



Syndicat Mixte pour la protection et la gestion
des nappes souterraines de la Plaine du Roussillon

-

**Étude hydrogéologique
d'essai de recharge artificielle de nappe à Bouleternère
par lâchure d'eau du canal de Corbère dans le Boulès**

—

PARTIE 1 / RAPPORT

VERSION DEFINITIVE

OCTOBRE 2019



Hydro.Géo.Consult

ingénierie depuis 1979

Hydro.Géo.Consult

ingénierie depuis 1979

siège social 25, rue G. Fabre 11100 Narbonne France - tél. 04.68.65.00.81 - hydro.geo.consult@wanadoo.fr
agence plaça del Rei, 6 08700 Igualada (Barcelona) - tél. (34) 93 805 23 60 - hydrogeoconsult@wanadoo.es

Sommaire

PARTIE 1 / RAPPORT

1	OBJET	1
2	PRÉSENTATION GÉNÉRALE	1
2.1	Le contexte hydro-géologique	1
2.2	Déroulement de l'essai	2
2.2.1	Démarche suivie	2
2.2.2	Points de suivi	3
2.2.3	Contexte hydro-climatique de l'essai	3
2.2.4	Difficultés rencontrées.....	4
3	RÉSULTATS	5
3.1	Situation avant lâchure	5
3.1.1	Le Boulès	5
3.1.2	Piézométrie de la nappe alluviale	6
3.1.3	Débit des sources	7
3.1.4	Conductivité	8
3.1.5	Température.....	9
3.1.6	Les captages AEP.....	10
3.1.7	L'état initial -avant essai de recharge- en résumé	10
3.2	La réponse de l'aquifère quaternaire à la lâchure	11
3.2.1	Piézométrie	11
3.2.1.1	Campagnes de relevés ponctuels sur l'ensemble de l'aquifère	11
3.2.1.2	Enregistrement en continu de quelques ouvrages	16
3.2.2	Débit des sources	17
3.2.3	Conductivité et température	18
3.2.3.1	Enregistrement en continu de quelques ouvrages	18
3.2.3.2	Relevés ponctuels sur l'ensemble de l'aquifère	20
3.2.4	Le régime du Boulès	22
3.2.4.1	Nature du suivi.....	22
3.2.4.2	Le débit en amont.....	23
3.2.4.3	Évolution du régime d'écoulement en aval de la lâchure	23
3.2.4.4	Le débit en aval (Millas)	24
3.3	La réponse de l'aquifère pliocène à la lâchure	24
3.3.1	Piézométrie	24
3.3.1.1	Le piézomètre du Rosaret à Ille-sur-Têt.....	25
3.3.1.2	Le piézomètre F7-2 Cerga à Nésiach	25
3.3.1.3	Le piézomètre C2-2 à Millas.....	26
3.3.2	Conductivité et température	26
3.4	Suivi qualitatif des captages AEP et du canal de Corbère.....	27

4 ANALYSE ET DISCUSSION	29
4.1 Synthèse	29
4.2 Limites de la nappe	31
4.3 Relation Boulès nappe alluviale	32
4.3.1 Témoignages et historique.....	32
4.3.2 Réponse du cours d'eau à l'essai	32
4.3.3 Le Boulès à Millas	32
5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	33

FIGURES IN-TEXTE

- 1 : Pluviométrie journalière à Vinça (données Météo France)
- 2 : Piézométrie de la terrasse quaternaire d'Ille-sur-Têt ; campagne 1 – 21/01/19
- 3 : Variations piézométriques dans la terrasse quaternaire d'Ille-sur-Têt entre les campagnes 1 (21/01/19) et 2 (31/01/19)
- 4 : Conductivité de l'aquifère de la terrasse d'Ille-sur-Têt ; campagne 1 – 21/01/19
- 5 : Température de l'aquifère de la terrasse d'Ille-sur-Têt ; campagne 1 – 21/01/19
- 6 : Variations piézométriques durant la première semaine de lâchure entre les campagnes 2 (31/01/19) et 3 (06/02/19)
- 7 : Variations piézométriques durant la 2^{ème} semaine de lâchure entre les campagnes 3 (06/02/19) et 4 (14/02/19)
- 8 : Variations piézométriques durant la 3^{ème} semaine de lâchure entre les campagnes 4 (14/02/19) et 5 (21/02/19)
- 9 : Variations piézométriques durant la 4^{ème} semaine de lâchure entre les campagnes 5 (21/02/19) et 6 (28/02/19)
- 10 : Variations piézométriques durant la 5^{ème} semaine de lâchure entre les campagnes 6 (28/02/19) et 7 (07/03/19)
- 11 : Variations piézométriques durant la 6^{ème} -et ultime- semaine de lâchure entre les campagnes 7 (07/03/19) et 8 (15/03/19)
- 12 : Variations piézométriques durant les 3 jours suivant l'arrêt de la lâchure entre les campagnes 8 (15/03/19) et 9 (18/03/19)
- 13 : Variations piézométriques du 3^{ème} au 14^{ème} jour consécutif à l'arrêt de la lâchure entre les campagnes 9 (18/03/19) et 10 (29/03/19)
- 14 : Variations piézométriques durant les 3^{ème} et 4^{ème} semaines consécutives à l'arrêt de la lâchure entre les campagnes 10 (29/03/19) et 11 (15/04/19)
- 15 : Débit des sources
- 16 : Enregistrement en continu niveau piézométrique / conductivité / température au puits de l'Asa de Ste-Anne
- 17 : Enregistrement en continu niveau piézométrique / conductivité / température au puits de l'ancienne AEP de Bouleternère
- 18 : Enregistrement en continu niveau piézométrique / température au puits Cami Vell de Bula
- 19 : Enregistrement en continu niveau piézométrique / conductivité / température au piézomètre C2-1 à Millas
- 20 : Évolution de la conductivité sur l'ensemble des ouvrages suivis
- 21 : Groupe des ouvrages à la conductivité stable sur l'ensemble du suivi
- 22 : Groupe des ouvrages montrant de faibles variations de conductivité
- 23 : Groupe des ouvrages montrant de notables variations de conductivité
- 24 : Le débit du Boulès en amont de la lâchure
- 25 : Le débit du Boulès à Millas
- 26 : Suivi piézométrique du forage du Rosaret à Ille-sur-Têt
- 27 : Suivi piézométrique du forage du piézomètre F7-2
- 28 : Suivi piézométrique du forage du piézomètre C2-2

TABLEAUX IN-TEXTE

- 1 : Analyses physico-chimiques sommaires des captages AEP ; état initial avant lâchure
- 2 : Analyses physico-chimiques sommaires des captages AEP et du canal durant l'essai de recharge

PARTIE 2 / FIGURES HORS TEXTE ET ANNEXES 1 À 8

FIGURES HORS TEXTE

1. Carte géologique simplifiée de la zone d'étude ; 1/50.000
2. Situation géographique des points d'observations et de mesures ; 1/40.000
3. Évolution piézométrique de 5 ouvrages de la terrasse quaternaire suivis en continu (données SMNPR)
4. Observations sur les écoulements du Boulès du 31 janvier au 15 avril 2019 ; 1/50.000
5. Profils piézométriques de la nappe quaternaire depuis le point de lâchure jusque Millas

ANNEXES

1. Chronogramme des activités de terrain.
2. Piézométrie de la terrasse quaternaire d'Ille-sur-Têt
 - 2.1 campagne 1 (21/01/19)
 - 2.2 campagne 2 (31/01/19)
 - 2.3 campagnes 1 (21/01/19) et 2 (31/01/19)
 - 2.4 campagnes 1 (21/01/19) à 11 (16/04/19)
3. Variations piézométriques dans la terrasse quaternaire d'Ille-sur-Têt
 - 3.1 entre les campagnes 1 (21/01/19) et 2 (31/01/19)
 - 3.2 entre les campagnes 2 (31/01/19) et 3 (06/02/19)
 - 3.3 entre les campagnes 3 (06/02/19) et 4 (14/02/19)
 - 3.4 entre les campagnes 4 (14/02/19) et 5 (21/02/19)
 - 3.5 entre les campagnes 5 (21/02/19) et 6 (28/02/19)
 - 3.6 entre les campagnes 6 (28/02/19) et 7 (07/03/19)
 - 3.7 entre les campagnes 7 (07/03/19) et 8 (15/03/19)
 - 3.8 entre les campagnes 8 (15/03/19) et 9 (18/03/19)
 - 3.9 entre les campagnes 9 (18/03/19) et 10 (29/03/19)
 - 3.10 entre les campagnes 10 (29/03/19) et 11 (15/04/19)
4. Conductivités dans la terrasse quaternaire d'Ille-sur-Têt
 - 4.1 de la campagne 1 (21/01/19)
 - 4.2 de la campagne 2 (31/01/19)
5. Températures dans la terrasse quaternaire d'Ille-sur-Têt/
 - 5.1 de la campagne 1 (21/01/19)
 - 5.2 de la campagne 2 (31/01/19)
6. Tableau de données des relevés de terrain
7. Fiches d'identité des puits, forages et piézomètres du suivi
8. Jaugeages

PARTIE 3 / ANNEXE 9

9. Bulletins d'analyse chimiques

1 OBJET

Les ressources en eau de la plaine du Roussillon, en dépit d'une certaine abondance en comparaison avec d'autres secteurs de la région, sont soumises à une forte pression tant sur le plan qualitatif que quantitatif.

En effet, la relative facilité technique d'accès à l'eau a engendré au cours des décennies passées une multiplication des captages pour répondre à la demande des collectivités (AEP), aux besoins de l'agriculture, de l'industrie et de -nombreux- particuliers.

Afin d'assurer la pérennité de la ressource et sa grande valeur qualitative, tout en maintenant l'exploitation, a été créé le Syndicat Mixte pour la protection et la gestion des nappes souterraines de la plaine du Roussillon. Un des objets de cette structure est de *"réaliser des études améliorant la connaissance du fonctionnement des nappes"*.

Dans ce cadre, une expérimentation est lancée en 2016/17 dans la basse vallée du Boulès : examiner l'impact qualitatif et quantitatif, sur la ressource en eau souterraine, de lâchers d'eau dans la rivière, en hiver. En effet, à cette période de l'année, le secteur est confronté, après l'arrêt de l'irrigation via agouilles et canaux, à une baisse piézométrique pénalisante pour les usages AEP et agricoles.

Les résultats positifs de l'essai ont incité le Syndicat Mixte à le compléter par un test du même type, plus en amont dans le cours d'eau cette fois. L'opération est conduite de janvier à avril 2019 ; les principaux résultats constituent l'objet du présent rapport.

2 PRÉSENTATION GÉNÉRALE

2.1 LE CONTEXTE HYDRO-GÉOLOGIQUE

En raison de son importance, tant pour la consommation humaine que pour l'irrigation, la ressource en eau du secteur d'étude est aujourd'hui bien connue ; de nombreux puits et forages y ont été exécutés et d'importantes études hydrogéologiques conduites.

La zone Bouleternère/Millas, et plus largement, l'ensemble de la plaine du Roussillon, est située sur un vaste bassin d'effondrement mis en place consécutivement à la formation des Pyrénées, puis comblé par les produits de démantèlement des reliefs l'encadrant.

Le sous-sol est donc constitué de produits sédimentaires variés : graves, sables grossiers, sables fins, limons, argiles, selon une distribution étroitement liée à la paléogéographie, très fluctuante au gré des transgressions et régressions marines des 6 derniers millions d'années.

Dans la zone intéressée par la présente étude, sont reconnues, au dessus du socle paléozoïque effondré, plusieurs centaines de mètres de terrains mio-pliocènes. Ces formations sont recouvertes par quelques mètres -jusque 1 à 2 dizaines- d'épandages alluviaux disposés en terrasses étagées.

Sur le plan hydrogéologique, dans le millefeuille irrégulier constitué par cet empilement de terrains dont la granulométrie oscille entre un pôle grossier -perméable-, et un pôle fin -peu ou pas perméable-, sont distinguées 2 masses d'eau principales :

- l'aquifère des sables et argiles pliocènes, captif à plusieurs dizaines de mètres de profondeur ;
- et la nappe des alluvions quaternaires ; libre et proche de la surface, généralement moins de 10 m.

Les 2 entités -quaternaire et pliocène- possèdent leur propre dynamique mais elles ne sont pas totalement indépendantes l'une de l'autre ; des phénomènes de drainance ont notamment été mis en évidence.

Le terrain d'étude s'étend sur la terrasse quaternaire "*d'Ille-sur-Têt*", depuis Bouleternère au SW à Millas au NE ; elle domine de 3 à 4 m le cours de la Têt et la bande d'alluvions actuelles qui l'accompagnent. Sa limite SE est constituée par le ressaut de 10 à 15 m de la terrasse ancienne dite *de Toulouges*. Voir carte simplifiée en **fig. hors-texte 1**. On notera la diminution de la largeur de la terrasse au Mas Saunier, entre Bouleternère et Ille-sur-Têt, due à la présence du socle paléozoïque formant verrou (en grande partie recouvert d'alluvions anciennes).

Outre les précipitations du strict impluvium de la terrasse, cette nappe quaternaire est alimentée :

- principalement par le Boulès qui prend sa source 21 km au Sud dans les formations primaires et se déverse dans les alluvions de la terrasse d'Ille-sur-Têt moins d'1 km au Sud du centre de Bouleternère ;
- secondairement, par le Gimennell qui rejoint la rive droite du Boulès à Ille-sur-Têt après un parcours de près de 9 km dont les 7 premiers dans les formations primaires et les derniers dans les alluvions de la terrasse d'Ille-sur-Têt ;
- mais aussi par les apports de canaux d'irrigation prélevant l'eau de la Têt ; en période d'étiage, cette contribution est déterminante pour le soutien de la nappe.

Les exutoires de cet aquifère sont :

- les sources qui jalonnent la limite NW de la terrasse et participent à la vidange de la terrasse vers les alluvions actuelles de la Têt quelques mètres en contrebas. Les principales sont captées : St Jules, Grésala, Font de la Vila, En Ribalte à Ille-sur-Têt et la fontaine de Millas ; d'autres points d'eau, non aménagés ou anciennement captés mais aujourd'hui à l'abandon, sont présents tout le long de la terrasse.
- le Boulès ; à sec sur une grande partie de son cours entre Bouleternère et Millas. Il ne devient pérenne qu'au niveau de Millas, quelques centaines de mètres avant la confluence avec la Têt.

2.2 DÉROULEMENT DE L'ESSAI

2.2.1 DÉMARCHE SUIVIE

L'opération consiste essentiellement à :

- déverser en continu un débit constant de l'ordre de 500 l/s à l'amont de la terrasse alluviale en un point circonscrit (le Boulès, sous le pont de la D16 à Bouleternère). Les apports sont assurés par le canal de Corbère, lui-même alimenté par une prise sur la Têt.
- suivre la réponse de l'aquifère alluvial depuis la zone de lâchure jusqu'à la confluence Boulès/Têt à Millas 11 km en aval ; le suivi porte sur les aspects :
 - hydrodynamiques (niveau de la nappe et débit des sources) ;
 - géochimiques (conductivité et température d'une soixantaine de points d'eau, dosage de la turbidité, des teneurs en nitrates et pesticides sur 7 points).

L'essai est étalé sur 12 semaines et comprend 3 phases :

- 2 semaines du 21 janvier au 1^{er} février 2019 : état initial avec 2 campagnes de mesures ;
- 6 semaines de lâchure du 1^{er} février au 15 mars : 6 campagnes hebdomadaires ;
- 4 semaines : du 15 mars au 15 avril : 3 campagnes (3 jours après l'arrêt du lâchure, puis 2 semaines et 1 mois plus tard).

Le déroulement du suivi et des opérations menées est reporté en **annexe 1**.

