAD2 et lancement du pompage longue durée
14/01/2020	Démarrage du pompage sur SAD1 (pompage simultané avec SAD2)
16/01/2020	Prélèvement pour analyse de première adduction et arrêt du pompage
20/01/2020	Retrait des sondes piézométriques
21 au 24/01/2020	Finalisation du chantier, complément de cimentation sur SAD2, rehausse des têtes de SAD1 et SAD2, sécurisation des ouvrages par plaque de fermeture boulonnée sur bride et soudée

Aucun incident de chantier n'est à signaler. Des photos du chantier sont présentées ci-dessous.



Vue vers l'Ouest de l'installation de la foreuse

Vue vers le Sud des installations de pompage

Initialement le forage était prévu pour pouvoir accueillir une pompe 6", mais les difficultés successives rencontrées par l'entreprise de forage ont conduit à réduire le diamètre final de l'ouvrage pour qu'il soit équipé d'une pompe immergée 4".

3.4. Terrains traversés

Les cuttings ont été relevés tous les trois mètres afin d'établir la coupe géologique du nouveau forage d'exploitation SAD2. Les coupes géologique et technique du forage sont données sur la Figure 3.

Les terrains rencontrés lors de la foration sont présentés ci-après :

- 0 à 4 m : argile jaune peu sableuse, localement très peu caillouteuse,
- 4 à 17 m : alternance d'argile jaune fluante (4 à 8,5 m), grise et jaune (8,5 à 9,5 m) et bleue avec niveaux plus sableux (9,5 à 17 m),

- 17 à 72 m : alternance d'argile bleue grasse à noire, avec niveaux sablo-argileux plus ou moins indurés, localement argile noire,
- 72 à 78 m : argile finement sableuse gris-bleu, localement gris-beige (72-75 m),
- 78 à 87 m : sables gris clair de taille moyenne, peu argileux,
- 87 à 90 m : argile sableuse grise à gris foncé,
- 90 à 114 m : sables moyens beiges à gris très clairs, peu argileux,
- 114 à 138 m : sables rouille à ocre fins à moyens, peu argileux, « copeaux » métalliques (encroûtement ferrugineux),
- 138 à 151 m : sables rouille, devenant de plus en plus argileux à partir de 144 m.

Le rattachement lithostratigraphique est précisé sur la coupe.

4. ESSAI PAR POMPAGE

Dans un premier temps, un essai par pompage par paliers de débit non enchaînés a été mené sur SAD2_2019 le 10/01/2020 pour caractériser l'ouvrage et sa connexion à l'aquifère.

À l'issue du dernier palier, le pompage s'est poursuivi sur SAD2_2019 jusqu'au 16/01/2020 pour une durée de 138 heures afin de tester l'aquifère intercepté. À partir du 14/01/2020, le forage SAD1 a également été mis en fonction.

Ces essais avaient pour objectifs :

- la détermination de l'équation caractéristique du forage,
- la détermination des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère,
- l'appréciation du rendement et des possibilités d'exploitation des forages (évolution du rabattement en fonction du débit pompé et estimation de la ressource en eau exploitable),
- l'influence du pompage sur la nappe et les ouvrages proches,
- un prélèvement d'échantillon pour une analyse de première adduction sur SAD2.

4.1. Caractéristiques techniques

▪ **Conditions** : moyennes eaux à basses eaux. Sur SAD1 le niveau avait été mesuré à 38,11 m/TN le 25/10/2019 avant les épisodes pluvieux de l'automne 2019, il a été mesuré à 38,02 m/TN au démarrage des essais par pompage). Après un automne et notamment un mois de novembre particulièrement pluvieux, les semaines ayant précédé les essais par pompage n'ont pas connu de précipitations importantes.

▪ **Installateur** : BRANTE Forages (Boisset et Gaujac - 30).

▪ **Groupe de pompage** : pompes immergées 4", aspiration à 96 m de profondeur sur SAD2 et à 100 m sur SAD1.

▪ **Alimentation électrique** : groupes électrogènes.

▪ **Point de rejet de l'eau** : 50 m au Sud, dans le Valat du Pont, sans risque de recyclage.

▪ **Mesure du débit** : SAD2 débitmètre électromagnétique KROHNE AQUAFLUX 010K de BRANTE Forages et SAD1 compteur volumétrique du SIAEP (installation suite au dysfonctionnement du débitmètre de l'entreprise BRANTE Forages).

▪ **Caractéristiques des points d'eau contrôlés** :

Points d'eau contrôlés	Distance à SAD2	Référence (m/TN)	Niveau initial (10/01/2020)
SAD2	-	0,71	38,70 m/réf
SAD1	7,5	0,66	38,68 m/réf
Piézomètre	370	0,72	55,17 m/réf

▪ **Mesure des niveaux** :

- mesures ponctuelles : limnimètre électrique manuel,
- mesures continues sur SAD1 et SAD2 (pas de temps 1 min) : sondes piézorésistives PTX de Druck associée à une centrale Duosens d'OTT hydrométrie,
- mesures continues sur le piézomètre (pas de temps 1 min) : sonde piézorésistive PTX de Druck associée à une centrale MAC 10 de Paratronic.

▪ **Mesure de la turbidité** : mesures ponctuelles au moyen d'un turbidimètre de terrain Hach.

▪ **Mesure de la conductivité et de la température** : mesures ponctuelles au moyen du conductimètre WTW LF 330.

4.2. Pompage par paliers de débit

La réalisation d'un forage perturbe l'écoulement des eaux souterraines au voisinage de l'ouvrage. Les pertes de charge induites par ce dernier (crépines, massif filtrant, casing, ...) s'ajoutent à celles dues au magasin dans lequel circule l'eau.

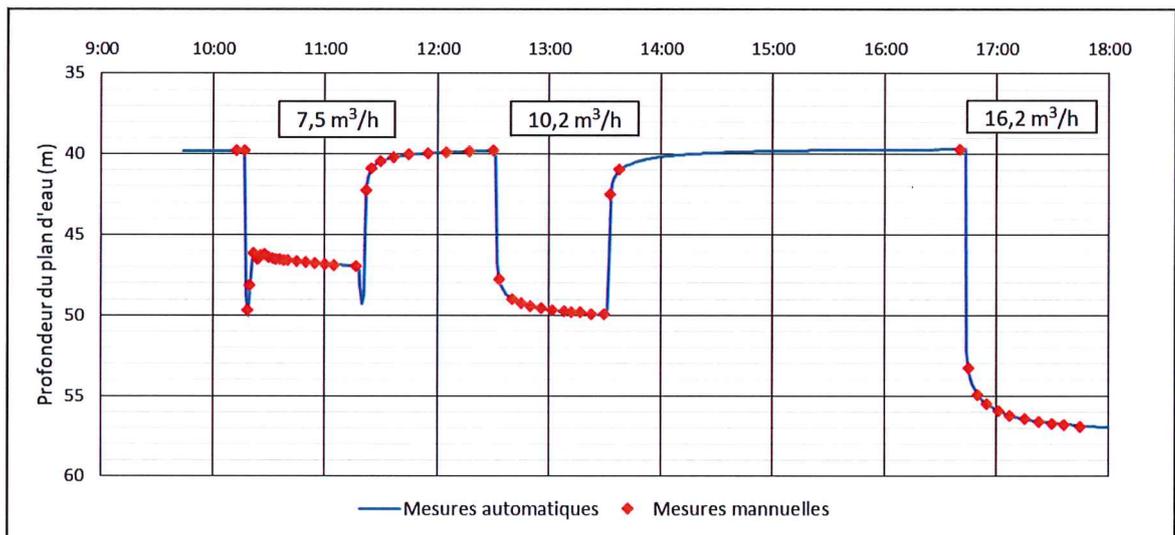
Ce type d'essai a pour objectif de mettre en relation ces deux types de pertes de charge au sein d'une équation qui traduit la connectivité entre l'ouvrage et la nappe.

4.2.1. Mise en œuvre

Le forage SAD2 a été mis en production à différents débits, appelés paliers de débit, pendant 1 heure.

- **Nombre de paliers** : 3.
- **Débits** :
 - 1^{er} palier : 7,5 m³/h
 - 1^{er} palier : 10,2 m³/h
 - 1^{er} palier : 16,2 m³/h
- **Durée des paliers** : 60 minutes.
- **Temps de remontée** : au minimum 60 minutes.