2.2.2 POINTS DE SUIVI

Au total 61 points ont fait l'objet de suivi systématique à chaque campagne avec mesures des paramètres hydrodynamiques (niveaux/débit) et physicochimiques (température, conductivité) :

- 36 puits captant les formations quaternaires ;
- 4 forages/piézomètres ; 2 s'adressant à l'aquifère quaternaire, 2 à la nappe pliocène ;
- 5 sources ;
- le Boulès :
 - jaugeages en 2 points : amont de la lâchure, et juste avant la confluence avec la Têt ;
 - des observations et mesures en 12 stations réparties le long du cours d'eau (passage à gué, pont) ;
- le canal de Corbère qui fournit l'eau de la recharge et dont le débit de lâchure est déterminé par la différence des débits avant/après rejet dans le Boulès.

A ce suivi systématique s'ajoutent :

- les prélèvements ponctuels sur le canal de Corbère et sur 6 puits actuellement exploités pour l'alimentation en eau potable : analyses en laboratoire des paramètres turbidité + nitrates (5 campagnes) et pesticides (3 campagnes).
- les données mises à disposition par le Syndicat Mixte qui a procédé à la surveillance resserrée (à un pas de temps horaire) de 5 puits ou piézomètres (4 sur l'aquifère quaternaire, 1 sur le Pliocène).

Voir en **fig. hors texte 2** la situation des points d'observations et de mesures.

2.2.3 CONTEXTE HYDRO-CLIMATIQUE DE L'ESSAI

L'année 2018 a été atypique : nettement plus humide que les années antérieures si bien qu'en décembre, début initialement fixé pour le début de l'opération, le niveau des nappes était élevé pour cette époque de l'année. Le bulletin du Syndicat Mixte parle, pour le secteur "vallée de la Têt" d'une situation "largement supérieure aux normales de saison" au 1^{er} janvier 2019.

Le report d'un an de l'essai a même été évoqué afin de bénéficier d'un étiage hivernal plus marqué et de mieux discerner l'impact de l'essai sur la nappe. Toutefois, la relative sécheresse des mois de novembre et décembre 2018 montrait une tendance à un "retour à la normale" ; l'opération est donc décidée en janvier 2019.

Le test s'est déroulé dans de bonnes conditions ; il a notamment bénéficié d'une quasi-absence de précipitations significatives, ce qui a grandement facilité la lecture de l'impact des apports artificiels sur la nappe alluviale. Ci-dessous, les précipitations journalières à Vinça :

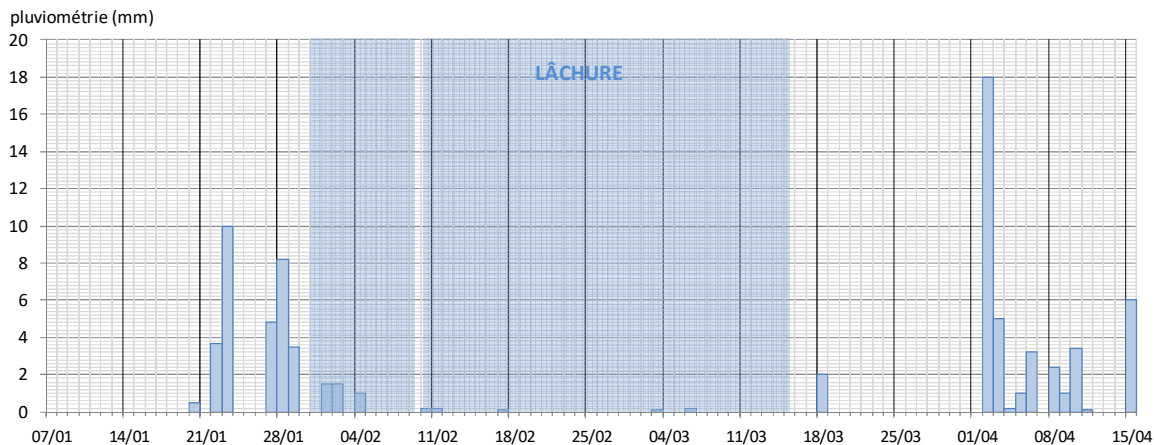


Fig. 1 : Pluviométrie journalière à Vinça (données Météo France)

2.2.4 DIFFICULTÉS RENCONTRÉES

Dans l'ensemble, l'essai s'est déroulé dans de bonnes conditions ; les quelques difficultés rencontrées n'ont jamais eu un caractère rédhibitoire ; pour l'essentiel :

- L'accès aux ouvrages : facile et sans contraintes dans la grande majorité des cas. Néanmoins, sur un nombre réduits de stations, une coordination avec les propriétaires était requise ; en dépit des précautions prises, quelques rendez-vous n'ont pas été honorés (3/440 visites d'ouvrages).
- Les pompages : à quelques reprises et sur de rares ouvrages (en particulier un puits de la nappe quaternaire -Mas Sarda à Nériach, réf. Syndicat Mixte : 5069- et un piézomètre du Pliocène -Rosaret à Ille-sur-Têt, réf. Syndicat Mixte : 4753-), les mesures piézométriques sont affectées par des pompages en cours au moment des contrôles ; malgré des passages répétés lors des campagnes de relevés, il n'a pas été toujours été possible d'obtenir des niveaux *statiques*.
Par ailleurs, lors de la dernière campagne, notamment dans le secteur aval (Nériach-Millas) plusieurs puits agricoles étaient en service en raison du démarrage des arrosages.
- Le niveau piézométrique, inférieur au fond du puits : 4 ouvrages à sec lors de la dernière campagne.
- La présence de canaux d'irrigation en charge : même en saison hivernale, les réseaux d'irrigation sont utilisés, plus modestement qu'en pleine saison, mais ils sont néanmoins bien en fonctionnement. Sur certains puits, l'incidence est évidente (puits Les Basses2 à St-Michel-de-Llotes, réf. Syndicat Mixte 5224, ou puits Grabas à Bouleternère, réf Syndicat Mixte 5226).

Le débit de la station aval du Boulès à Millas est directement impacté par les rejets de ces écoulements, très variables en débit et dans le temps, si bien que les jaugeages effectués sur cette station n'ont qu'une valeur indicative. Il est même arrivé d'assister en cours d'opération à la décharge d'une vanne 100 m en amont du point de contrôle avec un impact immédiat sur les mesures.

- la précision des jaugeages : les stations retenues pour mesurer les débits sont de bonne qualité et l'incertitude est de l'ordre de 5 à 10 %. 1 exception : la station amont du canal de Corbère, avant le point de lâchure ; les écoulements y sont très turbulents même sur la "moins mauvaise" section, ce qui affecte la qualité des mesures ; l'incertitude est estimée à 20 %.
- les variations de débit de lâchure : si dans l'ensemble l'objectif des 500 l/s est atteint, dans le détail il est affecté par :
 - une interruption totale de 25 h (du 11 février 17h30 au 12 février 18h30) imposée par les services du Département pour permettre l'inspection technique de la partie souterraine du canal sous la voirie ;
 - des variations accidentelles : bouchon obstruant partiellement la vanne de lâchure ;
 - ou des variations provoquées : augmentation du débit de prélèvement sur la Têt pour répondre à une demande croissante en irrigation en cours d'essai.

3 RÉSULTATS

3.1 SITUATION AVANT LÂCHURE

3.1.1 LE BOULÈS

Il n'existe pas de station hydrométrique permanente sur le Boulès. Au cours du programme, le débit du cours d'eau est contrôlé par des jaugeages au vélocimètre en 2 stations :

- **en amont :**

Le point de jaugeage est choisi à la Chapelle S^t-Nazaire (**fig. hors texte 2**), 800 m avant le débouché de la rivière dans la plaine des Hortes au sud de Bouleternère, où les eaux s'infiltreraient progressivement dans les alluvions.

La section de jaugeage est de bonne qualité ; en toute rigueur, le bassin versant de la station est très légèrement inférieur à celui du débouché du Boulès mais :

- la différence de taille de bassin versant est minime (+ 2% ; 65,60 contre 64,22 km²),
- les apports par ruissellement sur la surface supplémentaire sont nuls, ou quasiment, pendant la période de suivi (pas de pluie importante),

si bien que le débit mesuré reflète fidèlement celui infiltré dans les alluvions à Bouleternère.

Le 21 janvier, le Boulès présente un débit de **205 l/s** avant son débouché dans la plaine puis s'infiltrera progressivement jusqu'à disparaître totalement au niveau du pont de la D 16 (exactement face au point de la future lâchure).

Le 31 janvier -veille du démarrage de l'essai- : **230 l/s**, augmentation sans doute liée au modeste épisode pluvieux des jours antérieurs (16,5 mm du 27 au 29 janvier). La perte totale du Boulès est, par contre, reculée d'une vingtaine de mètres vers l'amont.

- **en aval :**

La station de jaugeage est située à Millas ; dans l'objectif de faciliter d'éventuelles comparaisons, le point retenu est le même que celui retenu pour l'étude menée l'hiver 2016/2017 pour le Syndicat Mixte (Engéo 2017).

Débit de **220 l/s** le 21/01/19 ramené à **195 l/s** le 31/01/19.

3.1.2 PIÉZOMÉTRIE DE LA NAPPE ALLUVIALE

2 campagnes piézométriques sont conduites les 21/22 janvier et 31 janvier/1^{er} février 2019 soit respectivement 11/10 et 1/0 jours avant le début de l'essai.

CAMPAGNE 1 : 21 ET 22 JANVIER 2019

Voir insertion ci-dessous et en **annexe 2-1** la représentation graphique de la piézométrie.

NB / le puits Balltorte à St-Michel-de-Llotes (réf. Syndicat Mixte n° 5222) inclus dans le programme de suivi mais situé dans un autre contexte géologique, déconnecté de la plaine alluviale, est retiré de la cartographie. Sa présence déforme les isopièzes sans aucune réalité hydrogéologique.

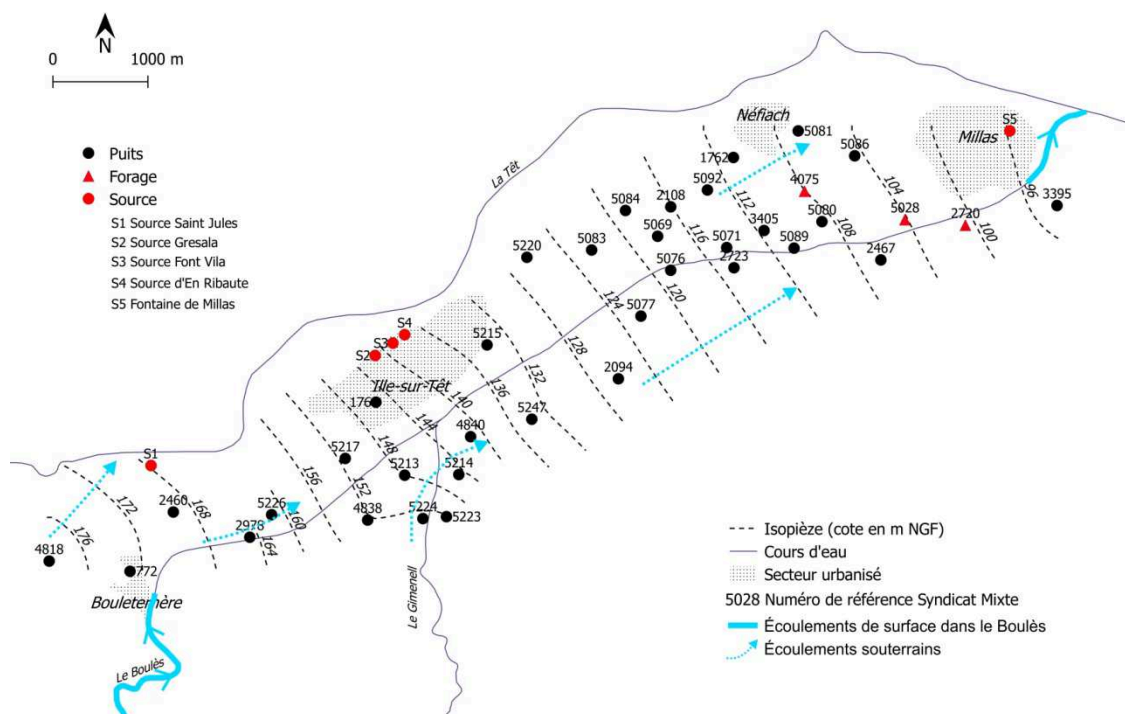


Fig. 2 : Piézométrie de la terrasse quaternaire d'Ille-sur-Têt ; campagne 1 – 21/01/19

Principales conclusions :

- Écoulement souterrain pratiquement uniforme sur toute la zone d'étude ; les isopièzes sont très régulières, quasiment linéaires avec un gradient de l'ordre de 1 % de Bouleternère à Ile-sur-Têt, diminuant ensuite très légèrement (0,6 %) jusque Millas.
- La piézométrie n'est pas affectée par le Boulès, confirmant le caractère déconnecté du cours d'eau et de la nappe alluviale.
- A noter 3 points faisant exception à cette relative monotonie : en rive droite du Boulès, à la limite de St-Michel-de-Llotes : les puits les Basses1 (réf. Syndicat Mixte n° 4838), A l'Hort d'En Gill (réf. Syndicat Mixte n° 5223) et Les Basses 2 (réf. Syndicat Mixte n° 5224). Ces 3 ouvrages sont visiblement influencés par les apports du Gimenell qui nourrissent les alluvions de la terrasse d'Ille-sur-Têt et en déforment localement les isopièzes. Le cours d'eau est resté sec tout au long de la période de suivi ; sa contribution est uniquement souterraine, quelques mètres sous la surface, dans les alluvions grossières.