L'évolution du niveau piézométrique sur SAD2 lors de l'essai par palier est représentée ci-après :



Graphique 1 : Évolution du niveau piézométrique dans SAD2 au cours de l'essai par paliers de débit

Au démarrage de chaque palier, le niveau d'eau chute de plusieurs mètres (pertes de charge instantanées) puis l'évolution du niveau prend une allure asymptotique, caractéristique du régime transitoire.

Lors de l'arrêt du pompage, le phénomène inverse s'observe avec le niveau qui remonte rapidement suivi d'une remontée plus amortie. Les remontées sont complètes.

4.2.2. Résultats et interprétation

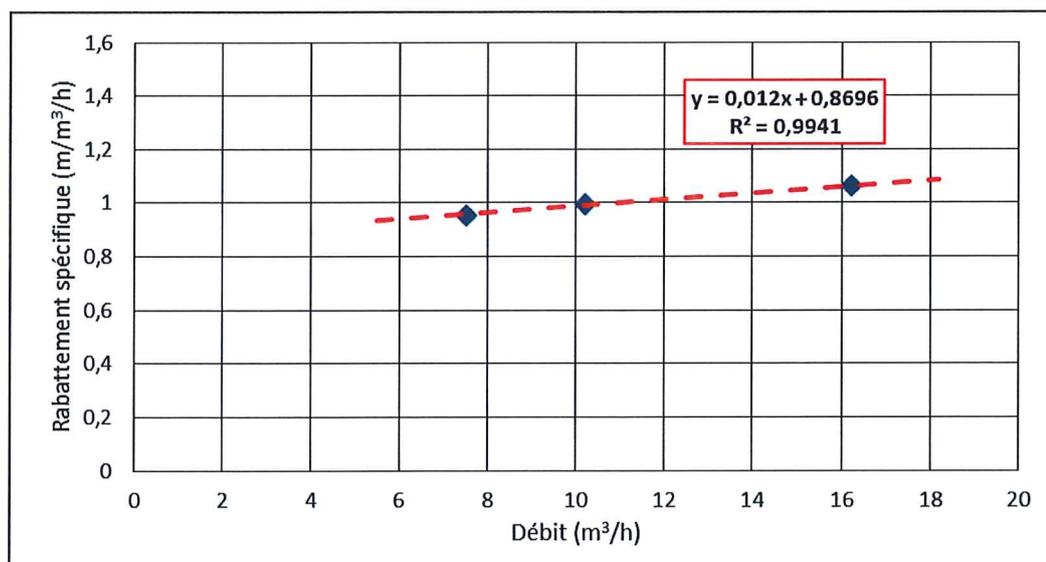
Les valeurs de rabattement à l'issue de chaque paliers (à durées égales) ainsi que les débits correspondants sont reportés dans le tableau ci-dessous.

Paliers		1	2	3
Débit	Q (m ³ /h)	7,5	10,2	16,2
Rabattement	s (m)	7,17	10,16	17,2
Rabattement spécifique	s/Q (m/m ³ /h)	0,956	0,996	1,062

L'exploitation graphique de la droite $s/Q = f(Q)$, représentée ci-après permet de déterminer l'équation caractéristique de du forage SAD2 :

$$s = 1,2 \cdot 10^{-2} Q^2 + 8,7 \cdot 10^{-1} Q$$

Le coefficient de corrélation est de 99,4 %.



Graphique 2 : Droite caractéristique de SAD2

Le premier terme représente les pertes de charge quadratiques qui sont provoquées par l'écoulement turbulent dans l'ouvrage (crépine + tubage) et son environnement immédiat. Le second terme représente les pertes de charge linéaires qui sont provoquées par l'écoulement laminaire dans l'aquifère.

Cette équation met en évidence que les pertes de charge quadratiques induites par l'ouvrage restent inférieures aux pertes de charge linéaires pour les débits envisagés. Le rabattement est principalement causé par les écoulements souterrains dans l'aquifère.

Dans l'hypothèse où le fonctionnement de l'ouvrage n'est pas modifié par le rabattement, il est possible d'extrapoler les rabattements théoriques obtenus par des pompages d'une heure pour différents débits sur SAD2.

Débit (m ³ /h)	Pertes de charge quadratiques		Pertes de charge linéaires		Pertes de charge totales
	Rabattement (m)	%	Rabattement (m)	%	Rabattement (m)
5	0,30	6%	4,4	94%	4,7
7	0,59	9%	6,09	91%	6,68
10	1,20	12%	8,70	88%	9,90
15	2,70	17%	13,04	83%	15,74
20	4,80	22%	17,39	78%	22,19
30	10,80	29%	26,09	71%	36,89

Le **débit critique théorique** est le débit maximal pouvant parvenir d'un aquifère à un ouvrage de pompage en écoulement laminaire, sans dépassement de la vitesse critique. En pratique, c'est le débit pompé au-delà duquel il y a un risque de détérioration de l'ouvrage et des pompes car l'écoulement devient turbulent. Le débit critique correspond à un pourcentage de 30 % du rabattement lié aux pertes de charge quadratiques, soit dans le cas présent environ 30 m³/h. Dans la réalité ce débit critique n'est pas atteignable sur l'ouvrage en raison de son débit limitant son exploitation à 20 m³/h.

Les essais par palier mené sur le forage SAD1 en 2008 avait donné un résultat analogue :

$$s = 1,03.10^{-2} Q^2 + 8,8.10^{-1} Q$$

Les deux ouvrages présentent donc un fonctionnement correct pour un débit d'exploitation de 20 m³/h.

4.3. Essai par pompage de longue durée

4.3.1. Chronologie

▪ **Descente :**

du 10/01/2020 16 h 43 mn
 au 16/01/2020 10 h 35 mn
 soit 137 heures et 52 minutes.

▪ **Remontée :**

du 16/01/2020 10 h 35 mn
 au 20/01/2020 08 h 50 mn
 soit 94 heures et 15 minute.

Le 14/01/2020, après 90 heures de pompage sur SAD2, le forage SAD1 a été mis en fonction à un débit d'environ 16 m³/h jusqu'à la fin de l'essai. La durée du pompage simultané sur les deux ouvrages est donc de l'ordre de 48 heures.

4.3.2. Résultats et interprétation

Descente

▪ **Débit moyen :** 17 à 18 m³/h sur SAD2 pendant les 90 premières heures puis 34 m³/h en cumulé sur SAD1 (16 m³/h) et SAD2 (18 m³/h).

▪ **Volumes extraits des forages :** 2 375 m³ sur SAD2 et 750 m³ sur SAD1.

▪ **Principales valeurs mesurées :**

Temps	0	5 min	10 min	30 min	1 h	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	137 h 52
QSAD2+SAD1 (m ³ /h)	0	17						18	34		

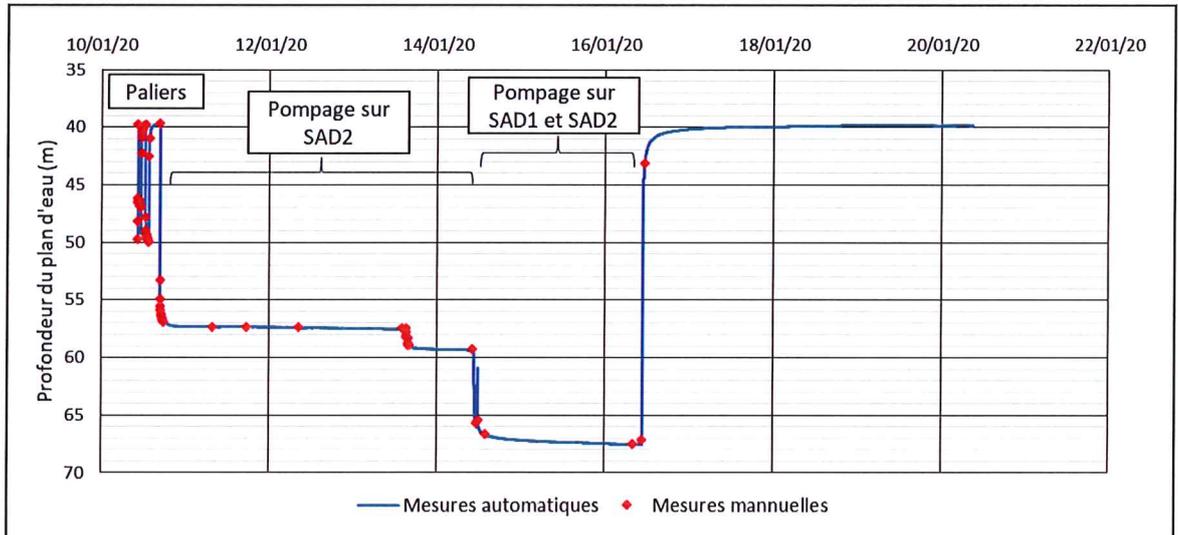
Sur SAD2

Profondeur du plan d'eau (m)	39,71	54,32	55,12	56,20	56,67	57,33	57,43	59,13	66,92	67,38	67,55
Rabatement (m)	0	14,61	15,41	16,49	16,96	17,62	17,72	19,42	27,21	27,67	27,84