3.1.4 CONDUCTIVITÉ

CAMPAGNE 1 : 21 ET 22 JANVIER 2019

Voir insertion ci-dessous et **annexe 4-1**

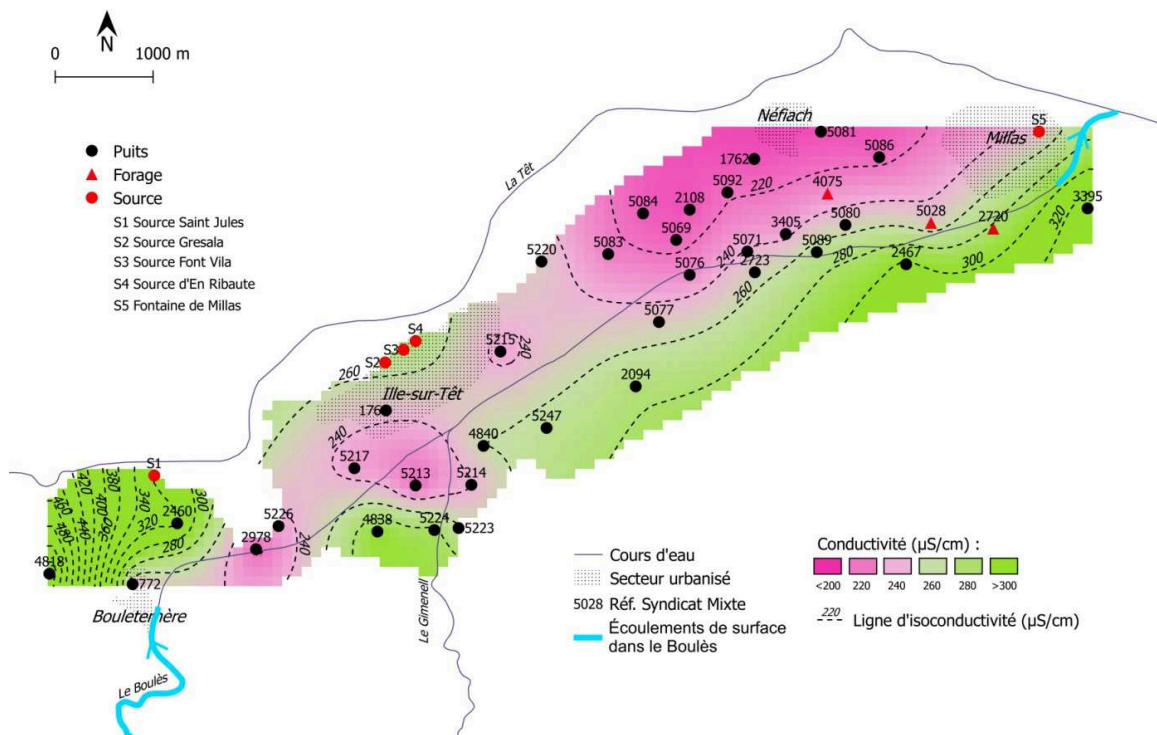


Fig. 4 : Conductivité de l'aquifère de la terrasse d'Ile-sur-Têt ;
campagne 1 – 21/01/19

3 observations :

- Les conductivités sont comprises essentiellement entre 200 et 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- En partie amont (Bouleternère/Ile-sur-Têt) ressortent 2 pôles conducteurs :
 - à partir de la chapelle S^{te}-Anne (réf. Syndicat Mixte 4818) : 575 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valeur très éloignée de celle des autres ouvrages, liée à un contexte géologique particulier (point triple paléozoïque/pliocène/terrasse alluviale). La source S^t-Jules (S1) et le puits Camy de L'Hermitte à Bouleternère (réf. Syndicat Mixte 2460) présentent également des valeurs élevées, respectivement 315 et 327 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces observations confèrent à cette partie amont de la nappe une identité un peu différente du reste de l'aquifère alluvial, liée au caractère partiellement confiné de la zone en amont du verrou du Mas Saunier, entre Bouleternère et Ile-sur-Têt
 - au débouché du Gimenell où les 3 puits suivis montrent des conductivités étalées entre 260 et 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, laissant suggérer une plus forte minéralisation de l'inféoflux de la rivière.
- en partie aval (Ile-sur-Têt/Millas) se dessine une gradation plus ou moins parallèle aux contours de la terrasse, entre une bordure minéralisée au SE et une limite plus douce au NW, le long de la Têt : contribution minéralisée de la terrasse supérieure ? ou adoucissement par les canaux qui irriguent la plaine depuis des prises sur la Têt ?

CAMPAGNE 2 : 31 JANVIER & 1ER FÉVRIER 2019

Voir annexe 4-2

La distribution générale est la même que celle de la campagne antérieure.

3.1.5 TEMPÉRATURE

CAMPAGNE 1 : 21 ET 22 JANVIER 2019

Voir insertion ci dessous et **annexes 5-1 et 5-2**

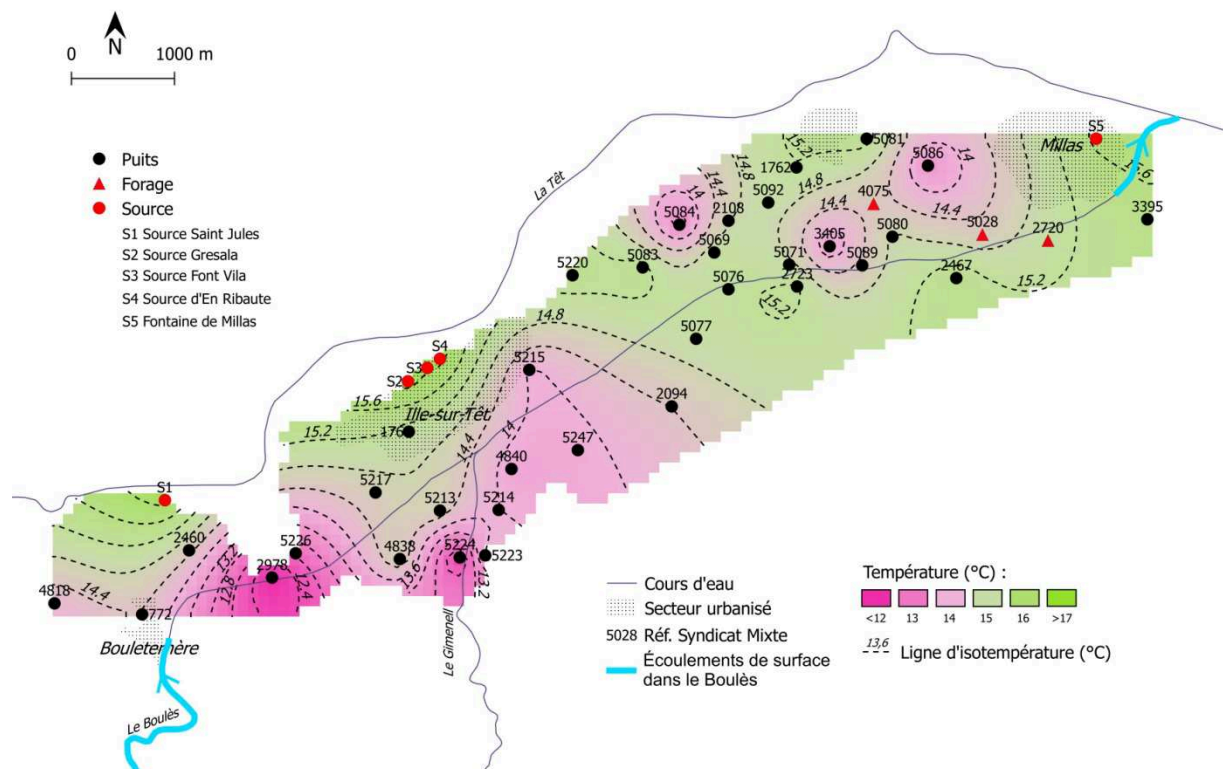


Fig. 5 : Température de l'aquifère de la terrasse d'Ile-sur-Têt ;
campagne 1 – 21/01/19

Distribution des températures un peu complexe ; quelques observations cependant :

- mini : 11,9 °C ; max : 16,2 °C ;
- les températures les plus élevées sont relevées aux sources (Ile-sur-Têt : 16,2 °C ; Millas 15,8 °C) ;
- quelques points singuliers se détachent nettement du groupe général compris entre 14 et 15 °C : il s'agit du puits de l'Asa de S^{te}-Anne en bordure immédiate du Boulès (réf. Syndicat Mixte 2978), du puits Les Basses 2 à St-Michel-de-Llotes (réf. Syndicat Mixte 5224).

CAMPAGNE 2 : 31 JANVIER & 1^{ER} FÉVRIER 2019

Même distribution générale ; le point froid constitué par le puits de l'Asa de Ste Anne (12,7°C) est confirmé mais le contraste avec les autres points d'eau est moindre.

3.1.6 LES CAPTAGES AEP

Les 6 ouvrages suivis (localisation en **fig. hors texte 2** et tableau) montrent, sur les paramètres contrôlés, des valeurs parfaitement conformes à la réglementation pour les eaux destinées à la consommation humaine ; pas d'indice de dégradation (turbidité entre 0,10 et 0,15 NTU, nitrates entre 1,4 et 6,3 mg/l, aucun pesticide détecté sur les 555 molécules recherchées).

L'eau du canal de Corbère qui sera utilisée pour alimenter la lâchure est également analysée :

- turbidité plus élevée que celle des captages AEP ; constat parfaitement normal pour une eau de ce type ;
- nitrates en très faible quantité (1,3 mg/l) ;
- une molécule de pesticide (AMPA ; 0,042 µg/l) au-dessus des seuils de détection, tout en restant en concentration inférieure à la limite de qualité pour les eaux destinées à la consommation humaine (0,1 µg/l).

Ouvrage	Réf. Syndicat mixte	Conductivité (µS/cm)	Température (°C)	Turbidité (NFU)	Nitrate (mg/l)	Pesticides (µg/l) AMPA autres	
C1-1 Millas	171	214	14.5	0.12	6.3	< SD	< SD
C1-2 Millas	172	249	15.2	0.11	6.0	< SD	< SD
F1 Néfiach	53	235	15.2	0.15	4.1	< SD	< SD
P2 Néfiach	52	188	10.0	0.10	4.5	< SD	< SD
P3bis Ille	63	255	13.5	0.13	1.4	< SD	< SD
F2 Bouleternère	109	258	14.1	0.12	5.1	< SD	< SD
Canal	-	133	4.9	4.90	1.3	0.042	< SD

Tableau 1 : Analyses physico-chimiques sommaires des captages AEP ; état initial avant lâchure

3.1.7 L'ÉTAT INITIAL -AVANT ESSAI DE RECHARGE- EN RÉSUMÉ

La nappe alluviale étalée entre Bouleternère et Millas présente une morphologie régulière, avec des écoulements orientés SW-NE, à l'exception d'un petit secteur au Sud, influencé par les apports souterrains du Giménell.

Elle est en phase de décroissance rapide (plusieurs centimètres/jour).

A l'inverse de la piézométrie, relativement homogène, conductivité et température montrent une certaine dispersion.

Le Boulès, d'un débit voisin de 200 l/s à la chapelle S^t Nazaire en amont du secteur d'essai, se perd rapidement au débouché dans la plaine alluviale ; il est totalement à sec au droit de Bouleternère (centre village).

Les débits des 5 sources retenues pour le suivi sont stables ou à peine décroissants à l'exception notable de la fontaine St Jules (?).

Les captages AEP ne montrent aucune anomalie pour les paramètres turbidité, nitrates et pesticides tandis que l'eau du canal de Corbère, destinée à alimenter la lâchure, est légèrement turbide et présente de très faibles traces d'un pesticide (Ampa).

3.2 LA RÉPONSE DE L'AQUIFÈRE QUATERNAIRE À LA LÂCHURE

La réponse de l'aquifère alluvial aux 6 semaines de lâchure, puis à son interruption, est ici déclinée selon les paramètres de suivi : piézométrie (§321), débit des sources (§322), conductivité et température (§323).

Le régime du Boulès pendant la recharge est abordé au §324.

Pour une plus grande facilité de lecture, les éléments principaux sont restitués par les insertions cartographiques "allégées" in-texte tandis que le détail des campagnes est reporté en annexe 3.

3.2.1 PIÉZOMÉTRIE

3.2.1.1. CAMPAGNES DE RELEVÉS PONCTUELS SUR L'ENSEMBLE DE L'AQUIFÈRE

L'impact de la lâchure est rapidement perçu : 1 semaine après le début des apports (insertion ci-dessous), un net exhaussement piézométrique (jaune-orangé) est ressenti jusque 3 km en aval avec une intensité variable selon les secteurs, maximum de l'ordre de 0,75 m. En aval, la diminution générale des niveaux (bleu), notée dans la période antérieure à la lâchure, se poursuit.

Le Boulès, jusque là sec à partir de Bouleternère, s'écoule jusque Ille-sur-Têt, soit une progression de 3 km.

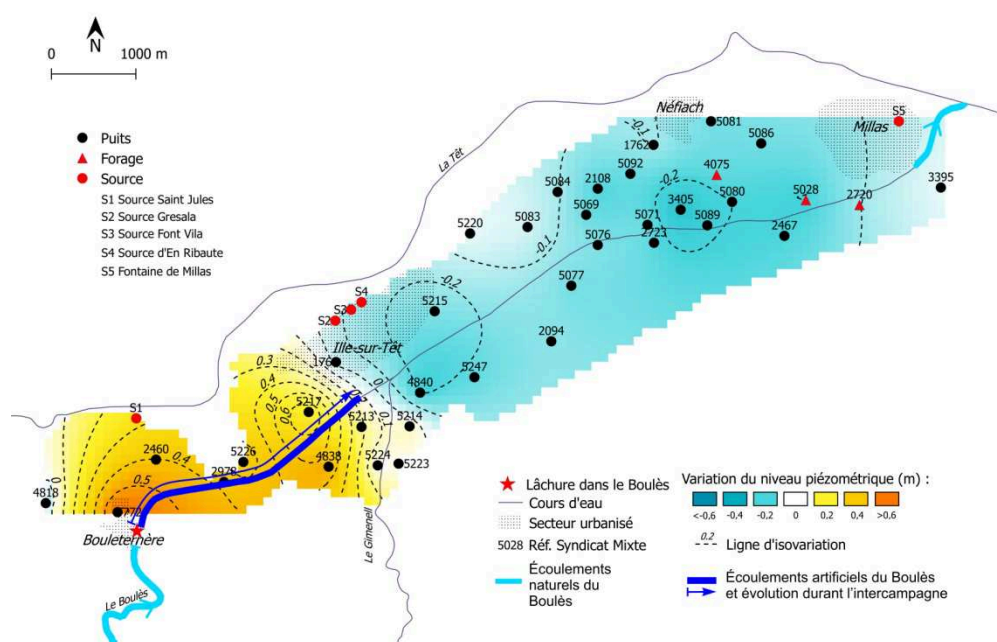


Fig. 6 : Variations piézométriques durant la première semaine de lâchure entre les campagnes 2 (31/01/19) et 3 (06/02/19) ;

NB / Comme mentionné plus haut au sujet de l'exploitation des données avant lâchure (§312), il est beaucoup plus parlant d'établir des cartes d'isovariation piézométrique entre 2 campagnes que de comparer directement les cartes piézométriques de ces campagnes ; dans ce dernier cas, les différences sont peu perceptibles. Voir à titre d'exemple :

- l'annexe 2.1 (piézométrie de la campagne 1),
- l'annexe 2.2 (piézométrie de la campagne 2),
- l'annexe 2.3 (les piézométries superposées des 2 campagnes) à confronter avec l'annexe 3.1 (variation de la piézométrie entre ces 2 campagnes),
- l'annexe 2.4 qui propose la superposition des 11 campagnes piézométriques.

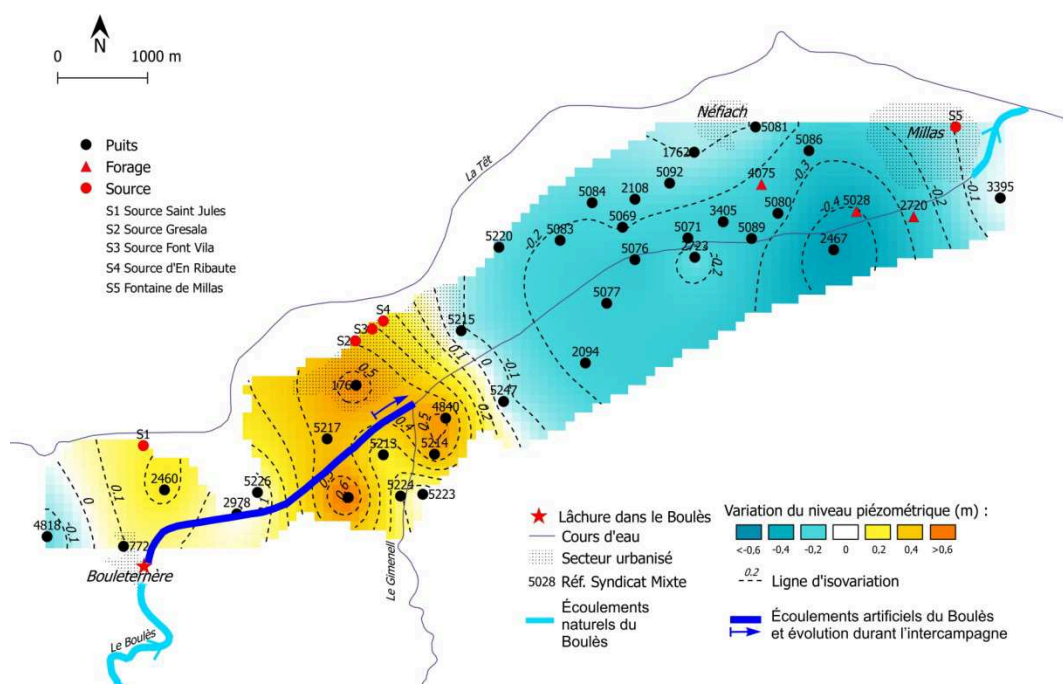


Fig. 7 : Variations piézométriques durant la 2^{ème} semaine de lâchure entre les campagnes 3 (06/02/19) et 4 (14/02/19)

Le "front" d'exhaussement piézométrique progresse de 1,5 km vers le NE. A noter les réponses très limitées des puits de Grabas à Bouleternère (réf. Syndicat Mixte 5226) et de l'Asa de S^{te}-Anne (réf. Syndicat Mixte n° 2978) d'une part et, à St-Michel-de-Llotes, Les Basses 2 (réf. Syndicat Mixte 5224) / A l'Hort d'en Gill (réf. Syndicat Mixte 5224) d'autre part.