Sur SAD1

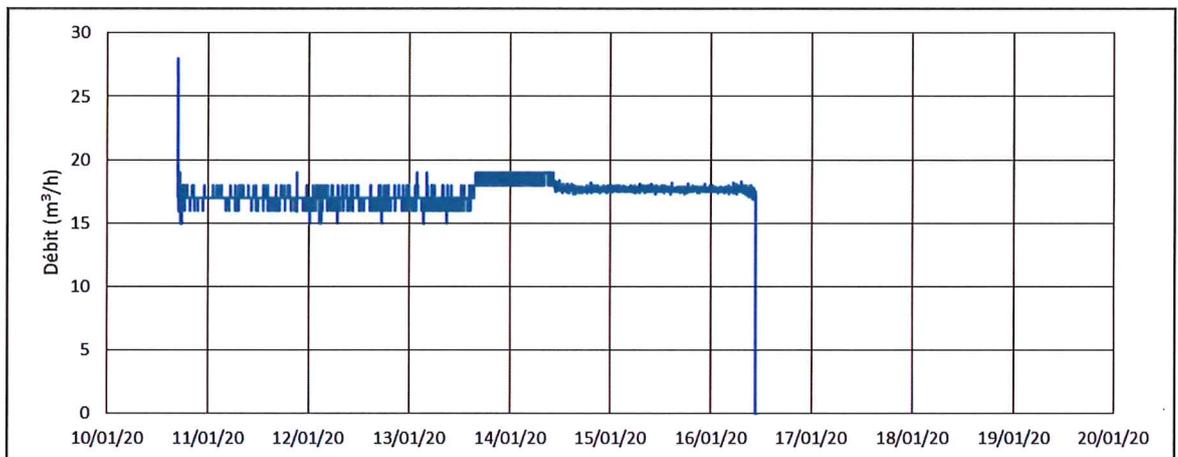
Profondeur du plan d'eau (m)	38,85	43,77	44,61	45,75	46,30	47,28	47,26	48,16	64,46	63,87	65,03
Rabatement (m)	0	4,92	5,76	6,90	7,45	8,43	8,40	9,31	25,61	25,02	26,18

L'évolution de la profondeur du plan d'eau dans SAD2 est tracée sur le graphique suivant :



Graphique 3 : Évolution du niveau d'eau sur SAD2, durant l'essai de nappe

La chronique du débit de SAD2 est présentée sur le graphique ci-après.



Graphique 4 : Évolution du débit de pompage sur SAD2, durant l'essai de nappe

Au démarrage du pompage, le niveau d'eau baisse rapidement de l'ordre de 15 m en 5 minutes puis la pente prend une allure asymptotique caractéristique des écoulements en régime transitoire.

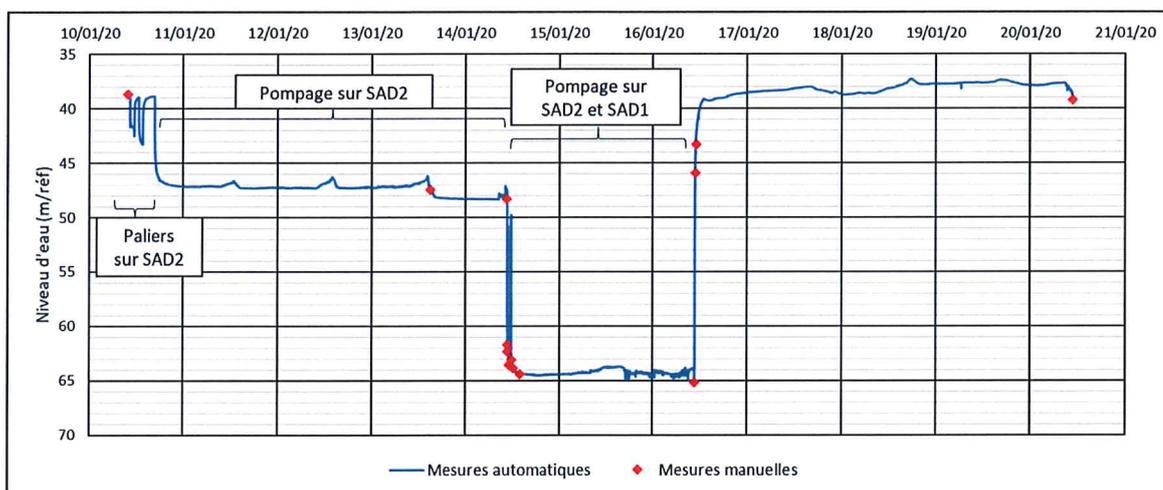
Le 13/01/2020, le débit a été augmenté à environ 18 m³/h provoquant une baisse de niveau d'environ 1 m en 20 minutes. La pente reprend ensuite une allure asymptotique et le niveau se pseudo-stabilise vers 59,3 m de profondeur.

Après 90 heures de pompage sur SAD2, le forage SAD1 a été mis en fonction à un débit cumulé de 34 m³/h en moyenne. Le niveau dans SAD2 chute alors de près de 4 m en 5 minutes.

50 minutes après le début du pompage sur SAD1, le dysfonctionnement du débitmètre de l'entreprise BRANTE Forages nous a conduit à interrompre le pompage pour mettre en place un compteur volumétrique mis à disposition par le SIAEPA. Le pompage est relancé après 10 minutes d'arrêt.

Le niveau décroît ensuite pour atteindre 67,55 m pour un rabattement final de 27,84 m après 137 heures de pompage.

Le graphique ci-après présente l'enregistrement du niveau réalisé sur SAD1.



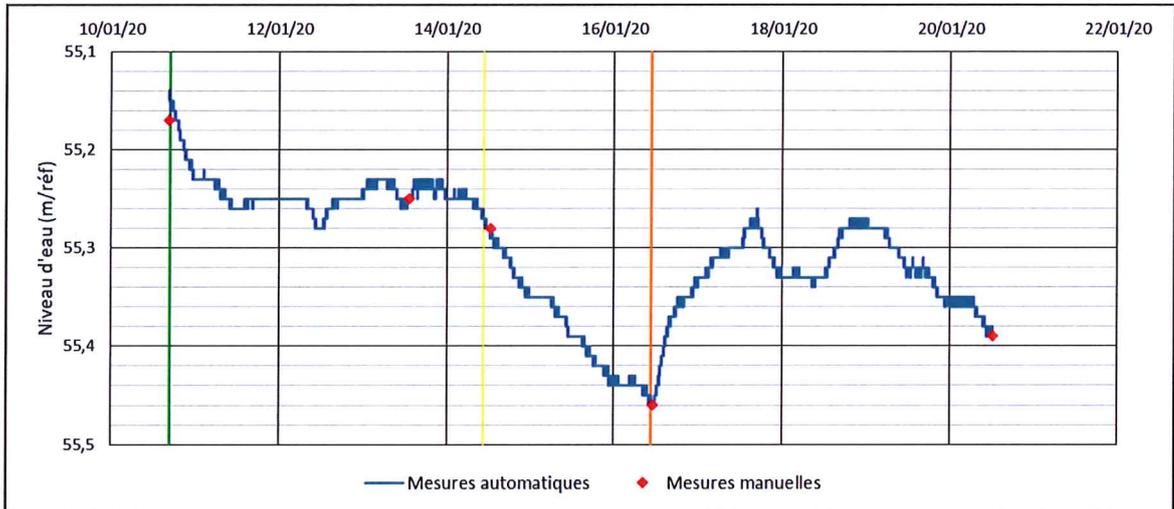
Graphique 5 : Évolution du niveau d'eau sur SAD1, durant l'essai de nappe

Les variations du niveau sur SAD1 sont sensiblement similaires à celles observées sur SAD2. Au début du pompage sur SAD2, le niveau chute d'environ 5 m en 5 minutes puis la pente suit une allure asymptotique. Lors de ce suivi, l'impact probable de prélèvements lointains est identifiable, ce qui ne s'observe pas sur la chronique de SAD2. Ils sont également visibles après l'arrêt des pompes.