Les sources d'Ille-sur-Têt sont atteintes. L'écoulement du Boulès progresse sur 400 m, jusque la confluence avec le Gimenell.

En aval, la baisse piézométrique, notée avant lâchure, se poursuit.

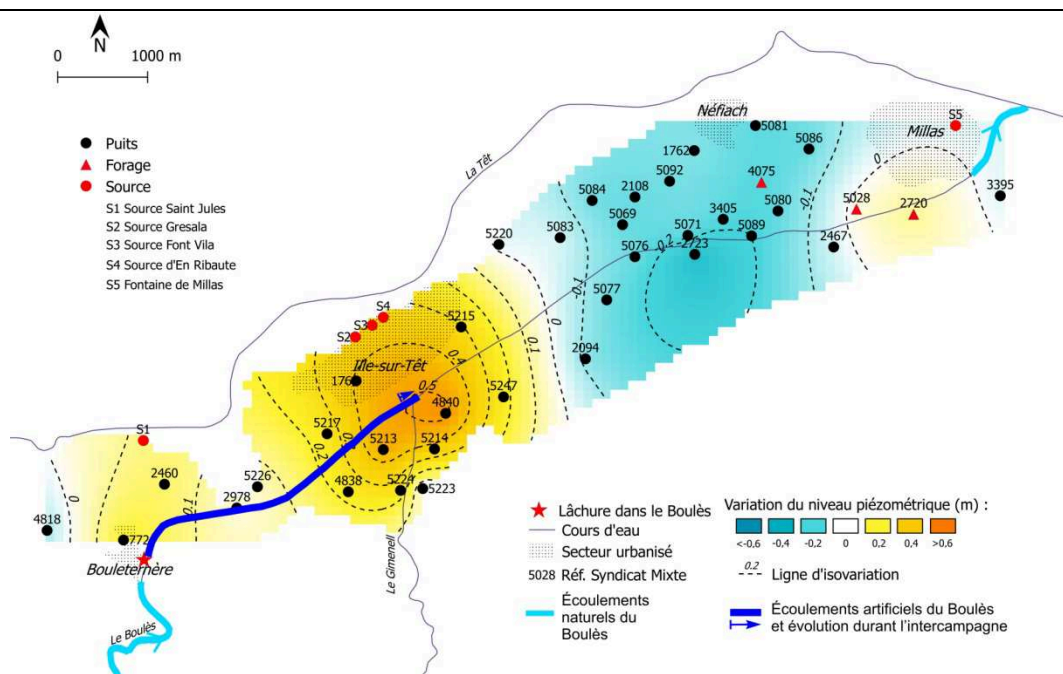


Fig. 8 : Variations piézométriques durant la 3^{ème} semaine de lâchure entre les campagnes 4 (14/02/19) et 5 (21/02/19)

L'exhaussement piézométrique progresse de 0,5 km vers le NE. A l'aval, la baisse persiste, mais plus modérément. Le Boulès est en eau sur seulement une cinquantaine de mètres supplémentaires.

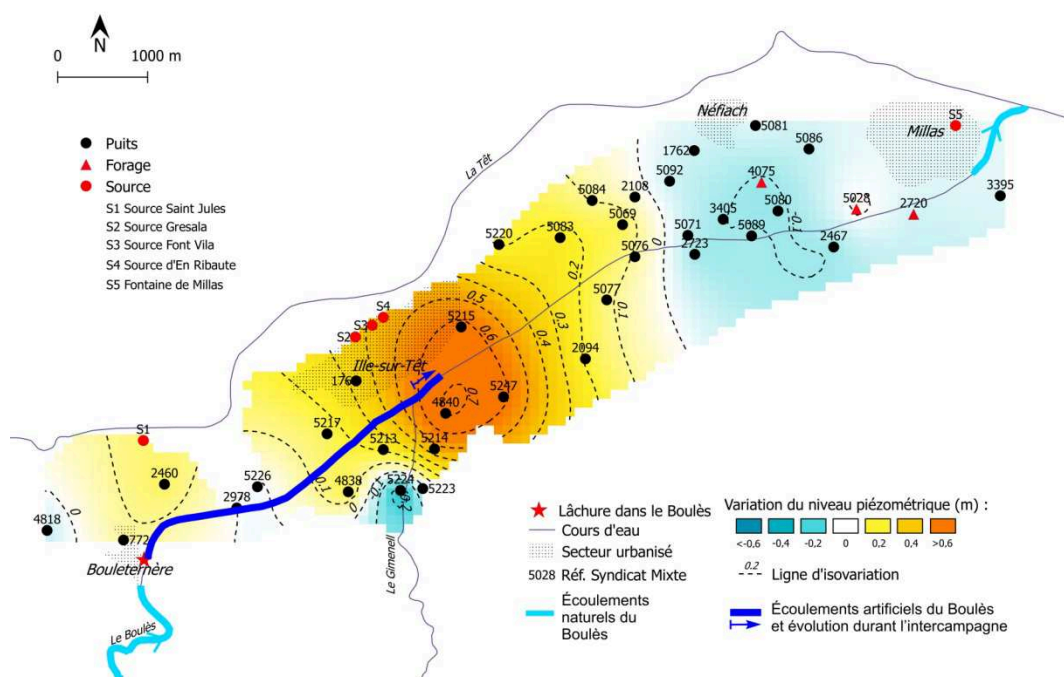


Fig. 9 : Variations piézométriques durant la 4^{ème} semaine de lâchure entre les campagnes 5 (21/02/19) et 6 (28/02/19)

Le front d'exhaussement continue de progresser vers le NE et atteint la limite Ile-sur-Têt/Nériach. Nette butte positive centrée sur Ile-sur-Têt, tandis qu'au SW les niveaux ne progressent plus ou peu.

Le Boulès s'écoule 500 m plus loin que la campagne antérieure et atteint le second pont d'Ile-sur-Têt.

Au NE la baisse piézométrique se poursuit.

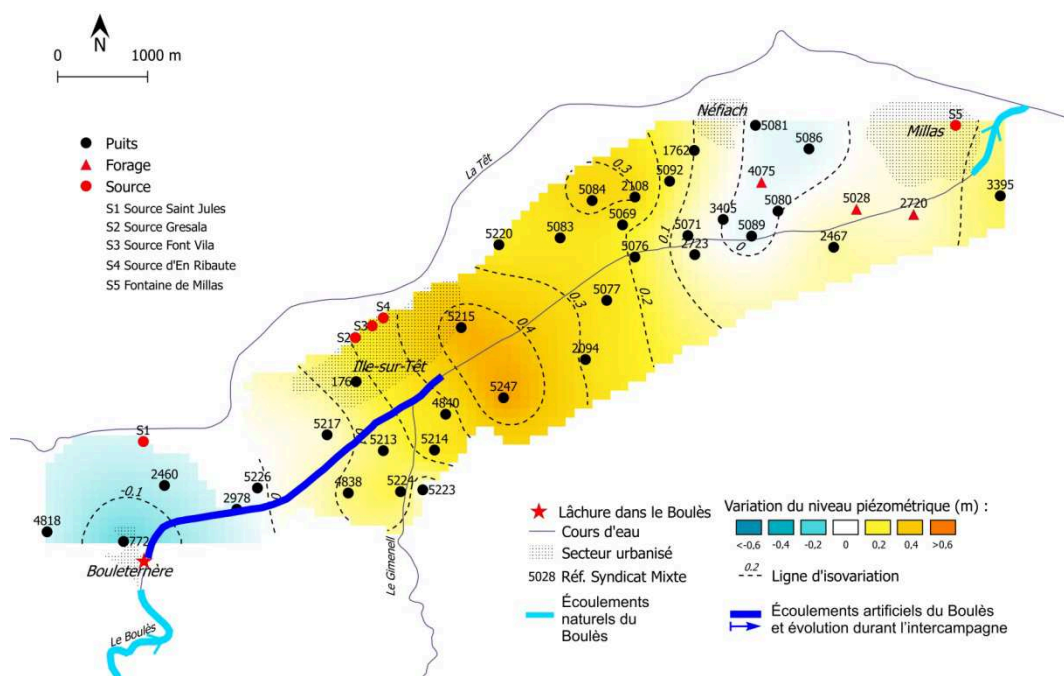


Fig. 10 : Variations piézométriques durant la 5^{ème} semaine de lâchure entre les campagnes 6 (28/02/19) et 7 (07/03/19)

La diminution piézométrique initiée au SW s'étend, tandis que la hausse atteint, avec une faible intensité, des secteurs NE jusqu'alors en baisse. Le Boulès ne progresse plus.

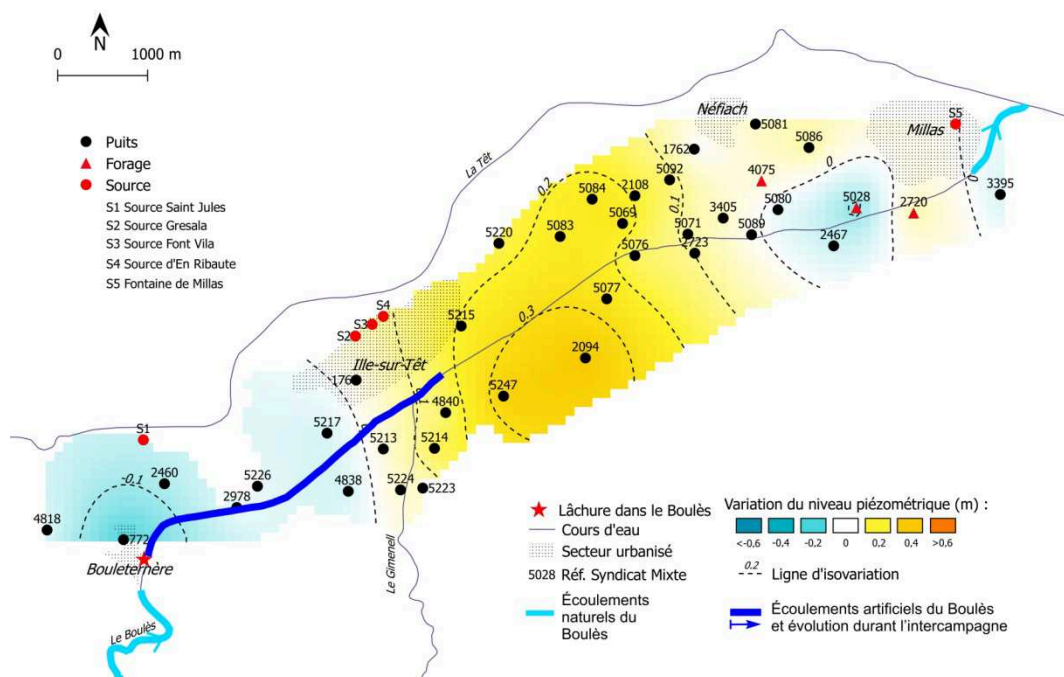


Fig. 11 : Variations piézométriques durant la 6^{ème}-et ultime- semaine de lâchure entre les campagnes 7 (07/03/19) et 8 (15/03/19)

La diminution piézométrique du SW se poursuit en direction d'Ille-sur-Têt ; parallèlement l'exhaussement est encore perceptible entre Ille-sur-Têt et Néliach mais ne semble pas progresser vers Millas. Le Boulès n'évolue pas.

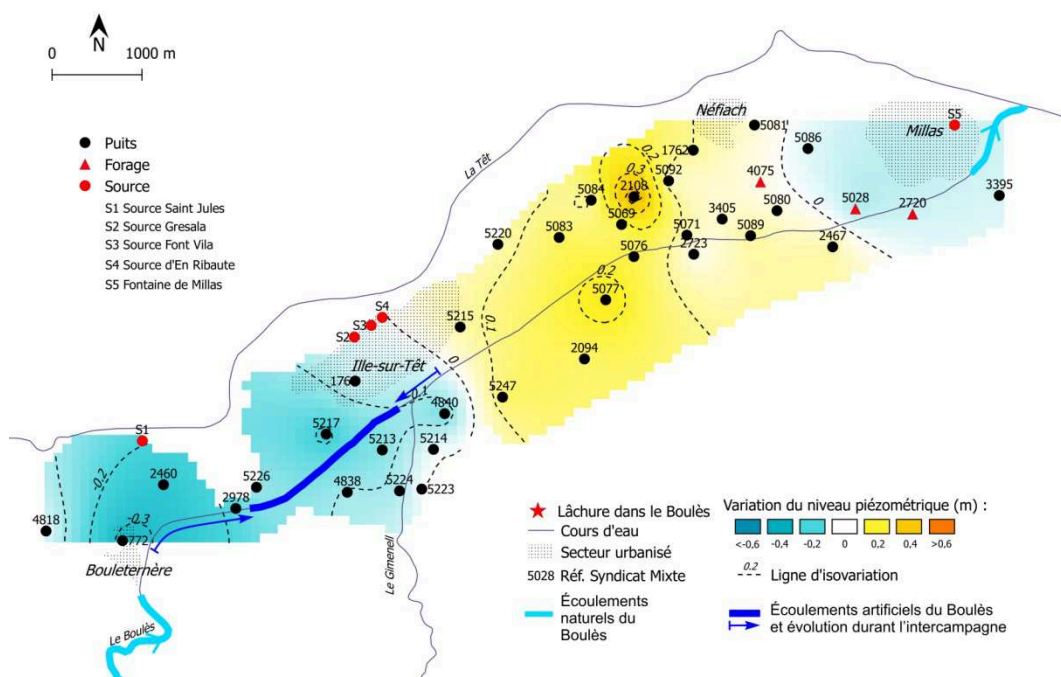


Fig. 12 : Variations piézométriques durant les 3 jours suivant l'arrêt de la lâchure entre les campagnes 8 (15/03/19) et 9 (18/03/19)

En 3 jours, l'arrêt des apports se traduit par une baisse piézométrique étendue jusque Ille-sur-Têt (les sources sont affectées) tandis que la recharge se note toujours au NE avec un pic décalé vers la limite Ille-sur-Têt/Néfiach. Seule l'extrémité NE est encore en phase de décroissance.

Le Boulès régresse en amont et en aval ; maigre écoulement en partie centrale.

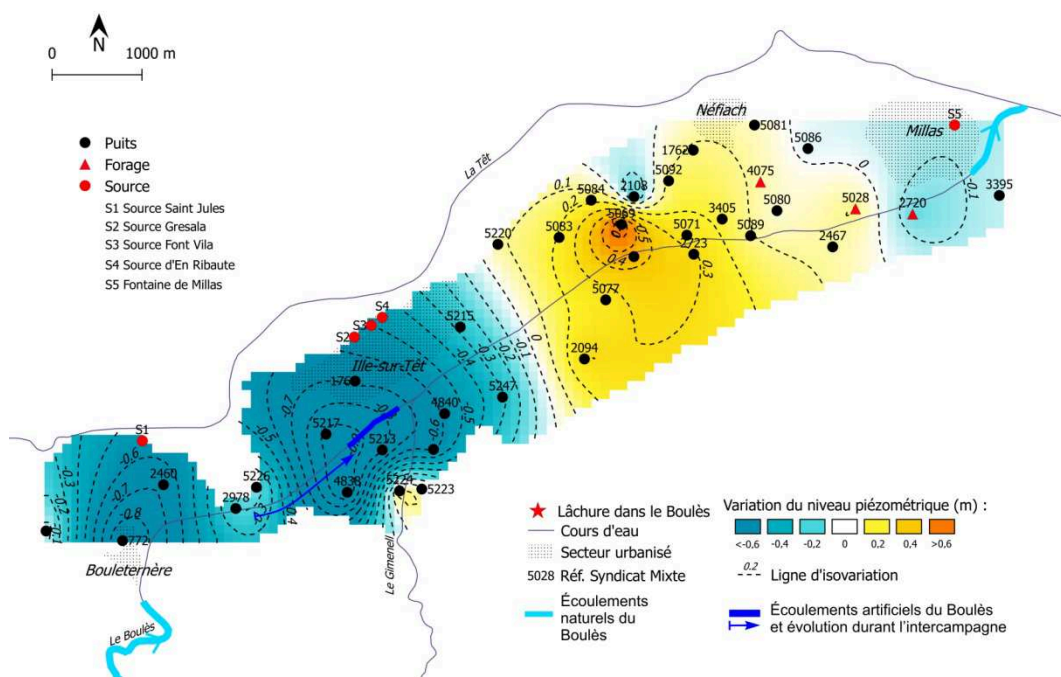


Fig. 13 : Variations piézométriques du 3^{ème} au 14^{ème} jour consécutif à l'arrêt de la lâchure entre les campagnes 9 (18/03/19) et 10 (29/03/19)

Importante baisse piézométrique sur la moitié SW ; la moitié NE n'est pas affectée : persistance de l'exhaussement à l'exception d'un puits en pompage : Mas Condomy (réf. Syndicat Mixte : 2108).
Maintien de la baisse sur Millas.

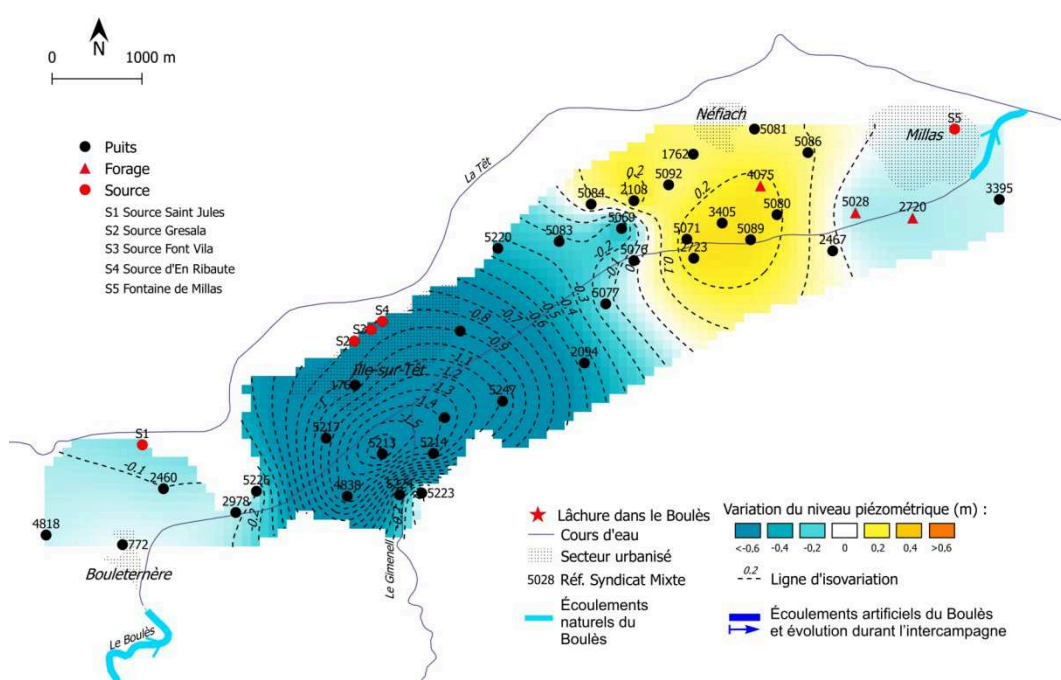


Fig. 14 : Variations piézométriques durant les 3^{ème} et 4^{ème} semaines consécutives à l'arrêt de la lâchure entre les campagnes 10 (29/03/19) et 11 (15/04/19)

Même si la reprise des irrigations altère probablement les observations, le caractère structuré de la cartographie laisse supposer que l'empreinte de la lâchure, est encore perçue 1 mois après son interruption : baisse au SW, persistance d'un gain au NE avec la pointe Est restant à l'écart.

3.2.1.2. ENREGISTREMENT EN CONTINU DE QUELQUES OUVRAGES

Le Syndicat Mixte pour la protection et la gestion des nappes souterraines de la plaine du Roussillon a mis à disposition les enregistrements en continu (pas de temps de 1h resserré ponctuellement à 5 mn) de quelques ouvrages équipés de dispositifs de mesure :

- le puits de l'ancienne AEP de Bouleternère (réf. Syndicat Mixte : 772), à 350 m en RG du Boulès et en position latérale par rapport à l'écoulement de la nappe ;
- le forage exploité par le SIAEP de Bouleternère, Corbère, Corbère les Cabanes et Saint Michel de Llottes, situé à Bouleternère à 600 m du point de lâchure et 250 m RG du Boulès (réf. Syndicat Mixte : 109) ;
- le puits de l'Asa de S^{te}-Anne (réf. Syndicat Mixte : 2978) en bordure immédiate RG du Boulès à 1100 m du point de lâchure et dans l'axe de l'écoulement général de la nappe ;
- le puits Camí Vell de Bula (réf. Syndicat Mixte : 5217) à Ille-sur-Têt, à 1450 m du point de lâchure et à 230 m RG du Boulès ;
- le piézomètre C2-1 (réf. Syndicat Mixte : 1746) à Millas à 8,9 km du point de lâchure, dans l'axe d'écoulement de la nappe et 350 m RG du Boulès.

Voir en **fig. hors-texte 2** la localisation des ouvrages et en **fig. hors-texte 3** les enregistrements.

On remarquera les réponses variables des ouvrages aux impulsions lâchure/interruption :

- le puits de l'ancienne AEP de Bouleternère (réf. Syndicat Mixte : 772) réagit environ 1 heure après la fermeture de la vanne ; le niveau de l'ouvrage était alors en phase de décroissance de l'ordre de 3 cm/jour. L'arrêt de la lâchure se traduit par une accélération de la baisse piézométrique à 8 cm/jour ;
- comportement d'ensemble identique sur le forage AEP de Bouleternère, actuellement exploité (réf. Syndicat Mixte : 109) même si les pompes quotidiens empêchent une lecture plus détaillée ;
- le puits Ste-Anne (réf. Syndicat Mixte : 2978) : la décroissance des niveaux est notée 40 mn après la fermeture de la vanne ; réponse franche calée à 5 mn près (qui correspond au pas de mesure de l'enregistreur) ;
- le puits Camí Vell de Bula (réf. Syndicat Mixte : 5217) à Ille-sur-Têt réagit progressivement sur environ 24 heures ; le niveau piézométrique stabilisé depuis 2 semaines, diminue à raison de 8 cm/jour.
- tandis que le piézomètre C2-1 (réf. Syndicat Mixte : 1746) à Millas ne semble pas affecté par l'essai ; il montre une décroissance tout au long de la période de suivi avec une tendance à la stabilisation en fin d'opération.

Rappelons que sur cet ouvrage, lors de l'essai de recharge mené fin 2016 / début 2017 (Engéo) avec un point de rejet beaucoup plus proche que celui de la présente étude (3,1 contre 8,9 km), il n'avait pas été établi de relation franche entre lâchure et piézométrie "il est possible que le lâcher ait permis de ne pas accentuer la baisse du niveau piézométrique".

A noter également :

- la réponse piézométrique rapide mais modérée (+0,3 m) du puits de l'Asa de S^{te}-Anne à comparer aux réactions plus lentes mais plus prononcées des puits AEP de Bouleternère et Camí de Bula (respectivement 1,1 m et 1,7 m).
- l'interruption de la lâchure durant une journée pour des raisons techniques (§224) est bien notée sur les puits de l'ancienne AEP de Bouleternère et Camí Vell de Bula.
- malgré la recharge, le secteur en amont du verrou entre Bouleternère et Ille-sur-Têt, présente une décroissance en seconde moitié de la période de lâchure, bien visible sur les enregistrements de l'ancienne AEP de Bouleternère et sur le forage actuellement en service. Ce constat, également apparu à l'examen des cartes de variations piézométriques intercampagnes, reflète la progressive baisse de la contribution naturelle du Boulès à l'alimentation de la nappe.

3.2.2 DÉBIT DES SOURCES

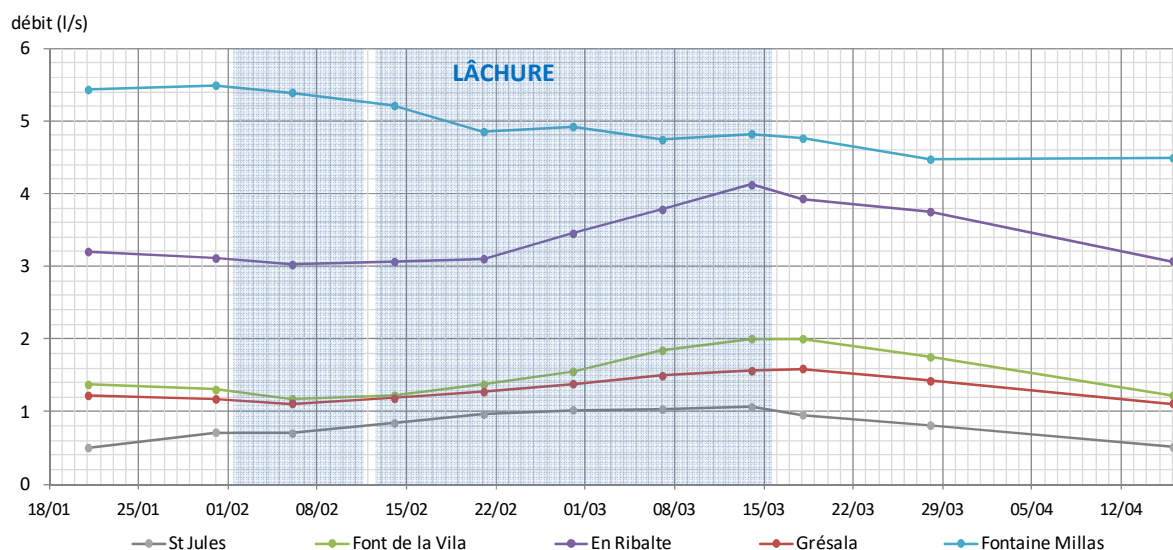


Figure 15 : Débit des sources

Les sources répondent visiblement à la recharge, au moins pour 4 d'entre elles :

- Saint Jules présente une stabilisation des débits puis, 2 semaines après le début de l'opération, une augmentation qui se poursuivra durant les 3 semaines suivantes avant de se stabiliser en plateau à 1 l/s soit +40 % par rapport à la veille de la lâchure. Dès l'arrêt du rejet dans le Boulès, s'initie une décroissance régulière : -50 % 1 mois plus tard, lors du dernier contrôle.
- Les trois sources du centre d'Ille-sur-Têt ont un comportement globalement comparable, dans des proportions variables selon les points d'eau (l'augmentation de débit varie de 33 % - En Ribalte et Grésala- à 50 % -Font Villa-).
- La Fontaine de Millas est peu affectée ; la stabilisation des niveaux fin février/début mars et la lenteur de la décroissance postérieure pourraient-elles être interprétées comme la réponse retardée et ténue à la recharge ? ; les cartes piézométriques proposées au §3211 iraient plutôt dans le sens de l'absence d'impact.

A noter que ces mesures sont parfaitement concordantes -synchrones- avec l'évolution piézométrique, reflétée par les représentations graphiques du §3211 ci-dessus et **l'annexe 3**.

3.2.3 CONDUCTIVITÉ ET TEMPÉRATURE

3.2.3.1. ENREGISTREMENT EN CONTINU DE QUELQUES OUVRAGES

L'eau rejetée dans le Boulès est de minéralisation plus faible que celle de la nappe alluviale : la première présente une conductivité de l'ordre de 130 $\mu\text{S}/\text{cm}$ contre 200 à 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la seconde.

Même observation pour la température : le Boulès est relativement froid par rapport aux eaux de la nappe.

Les signaux "conductivité" et "température" peuvent être utilisés comme marqueurs : les évolutions allant dans le sens d'un adoucissement et d'un refroidissement sont à lier à la recharge.

Puits de l'Asa de S^{te}-Anne (réf. Syndicat Mixte : 2978)

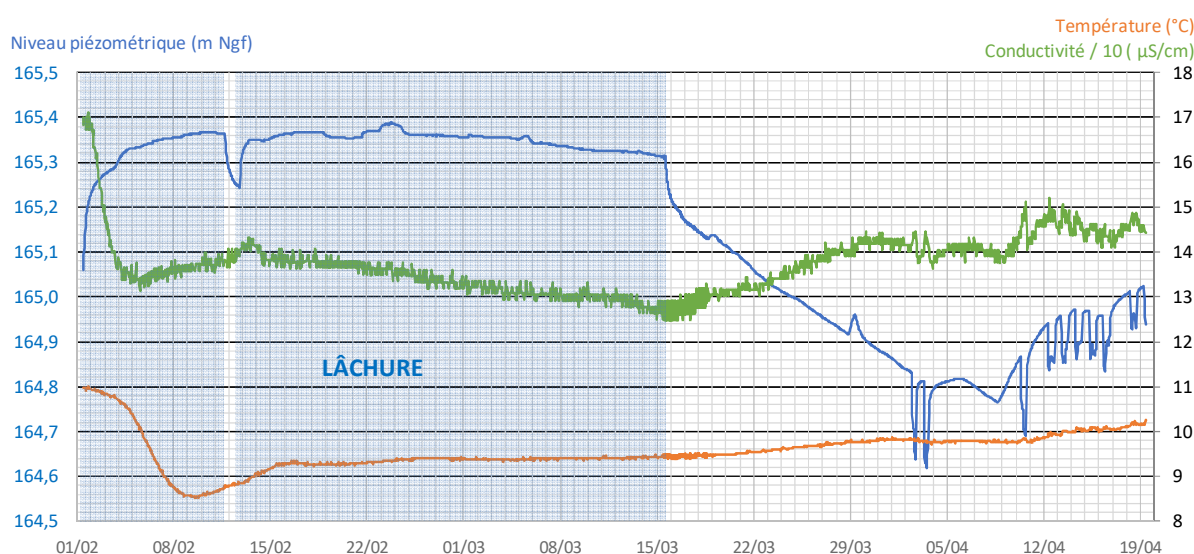


Figure 16 : Enregistrement en continu niveau piézométrique / conductivité / température au puits de l'Asa de S^{te}-Anne

- au démarrage de la lâchure, augmentation de la piézométrie et chute pratiquement synchrone de la conductivité tandis que la température réagit avec un déphasage de 2 à 3 jours ;
- lors de l'interruption de 25 h des 11 et 12 février : baisse piézométrique et hausse de la conductivité décalée d'une journée, pas de réaction sur le plan thermique ;
- à l'arrêt de la lâchure, lente augmentation de la conductivité et modeste accroissement de température.

Le puits de l'ASA de Ste Anne n'est cependant pas représentatif de l'ensemble des ouvrages : situé à quelques mètres de la berge du Boulès il réagit quasi instantanément aux variations de niveau du cours d'eau (voir § 3212 ci-dessus et **fig. hors texte 3**).