Au démarrage du pompage sur SAD1, le niveau baisse de près de 13 m en 5 minutes puis reprend son allure.

À la fin de l'essai de nappe, le rabattement est de 26,18 m avec un niveau qui atteint 65,03 m.

Le graphique ci-après présente l'enregistrement du niveau réalisé sur le piézomètre distant de 370 m à l'Ouest. Les verticales verte, jaune et orange correspondent respectivement au début du pompage sur SAD2, sur SAD1 et à l'arrêt de l'essai de nappe.



Graphique 6 : Évolution du niveau d'eau sur le piézomètre, durant l'essai de nappe

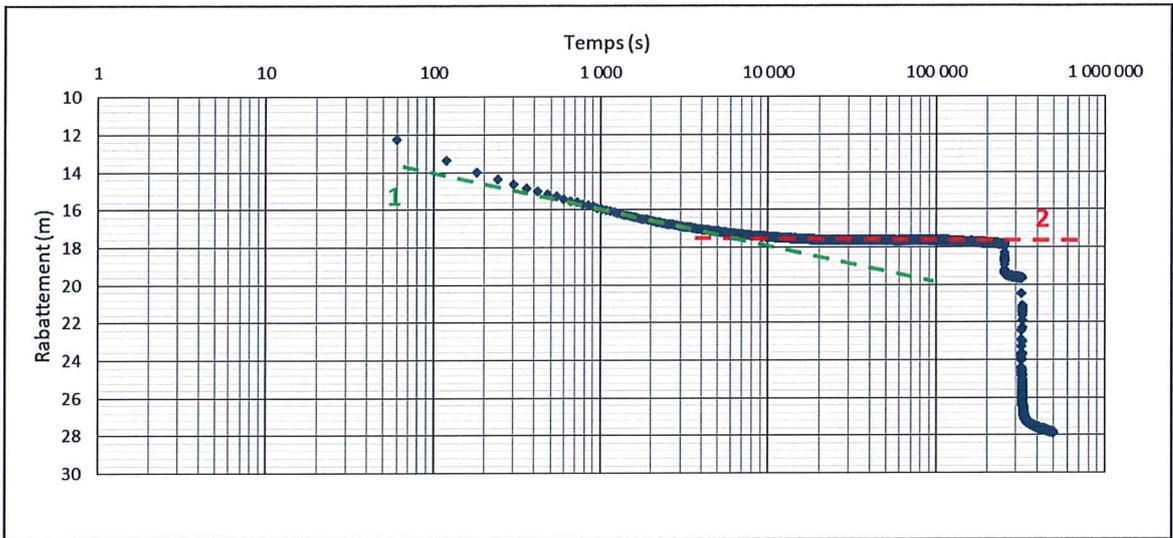
En plus des impacts des pompes sur SAD2 puis sur SAD2+SAD1 clairement identifiables sur cet ouvrage ($\approx 0,12$ m et $0,32$ m) on observe des variations ils sont de l'ordre d'un peu moins d'une dizaine de centimètres (pompage distant ?). Les mesures manuelles coïncident avec la courbe et permettent d'écartier un dysfonctionnement.

▪ Calcul de la transmissivité :

Définition : La transmissivité (T) d'un aquifère représente la capacité d'un aquifère à mobiliser l'eau qu'il contient. Elle se détermine lors de pompages d'essai.

Il s'agit d'un paramètre régissant le débit d'eau qui s'écoule par unité de largeur de la zone saturée d'un aquifère continu (mesurée selon une direction orthogonale à celle de l'écoulement), et par unité de gradient hydraulique (source : G. CASTANY, J. MARGAT. 1987. Dictionnaire français d'hydrogéologie. Éd. BRGM).

Le rabattement du plan d'eau dans SAD2 a été tracé en fonction du logarithme du temps sur le graphique suivant.



Graphique 7 : Graphe $s = f(\log(t))$, lors de la descente sur SAD2

Les points s'alignent selon des portions de droite qui permettent le calcul de deux valeurs de la transmissivité si l'on adopte les hypothèses de traitement relatives au modèle simplifié de Jacob en régime hydrodynamique transitoire et en comparant l'aquifère intercepté à un milieu poreux homogène, isotrope et infini :

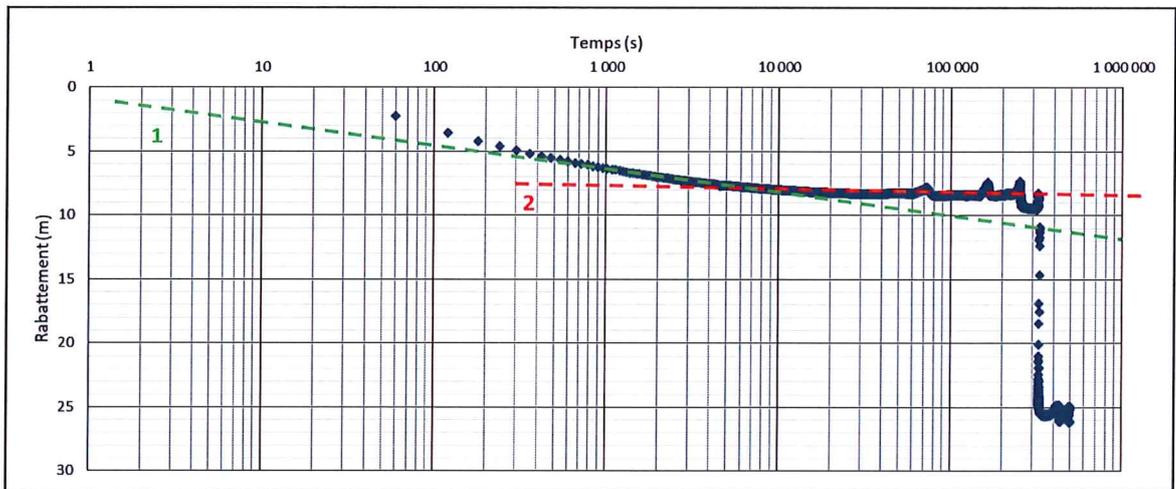
$$T = \frac{0,183 Q}{\Delta s}$$

avec : T = Transmissivité (m^2/s)
 Q = Débit (m^3/s)
 Δs = Rabattement sur un cycle log (m)

La transmissivité obtenue qui peut être retenue aux abords de SAD2 est :

T1 = 3,3.10⁻⁴ m²/s
T2 = 4,7.10⁻³ m²/s

Le rabattement du plan d'eau sur SAD1 a été tracé en fonction du logarithme du temps sur les graphiques ci-après :



Graphique 8 : Graphe $s = f(\log(t))$, lors de la descente sur SAD1

Le calcul de la transmissivité sur la descente observée sur SAD1 donne les valeurs suivantes :

$$T1 = 6,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T2 = 3,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

Sur le piézomètre, la descente apparaît trop bruitée pour permettre un calcul fiable de ce paramètre.

Les transmissivités déterminées pour la phase de descente sur SAD1 et SAD2 sont analogues à celles obtenues lors des essais de 2008 sur SAD1.

▪ Calcul du coefficient d'emmagasinement :

Définition : Le coefficient d'emmagasinement (S) représente la quantité d'eau libérée sous l'effet d'une baisse du niveau d'eau. Il conditionne l'emmagasinement de l'eau souterraine mobile dans les vides du réservoir. Il est utilisé pour caractériser plus précisément le volume d'eau exploitable par un forage et se détermine lors de pompages d'essai.