Puits de l'ancienne AEP de Bouleternère (réf. Syndicat Mixte : 772)

L'ouvrage, qui réagit rapidement aux variations de niveau du Boulès, répond à l'arrêt de la lâchure avec une plus grande inertie sur les plans qualitatif et thermique :

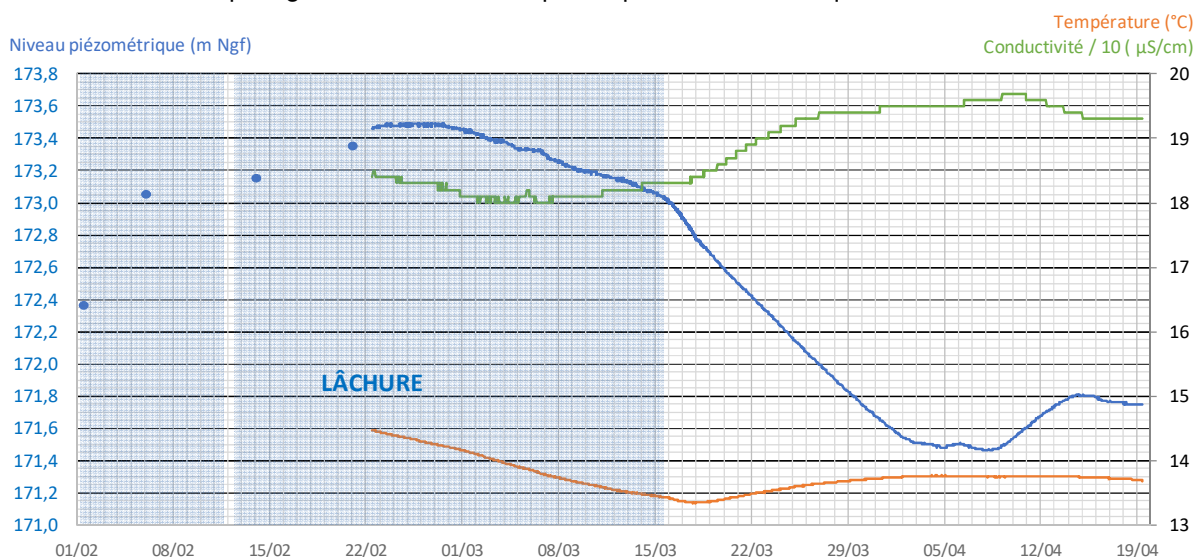


Figure 17 : Enregistrement en continu niveau piézométrique / conductivité / température au puits de l'ancienne AEP de Bouleternère

- quasi stabilité de la conductivité autour de 180/184 $\mu\text{S}/\text{cm}$ lors des 3 dernières semaines de lâchure -pas de données des 3 semaines antérieures- puis lente remontée d'une quinzaine de $\mu\text{S}/\text{cm}$ après l'arrêt ;
- faible diminution de la température et quasi stabilité après l'arrêt de la lâchure.

Puits Camí Vell de Bula (réf. Syndicat Mixte : 5217)

L'ouvrage, plus éloigné de la lâchure (1450 m), montre une plus grande inertie mais aussi une nette corrélation négative entre piézométrie et température (pas de données de conductivité).

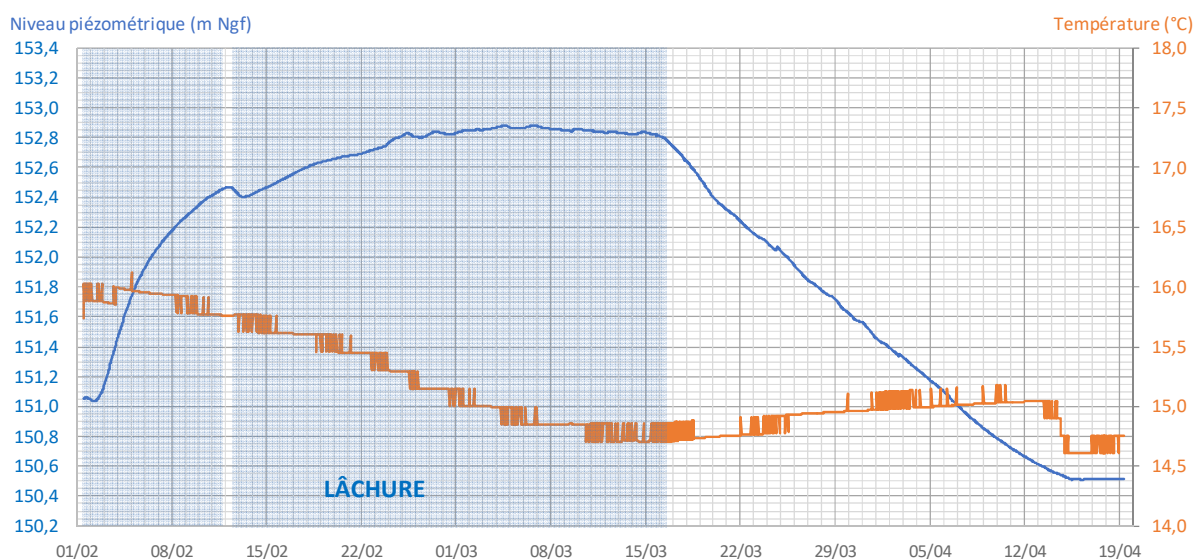


Figure 18 : Enregistrement en continu niveau piézométrique / température au puits Camí Vell de Bula

Piézomètre C2-1 à Millas (réf. Syndicat Mixte : 1746)

Même conclusion que pour le paramètre "piézométrie" sur cet ouvrage éloigné du point de rejet : pas de relation décelable entre lâchure et comportement des paramètres conductivité / température.

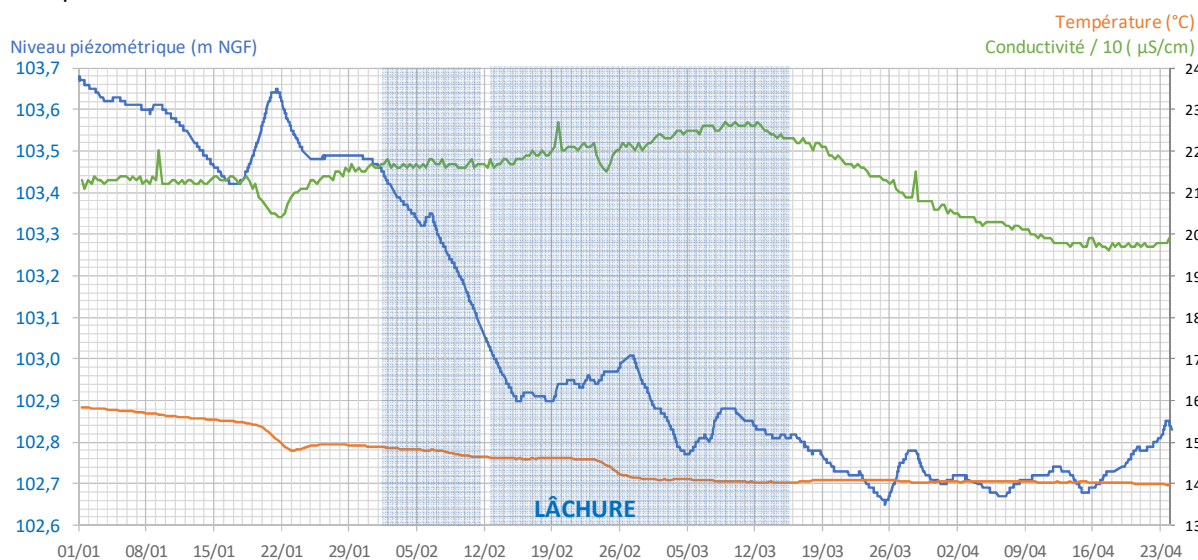


Figure 19 : Enregistrement en continu niveau piézométrique / conductivité / température au piézomètre C2-1 à Millas

3.2.3.2. RELEVÉS PONCTUELS SUR L'ENSEMBLE DE L'AQUIFÈRE

Une première vision globale de l'ensemble des chroniques montre des conductivités comprises entre 134 et 382 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 2 exceptions notables près : entre 500 et 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, le puits Balltorte à St-Michel-de-Llotes Michel (réf. Syndicat Mixte 5222) et le puits de la chapelle S^{te}-Anne (réf. Syndicat 4818), tous 2 dans un contexte géologique différent du reste des ouvrages.

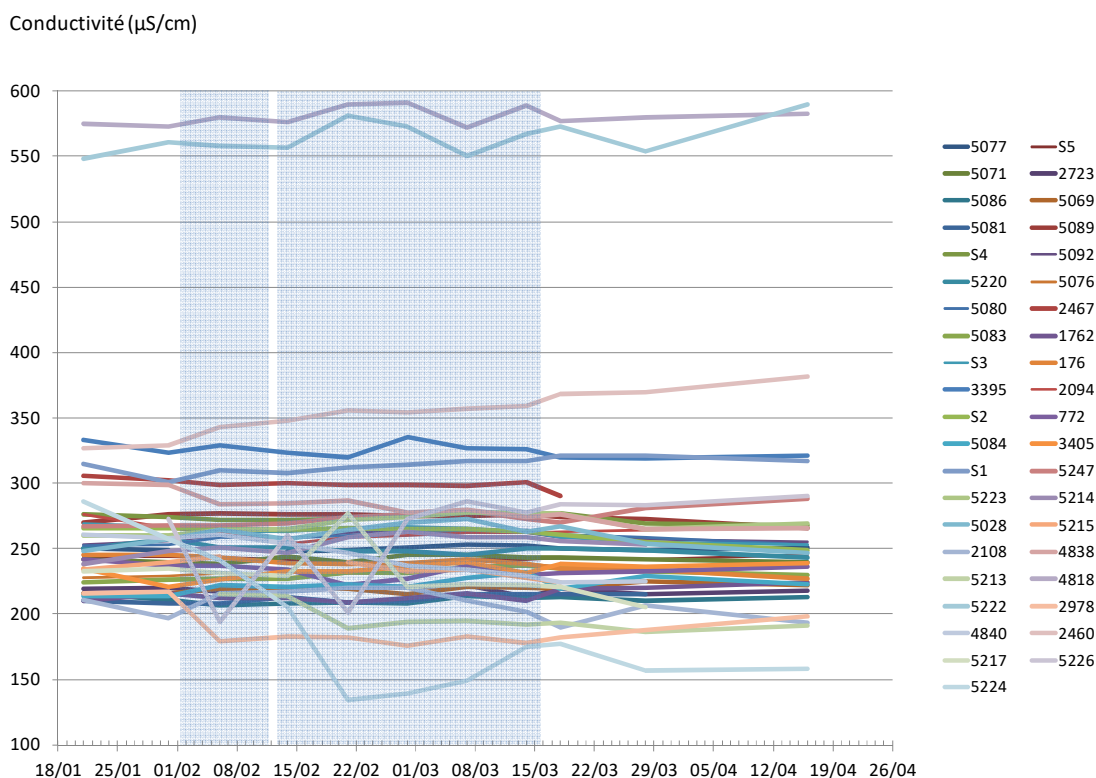


Figure 20 : Évolution de la conductivité sur l'ensemble des ouvrages suivis

Ces 2 ouvrages singuliers sont écartés d'un traitement statistique élémentaire (variance/écart-type) appliqué aux autres points d'eau.

Les insertions ci-dessous regroupent en 3 catégories les évolutions des conductivités des points d'eau en fonction de leur dispersion :

- a/ les ouvrages de conductivité quasi-stable (écart-type < 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$) :

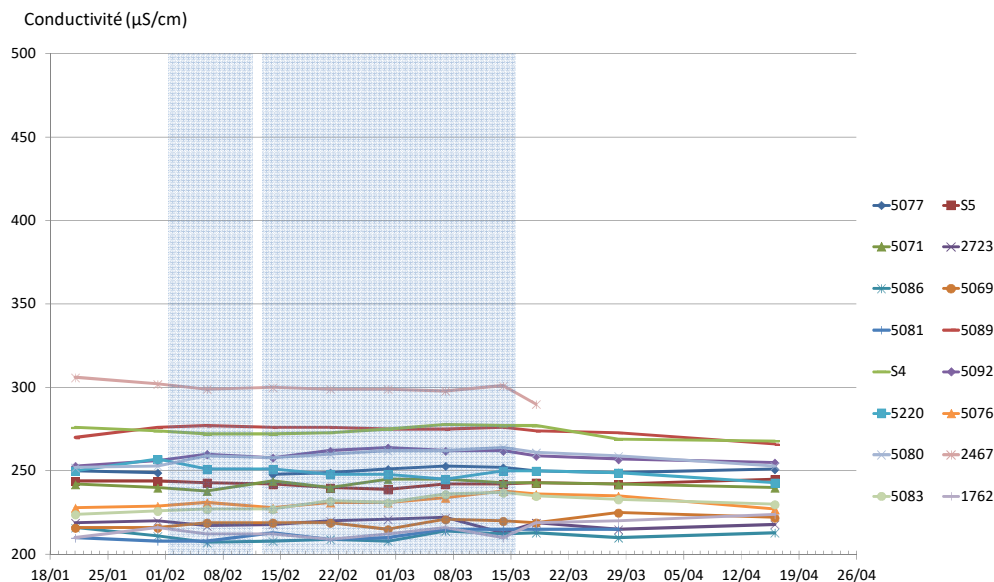


Figure 21 : Groupe des ouvrages à la conductivité stable sur l'ensemble du suivi

Tous sans exception sont situés dans la partie aval du secteur d'étude ; les variations enregistrées sont modestes et ne sont pas corrélées à la lâchure dans le Boulès car :

- trop proches dans le temps ; dans ces secteurs l'exhaussement piézométrique est remarqué seulement en fin de suivi et ne pourrait être précédé par une variation de conductivité ;
- elles ne sont pas synchrones entre les différents points d'eau.

On parlera de bruit de fond.