Il s'agit du rapport du volume d'eau libérée ou emmagasinée par unité de surface d'un aquifère, à la variation de charge hydraulique correspondante, sans référence au temps (ou en un temps délimité). Dans un aquifère captif ce paramètre est lié à la compressibilité et l'expansibilité de l'eau et du milieu aquifère, ainsi qu'à la puissance de la couche aquifère. Dans un aquifère libre, il équivaut en pratique à la porosité efficace et sa signification n'est pas indépendante du temps (source : G. CASTANY, J. MARGAT. 1987. Dictionnaire français d'hydrogéologie. Éd. BRGM).

À partir du report des rabattements de SAD1, il est possible, par extrapolation graphique, d'estimer une valeur du coefficient d'emmagasinement :

$$S = \frac{2,25 T t_0}{r^2}$$

avec : S = Coefficient d'emmagasinement
T = Transmissivité (m²/s)
t₀ = Abscisse à l'origine
r = Distance forage - piézomètre

En utilisant les deux valeurs de transmissivité obtenues on obtient le coefficient d'emmagasinement suivant :

$$S = 2.10^{-5} \text{ à } 2.10^{-4}$$

La valeur du coefficient d'emmagasinement est représentative d'une nappe captive.

▪ Calcul du rayon d'action :

Définition : Il s'agit de la distance radiale, depuis l'axe d'un ouvrage exploité, à laquelle le rabattement déterminé est nul, ou en pratique négligeable (source : G. CASTANY, J. MARGAT. 1987. Dictionnaire français d'hydrogéologie. Éd. BRGM).

Les paramètres hydrodynamiques calculés lors des essais par pompage permettent de calculer le rayon d'action théorique du pompage par l'application de la formule suivante :

$$R = 1,5 \sqrt{\frac{Tt}{S}}$$

avec : R = Rayon d'action (m)
T = Transmissivité (m²/s)
t = durée du pompage (s)
S = Coefficient d'emmagasinement

Au bout de 24 heures de pompage le rayon d'action théorique est de l'ordre de 2 200 m.

Remontée

▪ Principales valeurs mesurées :

Temps	t=137h t' = 0	5 min	10 min	30 min	1 h	2 h	12 h	24 h	48 h	72 h	94 h 15
-------	------------------	-------	--------	--------	-----	-----	------	------	------	------	---------

SAD2

Profondeur du plan d'eau (m)	67,55	46,46	45,16	43,13	42,07	41,29	40,21	40,01	39,92	39,82	39,85
Rabattement (m)*	27,84	6,75	5,45	3,42	2,36	1,58	0,50	0,30	0,21	0,11	0,14

SAD1

Profondeur du plan d'eau (m)	65,03	45,52	44,17	41,77	40,27	39,23	38,59	38,23	38,27	37,61	39,15
Rabattement (m)*	26,18	6,67	5,32	2,74	1,42	0,38	-0,260	-0,62	-0,58	-1,24	0,3

t = durée du pompage

t' = temps de remontée

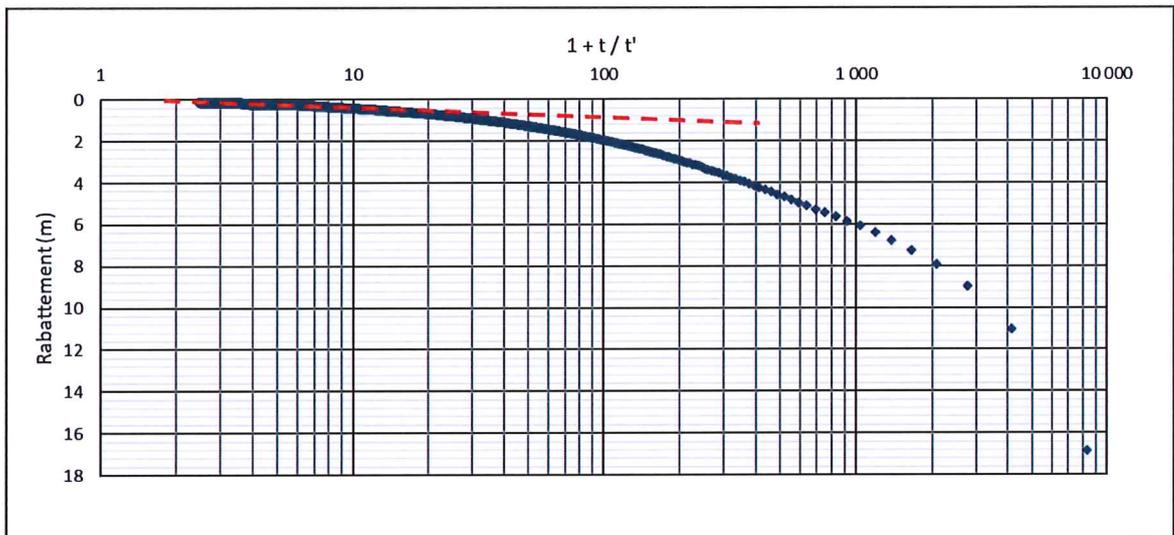
À l'arrêt du pompage, le niveau d'eau remonte rapidement : 21 m sur SAD2 et 19,5 m sur SAD1 en 5 minutes, soit environ 75 % du rabattement sur ces deux ouvrages (cf. Graphique 3 et 4). La remontée du niveau se fait ensuite progressivement.

Après 60 heures d'arrêt, le rabattement résiduel est de 0,11 sur SAD2 puis l'effet d'un pompage distant abaisse le niveau. Sur SAD1, le niveau initial est retrouvé à partir de 8h25 d'arrêt de pompage, puis l'effet d'un pompage distant s'observe de manière plus marquée, induisant un niveau final nettement supérieur au niveau initial.

Nous n'expliquons la différence d'impact du pompage distant supposé sur les deux ouvrages, seulement distants de 7,5 m et interceptant sensiblement les mêmes niveaux ($\approx 0,7$ m sur SAD1 et 0,10 sur SAD 2).

▪ Calcul de la transmissivité :

Cette remontée a été portée sur diagramme semi-logarithmique en fonction d'une expression mettant en relation la durée du pompage et le temps écoulé depuis l'arrêt de celui-ci (avec t : temps de pompage, t' : temps de remontée) :



t : temps de pompage, t' : temps de remontée

Graphique 9 : Graphe $s = f(\log(1+t/t'))$, lors de la remontée, sur SAD2

Les points s'alignent selon une droite dont la pente permet le calcul de la transmissivité par l'application de la méthode simplifiée de Jacob :

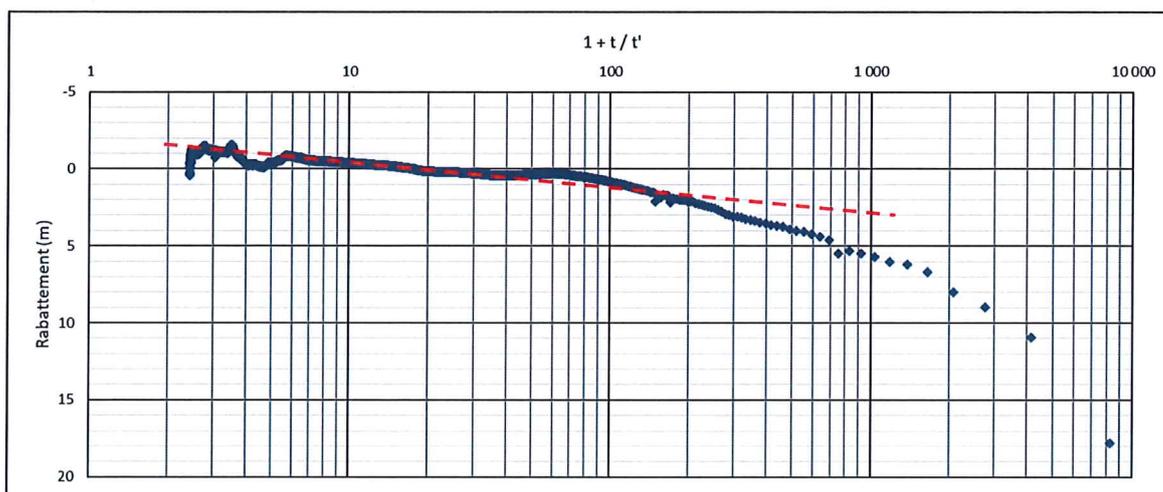
$$R = 1,5 \sqrt{\frac{Tt}{S}}$$

avec : R = Rayon d'action (m)
 T = Transmissivité (m^2/s)
 t = durée du pompage (s)
 S = Coefficient d'emmagasinement

$$T = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

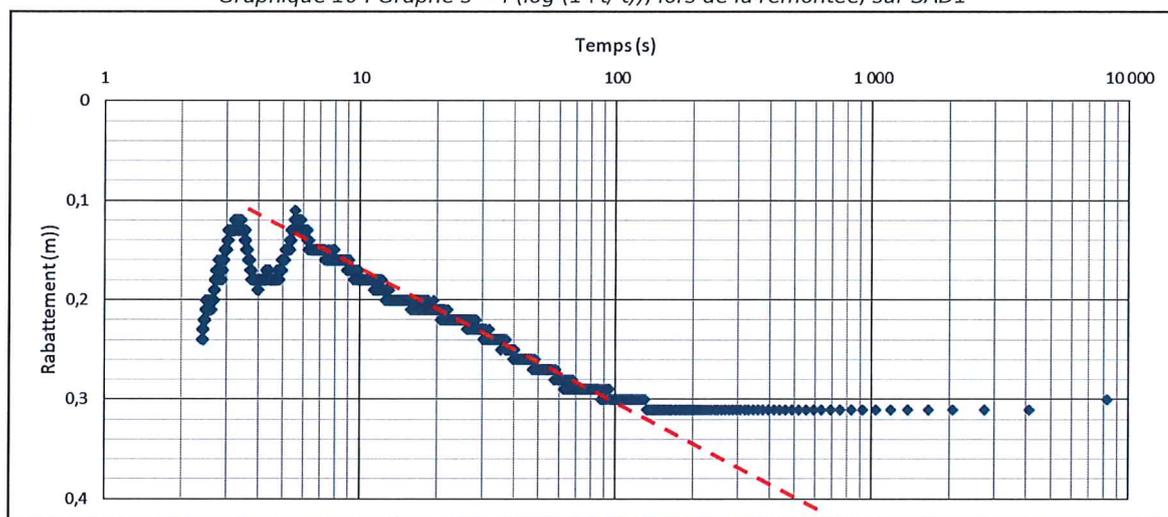
Cette valeur est compatible avec celles calculées lors de la descente.

La remontée sur SAD1 et sur le piézomètre a été portée sur diagramme semi-logarithmique en fonction d'une expression mettant en relation la durée du pompage (t) et le temps écoulé depuis l'arrêt de celui-ci (t') :



t : temps de pompage, t' : temps de remontée

Graphique 10 : Graphe $s = f(\log(1+t'/t))$, lors de la remontée, sur SAD1



t : temps de pompage, t' : temps de remontée

Graphique 11 : Graphe $s = f(\log(1+t'/t))$, lors de la remontée, sur le piézomètre

Le calcul de la transmissivité sur la remontée observée sur ces deux points donne les valeurs suivantes :

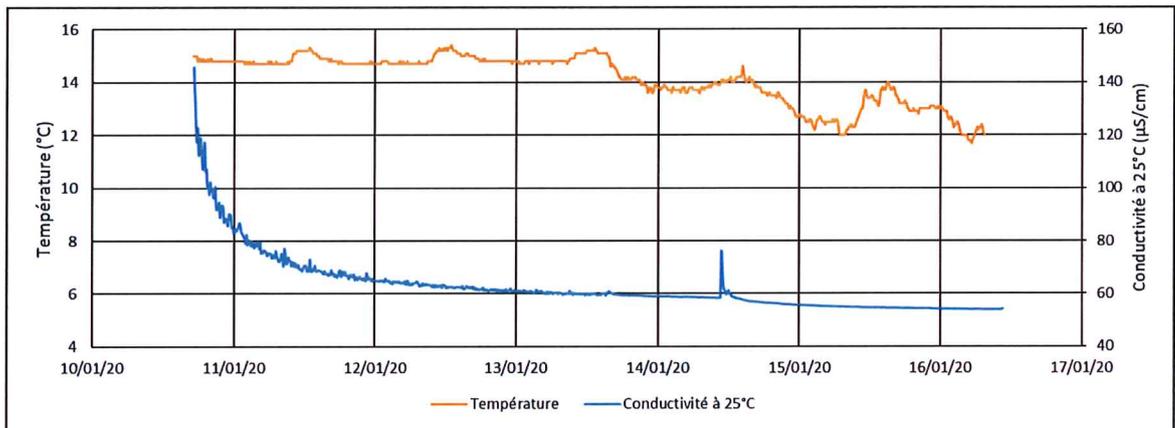
$$T_{\text{SAD1}} = 5,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T_{\text{Pz}} = 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

On peut retenir une valeur de transmissivité moyenne de l'aquifère dans le secteur de l'ordre de 5.10^{-4} à 1.10^{-3} à m^2/s .

4.3.3. Suivi des paramètres physico-chimiques

Lors du pompage, un suivi de la température et de la conductivité à 25 °C a été effectué à un pas de temps de 10 minutes sur SAD2. L'enregistrement est présenté sur le graphique ci-après.



Graphique 12 : Suivi de la température et de la conductivité à 25°C des eaux d'exhaure de SAD2

La conductivité moyenne à 25 °C des eaux d'exhaure du forage décroît au cours du pompage de 140 µS/cm à 55 µS/cm. Cette évolution paraît liée à l'évacuation progressive des boues de forage. Cette valeur de conductivité est caractéristique d'un magasin de nature siliceux essentiellement alimenté par les précipitations.

La température évolue entre 15 et 12 °C, la baisse peut s'expliquer par une diminution de la température de l'air à partir de 14/01/2020.

Des mesures ponctuelles du pH et de la turbidité des eaux d'exhaure de SAD2 ont été relevées régulièrement lors des essais par paliers. Les données sont présentées dans le tableau suivant :

Date et heure	pH	Turbidité (NFU)
10/01/2020 10h35	8,95	29,6
10/01/2020 10h45	8,66	25,0
10/01/2020 11h00	7,90	7,9
10/01/2020 11h05	8,38	5,6
10/01/2020 12h40	8,38	9,02
10/01/2020 12h55	-	5,4
10/01/2020 16h50	9,49	11,3
10/01/2020 17h00	8,9	7,47
10/01/2020 17h20	6,67	6,5

Au démarrage du pompage, les eaux d'exhaure présentent une légère turbidité (30 NFU), puis ce paramètre décroît globalement pour atteindre des valeurs aux alentours de 5 à 6 NFU. Pendant la suite de l'essai ces paramètres n'ont pas été mesurés sauf lors de la première adduction qui a déterminé des valeurs de 6,2 pour le pH et de 0,3 NFU pour la turbidité.

Aucune remontée de sable n'a été observée lors des essais (crible 100 µm) sur les eaux d'exhaure des deux forages.

5. ANALYSE DE PREMIÈRE ADDUCTION

Un prélèvement d'échantillons a été réalisé le 16/01/2020, après environ 137 heures de pompage, par le laboratoire CARSO LSEH de Lyon pour une analyse de type RP1A et PHY20. Les eaux ont été échantillonnées au niveau d'un robinet sur la conduite d'exhaure SAD2. Les rapports analytiques sont placés en Annexe III de ce rapport.

La température de l'eau était de 15,3 °C, pour une conductivité à 25 °C de 57 µS/cm, un pH de 6,2 et une turbidité de 0,32 NFU. L'eau est **agressive** et présente une teneur en oxygène dissous qui paraît un peu élevée compte tenu du confinement de l'aquifère (9,6 mg/l) mais est potentiellement due à la faible minéralisation. Le titre hydrotimétrique permet de la classer comme très douce. Ces paramètres sont conformes au type d'aquifère intercepté : réservoir sableux alimenté par les précipitations sur ses zones d'alimentation.