- b/ les ouvrages pour lesquels l'écart-type est compris entre 5 et 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$:

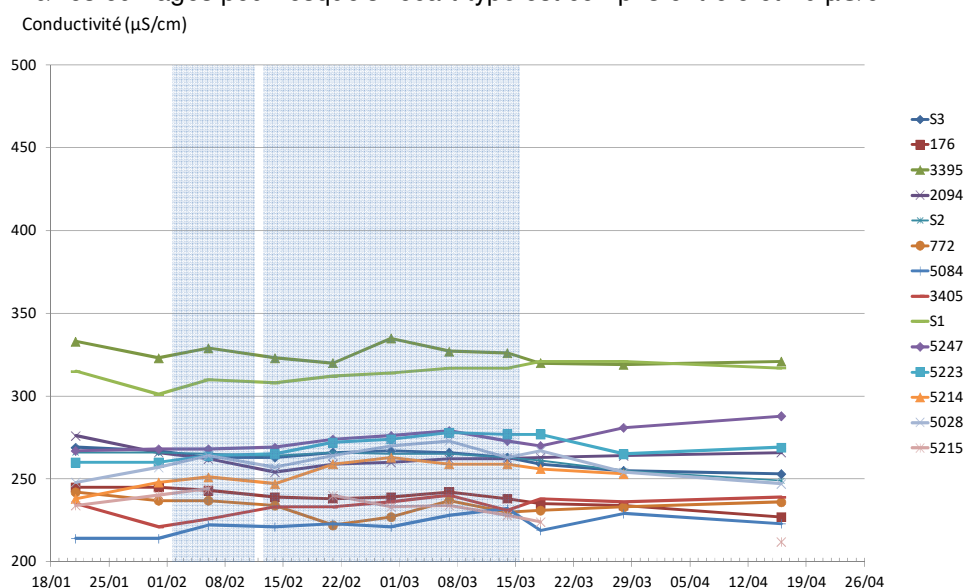
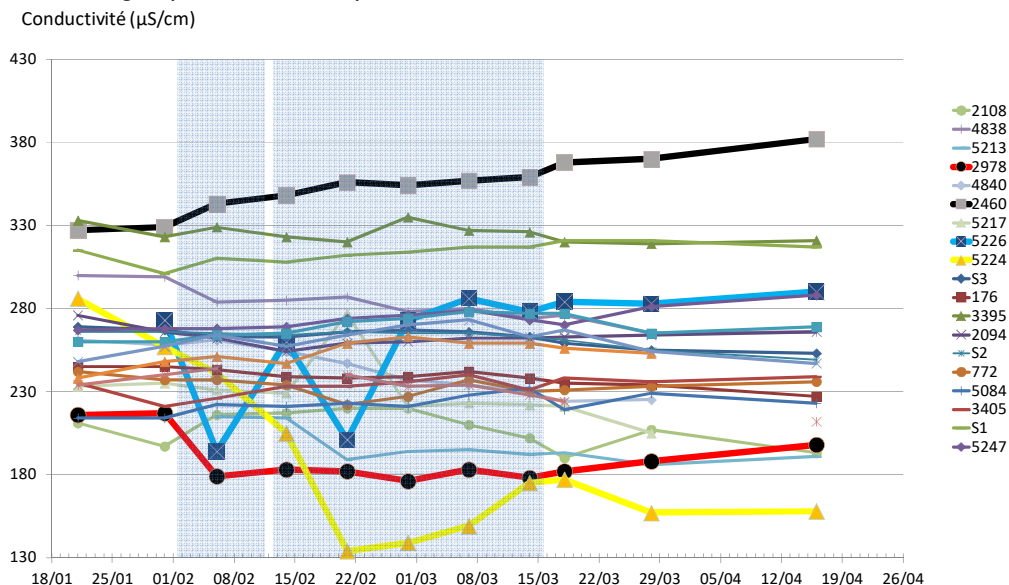


Figure 22 : Groupe des ouvrages montrant de faibles variations de conductivité

Ils sont majoritairement dans la zone centrale ; mêmes commentaires que ci-dessus.

- c/ les ouvrages plus instables : plutôt dans la zone amont.



On distinguera les puits singuliers (traits renforcés ci-dessus):

- Les Basses 2 à St-Michel-de-Llotes (réf. Syndicat Mixte 5224) pour lequel les baisses de conductivité (jusqu'à $134 \mu\text{S}/\text{cm}$) sont corrélées sans ambiguïté à la mise en charge d'une petite branche d'un canal d'irrigation proche du puits ; un bruit de chute d'eau est parfaitement audible depuis l'extérieur et cesse lorsque le canal est à sec.
- Le puits Grabas à Bouleternère (réf. Syndicat Mixte 5226) qui a le même comportement lorsque le canal voisin est en charge (pas de bruit de chute d'eau cependant).
- le puits Camy de l'Hermite à Bouleternère (réf. Syndicat Mixte 2460), plus minéralisé que la plupart des autres ouvrages, présente une conductivité croissant régulièrement, sans sembler être altérée par la lâchure.

Comme noté sur les enregistrements en continu, le puits de l'ASA de S^{te}-Anne (réf. Syndicat Mixte 2978) présente une évolution signant l'impact des apports dans le Boulès : chute de près de $40 \mu\text{S}/\text{cm}$ durant la semaine suivant la mise en eau, maintien d'un plateau autour de $180 \mu\text{S}/\text{cm}$ et amorce de remontée en fin de suivi, après l'arrêt de la lâchure.

3.2.4 LE RÉGIME DU BOULÈS

3.2.4.1. NATURE DU SUIVI

Parallèlement au suivi des captages, le Boulès a fait l'objet d'une attention spécifique avec :

- des mesures de débit en 2 points :
 - en amont de Bouleternère, avant d'atteindre la zone de pertes par infiltration dans les alluvions ;
 - en aval, au niveau de Millas dans le secteur où le cours d'eau est pérenne.
- des observations le long de la rivière, pour repérer, au fur et à mesure du déroulement de l'essai, le déplacement progressif du point de perte totale par infiltration ;
- des prospections détaillées en partie aval où la rivière retrouve un écoulement.

3.2.4.2. LE DÉBIT EN AMONT

Point de jaugeage à la chapelle S^t-Nazaire, soit juste avant le débouché du Boulès dans la plaine alluviale (**fig. hors texte 2**).

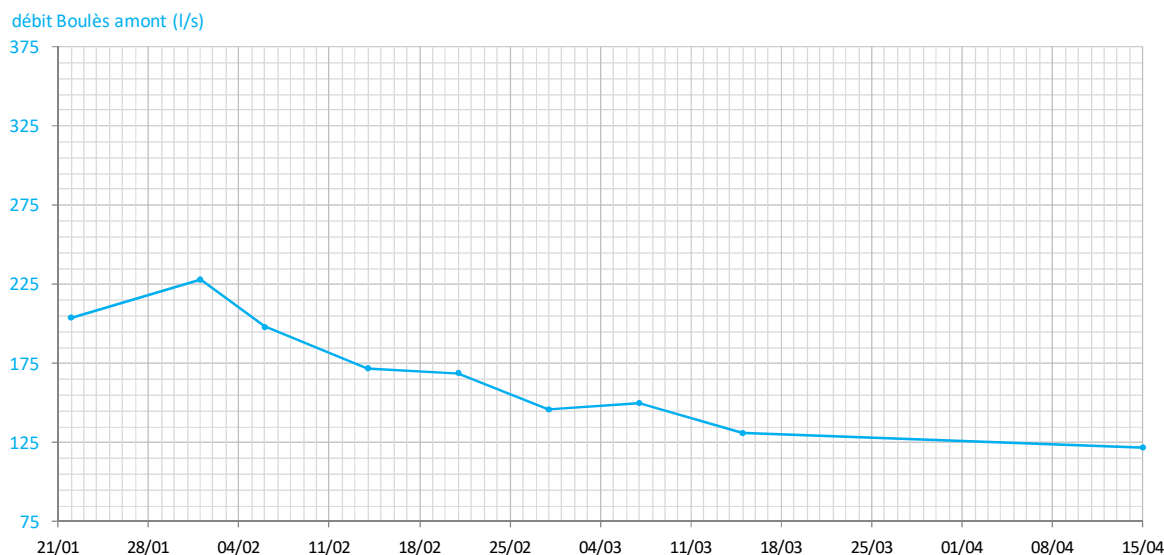


Figure 24 : Le débit du Boulès en amont de la lâchure

On note une décroissance régulière du débit tout au long de l'essai ; la seule -faible- augmentation (31/01/19) est antérieure à la lâchure (01/02/19).

3.2.4.3. ÉVOLUTION DU RÉGIME D'ÉCOULEMENT EN AVAL DE LA LÂCHURE

Fig. hors texte 4.

Les 500 l/s de la lâchure sont déversés dans un cours d'eau à sec au moment du démarrage de l'essai. Les volumes introduits s'infiltrent dans le Boulès avec un point de perte totale progressant vers l'aval au fur et à mesure de la recharge. La fig. 4 restitue l'évolution des secteurs en eau pendant les 6 semaines de lâchure et le mois suivant l'arrêt de l'opération.

On notera qu'après 5 jours, l'écoulement est perçu 3,1 km en aval (jusque Ille-sur-Têt). La progression est beaucoup plus lente ensuite :

- + 450 m durant la semaine 2 de lâchure ; la confluence avec le Giménell -resté sec tout le long du suivi- est atteinte ;
- semaine 3 : quasi stagnation à la confluence du Giménell ;
- semaine 4 : progression de 500 m ;
- pas d'évolution les 2 dernières semaines de lâchure (5 et 6).

Point d'avancée maximale : 100 m en aval du second pont d'Ille-sur-Têt, à 4,05 km de la lâchure.

La régression est également irrégulière : - 600 m les 3 premiers jours suivant l'arrêt des rejets, stagnation une dizaine de jours ensuite. 1 mois après la fin de la lâchure, le Boulès est sec à de Bouleternère à Millas.

3.2.4.4. LE DÉBIT EN AVAL (MILLAS)

Le contrôle du débit du Boulès à Millas est destiné à détecter une éventuelle restitution de tout ou partie des volumes d'eau infiltrés à partir de la lâchure Bouleternère.

Le suivi effectué s'est avéré inexploitable. Raison principale : le rejet des différents canaux d'irrigation qui utilisent le Boulès comme exutoire. Le cours aval de la rivière, essentiellement entre Nésiach et Millas reçoit sur ses 2 rives des apports qui parasitent les mesures.



La variabilité dans l'espace dans le temps des volumes déversés en un point donné (peut évoluer d'un facteur 10 d'une journée à l'autre) rend vaine toute tentative d'analyse des débits.

A noter également des prises d'eau qui, à l'inverse, prélèvent dans la rivière, là également à un rythme irrégulier.

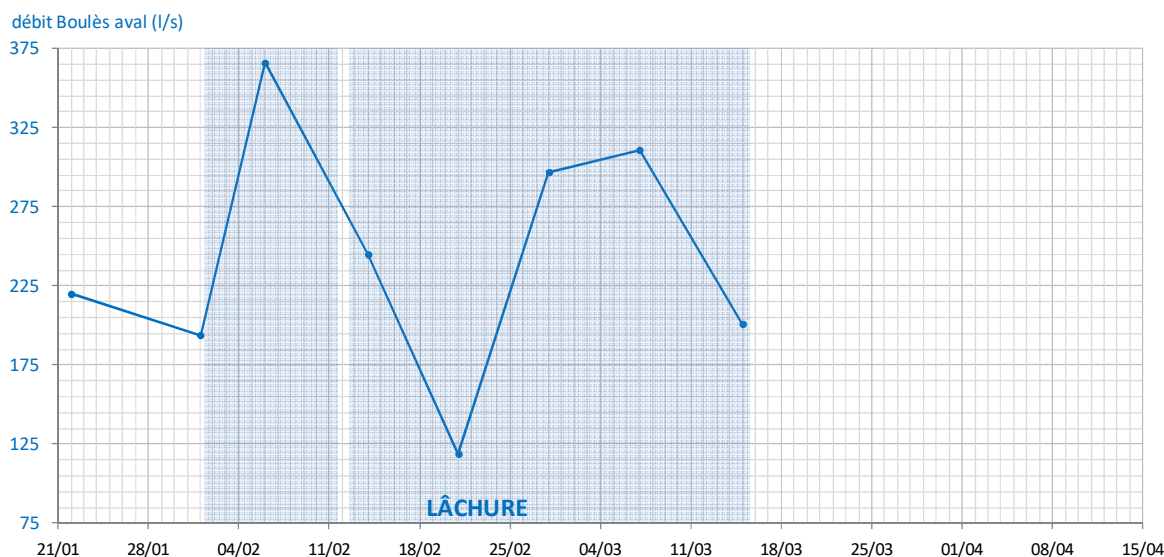


Figure 25 : Le débit du Boulès à Millas

3.3 LA RÉPONSE DE L'AQUIFÈRE PLIOCÈNE À LA LÂCHURE

3.3.1 PIÉZOMÉTRIE

3 ouvrages s'adressant à l'aquifère pliocène ont fait l'objet de suivi durant l'opération :

- le piézomètre Rosaret à Ile-sur-Têt (il s'agit du sondage de reconnaissance exécuté avant le forage définitif du même nom, à 6 m au Sud) : contrôles de niveau lors des 11 campagnes de la présente étude ;
- le piézomètre F7-2 Cerga à Nésiach ;
- le piézomètre "C2-2" à Millas : enregistrement en continu.

3.3.1.1. LE PIÉZOMÈTRE DU ROSARET À ILLE-SUR-TÊT

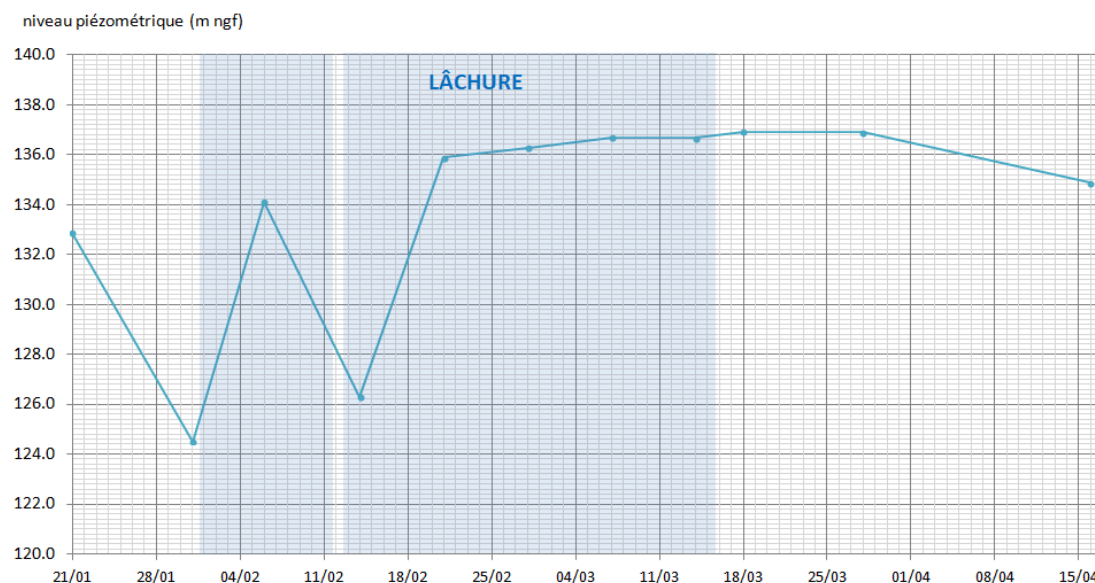


Figure 26 : Suivi piézométrique du forage du Rosaret à Ille-sur-Têt

Les données du Rosaret ne sont pas exploitables car affectées par les pompages sur le forage d'exploitation voisin. Il est arrivé à plusieurs reprises de trouver le niveau du piézomètre en cours de descente ou de remontée mais manifestement pas dans un état statique. Malgré les passages répétés et la coordination avec l'exploitant, certaines valeurs correspondent d'évidence à des niveaux dynamiques.

En considérant que la courbe enveloppe supérieure correspond à l'évolution du niveau statique, il pourrait être admis l'absence de lien avec la lâchure ; conclusion cependant peu fondée.

3.3.1.2. LE PIÉZOMÈTRE F7-2 CERGA À NÉFIACH

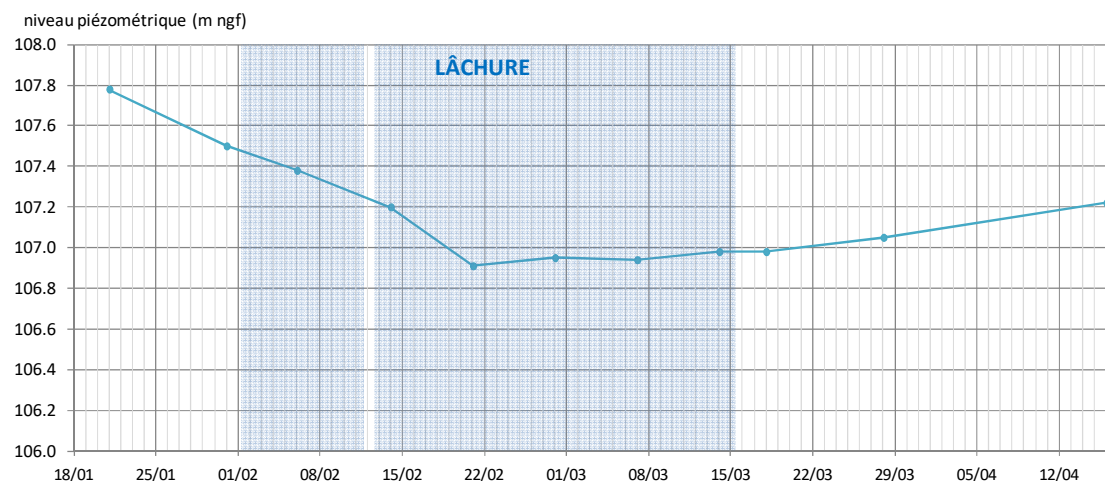


Figure 27 : Suivi piézométrique du forage du piézomètre F7-2

Pas de relation établie entre piézométrie de l'ouvrage F7-2 et la lâchure.