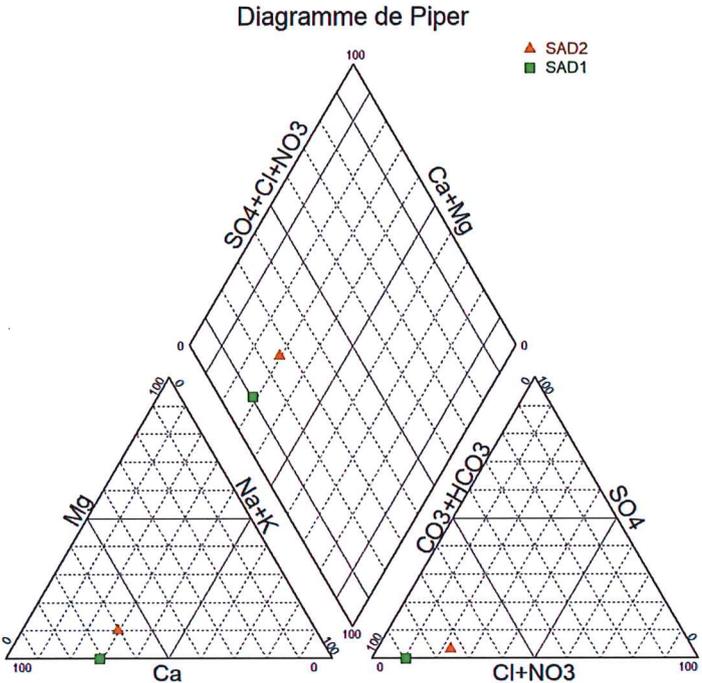
Sur le plan bactériologique, on peut souligner la bonne qualité de l'eau avec l'absence de détection de bactéries pathogènes (coliformes, E. Coli, entérocoques).

En termes d'impact d'activités anthropiques, ces analyses ont révélé une absence d'**hydrocarbures**, un taux de **nitrate**s très faible de 3,1 mg/l (bruit de fond), et des traces d'un métabolite de l'atrazine, l'**atrazine déséthyl 2-hydroxy** (0,008 µg/l pour l'analyse RP1A et 0,006 µg/l pour l'analyse PHY20). Aucun Composé Organique Volatile (**COV**) ni aucun Hydrocarbure Aromatique Polycyclique (**HAP**) n'a été détecté.

Concernant la radioactivité, la DI (Dose Indicative) et les activités alpha et bêta sont inférieures au seuil de quantification du laboratoire.

Les teneurs en cations et anions pour les eaux des forages SAD1 (première adduction de 2008) et SAD (2020) ont été reportés sur le diagramme Piper ci-après. Bien que très faiblement minéralisées les eaux présentent un faciès analogue de type bicarbonaté calcique et magnésien. L'écart entre les points s'explique par l'abaissement des seuils de quantification pour certains paramètres qui n'étaient donc pas détectés en 2008 et qui le sont en faible quantité en 2020.

L'eau captée par SAD2 respecte les limites de qualité des eaux brutes utilisées pour la production d'eau potable destinée à la consommation humaine. On doit toutefois souligner la faible minéralisation qui induit une nature agressive de l'eau.



Graphique 13 : Diagramme de Piper des eaux des deux forages du site de Sadargues

6. PROPOSITIONS D'EXPLOITATION

Il reste une tranche d'eau utilisable d'une trentaine de mètres sur les deux ouvrages après 138 h de pompage au débit cumulé de 34 m³/h, avec une allure satisfaisante et une réalimentation qui paraît correcte après l'arrêt des pompages.

Les essais par pompage réalisés en simultané en janvier 2020 ont confirmé la capacité du site de captage à produire un débit de 30 m³/h. Les deux forages ont un fonctionnement analogue, mais SAD2 présente une meilleure cimentation et une épaisseur de massif filtrant supérieure à SAD1 qui était un forage de reconnaissance.

Dans son avis sanitaire M. Michel PERRISSOL envisageait que SAD2 soit le forage d'exploitation du captage et que SAD1 soit conservé en secours. Les difficultés de réalisation du SAD2 qui ont conduit à limiter son équipement en diamètre 4" impliquent de pourvoir utiliser SAD1 en complément de SAD2 en période de consommation maximale.

Nous proposons donc que SAD2 soit le forage principal du site et serve en période de demande moyenne (200 m³/j selon le SIAEP, réunion du 13/11/2019) et SAD1 soit utilisé en appoint en période de plus forte demande (SAD1 devra toutefois fonctionner régulièrement en période de demande moyenne, quelques heures une fois par semaine par exemple).

Chacun des deux ouvrages peut être équipé d'une pompe immergée 4" placée vers 98 m de profondeur.

Pour le site de Sadargues, nous proposons les modalités d'exploitation suivantes, en complément des autres captages du SIAEP dont la production pourra être modulée :

- période de consommation moyenne : sur SAD2, 18 m³/h jusqu'à 14 h/j, soit 250 m³/j et sur SAD1 un pompage « d'entretien » de quelques heures par semaine à 12 m³/h ;
- période de pointe : sur SAD2, 18 m³/h jusqu'à 14 h/j, soit 250 m³/h et sur SAD1, 12 m³/h pendant 12h/j, soit 144 m³/j et ≈ 400 m³/j pour le site.

Un tube guide-sonde devra impérativement être mis en place sur chacun des deux ouvrages pour pouvoir suivre le niveau piézométrique, soit de manière automatique, soit manuellement de façon régulière (1 fois par mois d'une manière générale et 1 fois par semaine en période d'étiage et de demande maximale). Ce suivi permettra de vérifier l'évolution piézométrique au fil du temps et si un potentiel complémentaire existe sur le site. Ce suivi piézométrique est également justifié par la difficulté qu'ont par nature les aquifères de faible granulométrie à se recharger et par les incertitudes relatives à l'impact potentiel du changement du régime des pluies dans le contexte du changement climatique.

L'agressivité des eaux pourra nécessiter un traitement particulier.

La conservation du piézomètre situé à 370 m à l'Ouest du site ne nous paraît pas utile, nous recommandons sa condamnation définitive selon les normes en vigueur.

7. CONCLUSION

Malgré les difficultés techniques rencontrées lors de la réalisation du forage d'exploitation SAD2, la capacité de production du site de Sadargues, basée sur l'utilisation des deux forages en simultané en période de demande maximale, peut atteindre 400 m³/jour.

En période de consommation moyenne, seul SAD2 sera exploité ; un pompage « d'entretien » sera réalisé sur SAD1.

Nous recommandons la mise en place d'un suivi piézométrique qui permettra de vérifier l'évolution du niveau sur le long terme et si un potentiel supplémentaire existe.

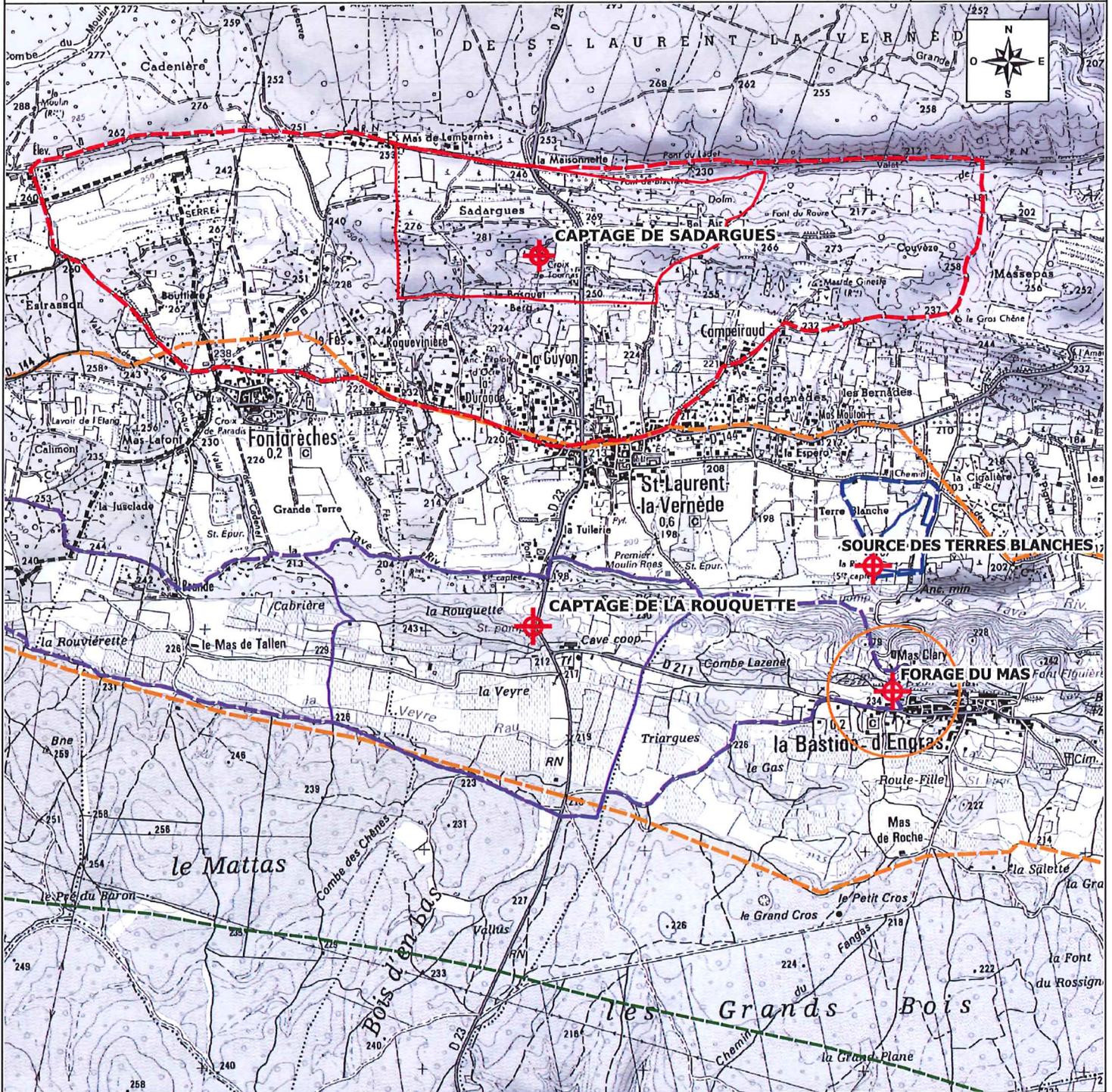
Nous proposons de condamner dans les règles de l'art le premier forage de reconnaissance du secteur (piézomètre BSS002CLKX) dont la conservation ne nous paraît pas nécessaire.

Montpellier, le 23 mars 2020

Jessica BOUBY

Guillaume LATGÉ

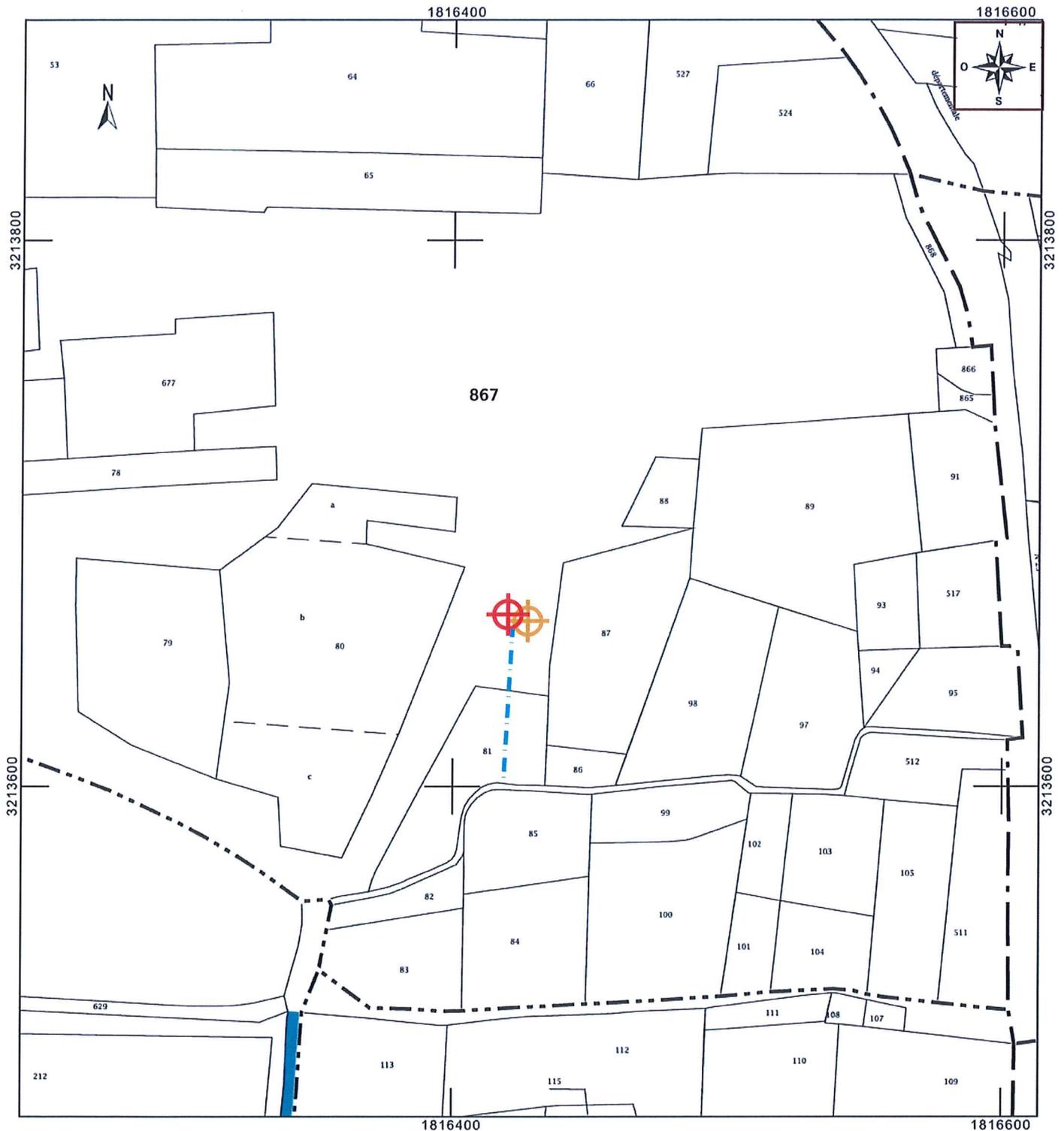
FIGURES



EXTRAIT DES FONDs TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000

-  Captages publics
-  Périumètre de protection rapprochée
-  Captage de Sadargues
-  Captage de la Rouquette
-  Forage du Mas
-  Captage de l'Estrasson
-  Source des terres Blanches
-  Périumètre de protection éloignée
-  Captage de Sadargues
-  Captage de la Rouquette
-  Forage du Mas
-  Captage de l'Estrasson
-  Source des terres Blanches
-  Captage de la Fontaine d'Eure





EXTRAIT DU PLAN CADASTRAL DE ST LAURENT LA VERNÈDE - SECTION C AU 1/2 000
 Source : Direction Générale des Finances Publiques - Cadastre ; mise à jour 08/08/2018

Captage de Sadargues (projet AEP SIAEP St-Laurent La Vernède) :



Forage SAD1



Forage SAD2



Conduite de refoulement des eaux pompées



Localisation (Lambert 93)
X : 816413 m
Y : 6336047 m
Z : 250 m (IGN)

Objet : EAU_POTABLE
Entreprise : BRANTE FORAGES
Travaux du 25/10/2019 au 16/12/2019

Niveau statique : 39,7 m/TN (10/01/2020)
Débit Instantané : > 15 m3/h
Venue(s) d'eau : DE 78 M AU FOND

DE 0 À 12 M FORATION AU ROTARY Ø 311 MM, ALÉSÉ Ø 444 MM, MISE EN PLACE D'UN TUBE ACIER EN 323 MM X 6 MM ANCRÉ DANS LES ARGILES
DE 12 À 30 M FORATION AU ROTARY Ø 311 MM + MASSE TIGE Ø 273 MM ET TRILAME Ø 311 MM + MASSE TIGE Ø 220 MM + RACLEUR
DE 30 À 90 M MISE EN PLACE D'UN TUBE ACIER Ø 273 MM ET CIMENTATION PAR CANNE
DE 90 À 151 M FORATION AU ROTARY TRILAME ET TRICONE Ø 203 MM
DE 0 À 100 M TUBE PVC Ø 112 X 125 MM AVEC CÔNE RÉDUCTEUR ET DE 100 À 142 M TUBE PVC Ø 80 X 90 MM CRÉPINÉ DE 102,80 À 139,20 M