3.3.1.3. LE PIÉZOMÈTRE C2-2 À MILLAS

L'ouvrage est très en aval, à 8,9 km du point de rejet

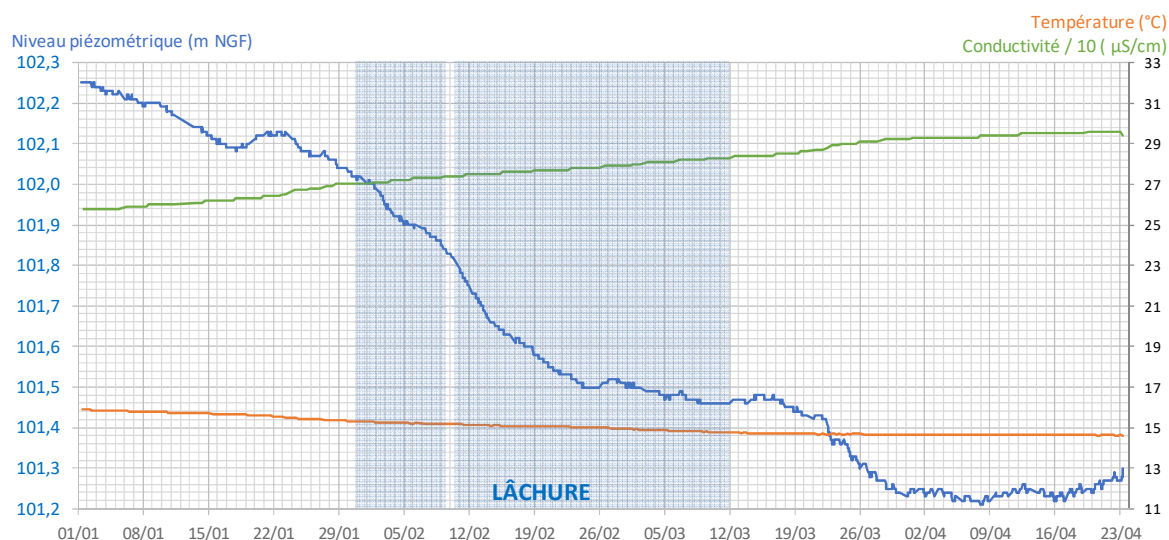


Figure 28 : Suivi piézométrique du forage du piézomètre C2-2

Pas de relation établie entre piézométrie de l'ouvrage C2-2 et la lâchure.

3.3.2 CONDUCTIVITÉ ET TEMPÉRATURE

Comme pour le paramètre niveau d'eau, les seules données disponibles sont celles du piézomètre C2-2.

Pas de relation établie entre l'évolution de la conductivité et la température d'une part, et la lâchure d'autre part.

A noter que sur ce piézomètre, lors de l'essai de recharge mené fin 2016 / début 2017 (Engéo) avec un point de rejet beaucoup plus proche que celui de la présente étude (3,1 contre 8,9 km) :

- "la conductivité de l'eau de cet ouvrage semblerait ne pas être impactée par les lâchers";
- par contre la même étude reconnaît une incidence de la lâchure sur le plan thermique "la température de l'eau dans les piézomètres du Pliocène a diminué, semblablement impactée par l'essai de recharge".

3.4 SUIVI QUALITATIF DES CAPTAGES AEP ET DU CANAL DE CORBÈRE

Paramètres suivis : température et conductivité mesurés sur le terrain ; turbidité, teneurs en nitrates et en pesticides dosés en laboratoire (Carso – bulletins d'analyse en annexe 9)

		Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Température ($^{\circ}\text{C}$)	Turbidité (NFU)	Nitrates (mg/l)	Pesticides ($\mu\text{g}/\text{l}$) AMPA autres	
C1-1 Millas	31/01/19	214	14.5	0.12	6.3	< SD	< SD
	15/02/19	211	14.1	0.11	4.5	/	/
	28/02/19	206	14.5	0.17	4.5	< SD	< SD
	15/03/19	209	14.3	< 0,10	4.5	< SD	< SD
	04/04/19	210	14.0	0.12	4.4	/	/
C1-2 Millas	31/01/19	249	15.2	0.11	6.0	< SD	< SD
	15/02/19	247	15.1	0.12	4.2	/	/
	28/02/19	247	15.2	0.14	4.2	< SD	< SD
	15/03/19	246	15.3	0.11	4.2	< SD	< SD
	04/04/19	247	15.1	0.15	4.1	/	/
F1 Néfiach	31/01/19	235	15.2	0.15	4.1	< SD	< SD
	15/02/19	224	15.5	< 0,10	6.3	/	/
	28/02/19	231	15.3	0.14	6.4	< SD	< SD
	15/03/19	224	15.8	0.10	5.9	< SD	< SD
	04/04/19	227	15.3	0.13	< 0,1	/	/
P2 Néfiach	31/01/19	188	10.0	0.10	4.5	< SD	< SD
	15/02/19	189	15.0	0.18	5.2	/	/
	28/02/19	199	15.0	0.18	5.3	< SD	< SD
	15/03/19	197	15.1	< 0,10	5.4	< SD	< SD
	04/04/19	197	13.8	0.13	5.0	/	/
P3bis Ille	31/01/19	255	13.5	0.13	1.4	< SD	< SD
	15/02/19	185	11.9	0.36	1.3	/	/
	28/02/19	180	11.5	0.20	1.1	< SD	< SD
	15/03/19	190	11.5	0.15	0.8	< SD	< SD
	04/04/19	188	11.9	0.15	0.9	/	/
F2 Bouleternère	31/01/19	258	14.1	0.12	5.1	< SD	< SD
	15/02/19	260	14.0	0.11	4.6	/	/
	28/02/19	255	14.5	0.15	3.7	< SD	< SD
	15/03/19	237	14.8	< 0,10	3.5	< SD	< SD
	04/04/19	238	14.3	0.13	4.2	/	/
Canal	31/01/19	133	4.9	4.90	1.3	0.042	< SD
	15/02/19	145	6.4	1.20	1.2	/	/
	28/02/19	137	8.1	2.30	0.9	< SD	< SD
	15/03/19	135	8.0	4.40	0.4	0.022	< SD
	04/04/19	/	/	/	/	/	/

Tableau 2 : Analyses physico-chimiques sommaires des captages AEP et du canal durant l'essai de recharge

- Nitrates (4 campagnes ; 3 durant la phase de lâchure, 1 après)

Les teneurs des eaux du canal sont faibles (max. à 1,3 mg/l) inférieures aux eaux de la nappe alluviale, elles mêmes peu chargées (de 4 à 6 mg/l à l'exception du puits P3bis de Ille-sur-Têt -entre 0,9 et 1,4 mg/l-).

Les variations en cours de campagne ne sont pas significatives relevant davantage d'un bruit de fond ; les quelques tendances qui pourraient être lues -par exemple diminution sur le F2 de Bouleternère- et interprétées comme une dilution des nitrates par l'eau du canal moins concentrée, sont démenties par des tendances inverses sur d'autres ouvrages.

- Pesticides

Aucune trace de pesticides sur les 6 captages AEP contrôlés ; 555 molécules recherchées.

Durant l'essai, seul le canal de Corbère a révélé 1 seule molécule au-dessus des seuils de détection : AMPA en concentration de 0,022 µg/l (limite de qualité pour les eaux destinées à la consommation humaine : 0,1 µg/l).

- Turbidité :

L'eau du canal présente une turbidité moyenne de 3,2 NFU (mini 1,2 ; max. 4,9), parfaitement normale pour une eau superficielle ; les captages AEP, notamment le plus proche du rejet (F2 Bouleternère), ne paraissent pas être affectés.

Le seul -maigre- indice d'incidence pourrait être constitué par la valeur de 0,36 NFU sur le puits P3bis de Ille-sur-Têt, en-deçà de la limite de qualité pour les eaux destinées à la consommation humaine.

Voir bulletins d'analyse **en annexe 9**

4 ANALYSE ET DISCUSSION

4.1 SYNTHÈSE

Les principales conclusions des observations et mesures :

1. La recharge est nettement ressentie sur les 4/5 de la terrasse d'Ille-sur-Têt ; elle se traduit par une augmentation du débit des sources et une remontée piézométrique sans, semble-t-il, de restitution directement dans le Boulès à l'aval.
2. Elle n'est pas perçue sur la pointe Est de la terrasse à Millas ; constat cohérent avec la direction générale des écoulements -SW/NE-, laissant à l'écart le secteur de rive gauche du Boulès à Millas.

3. Amplitude :

500 l/s pendant 6 semaines (moins 1 journée) représentent 1.775.000 m³ d'eau; ce volume réparti sur les 19 km² de la terrasse aquifère correspondrait à une lame d'eau de l'ordre de 9 à 10 centimètres. En tenant compte de la porosité (9 %) la remontée piézométrique globale, uniformément répartie sur l'ensemble de l'aquifère (en le supposant totalement clos, sans sorties), serait de l'ordre de 1 m.

Valeur évidemment sans véritable réalité hydrogéologique mais seulement destinée à fixer un ordre de grandeur des dimensions en jeu.

Sur le terrain, la recharge s'est traduite avec une amplitude très variable selon les secteurs : max. de 1,95 m à l'Embega de la Negra à Ille-sur-Têt (réf. Syndicat Mixte : 4840) à 3,7 km du projet et 350 m RD du Boulès.

Il est intéressant de noter que le puits de l'ASA de S^{te}-Anne (réf. Syndicat Mixte : 2978), en bordure immédiate du Boulès, un des ouvrages les plus proches du point de rejet (1,1 km) réagit avec une amplitude bien moindre (0,30 m) que des ouvrages situés à des distances plus grandes de la lâchure et plus éloignés du cours d'eau.

4. Déphasage :

Variable selon la distance au point de rejet.

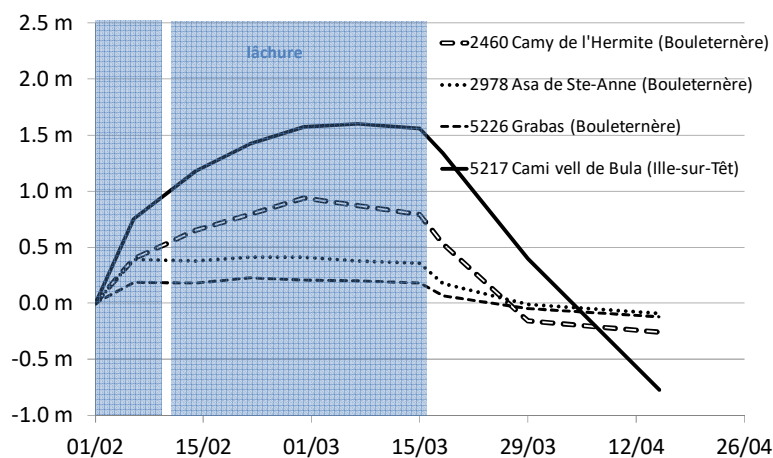
Réponse rapide (moins d'une journée) pour les ouvrages les plus proches ; voire très rapide (40 mn pour le puits de l'ASA de Ste Anne !).

En partie aval, vers Néfiaich, le début de la recharge n'est décelé que 5 à 6 semaines après la lâchure.

Inversement l'interruption des rejets dans le Boulès est immédiatement ressentie à Bouleternère, tandis qu'elle n'est toujours pas perçue à Néfiaich 1 mois après l'arrêt des apports.

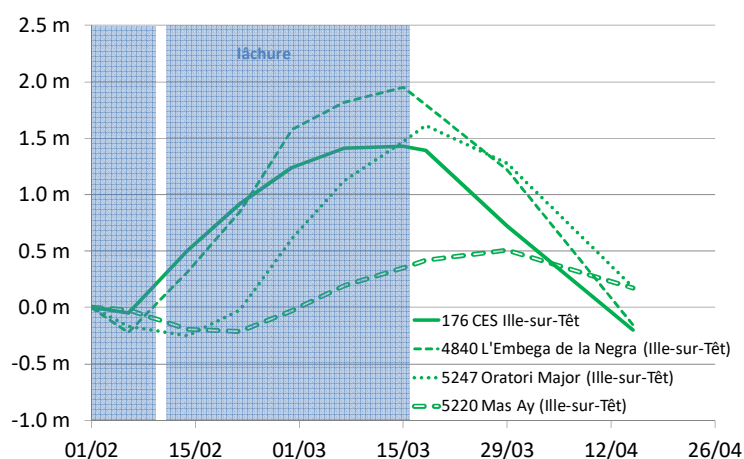
Les insertions graphiques ci-dessous proposent des représentations de situations "type" avec des amplitudes et déphasage variables.

En ordonnées : variation piézométrique cumulée -en mètres- par rapport au niveau statique avant lâchure, ramené à une même cote (0,0 m) de façon à rendre plus lisibles les comparaisons entre ouvrages.



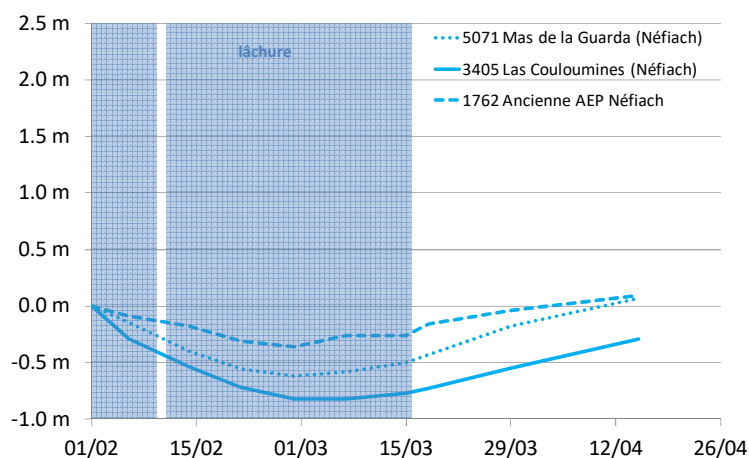
Bouleternère et partie SW (amont) d'Ille-sur-Têt :

ouvrages répondant rapidement à la lâchure et avec une amplitude variant entre 0,23 m (Grabas) et 1,6 m.



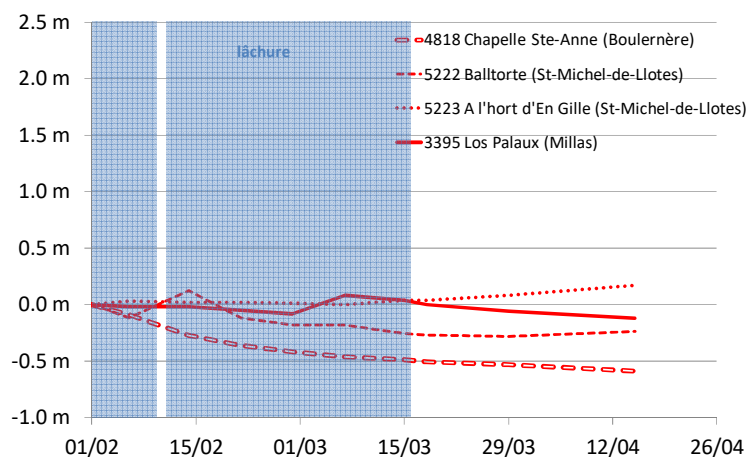
Ille-sur-Têt :

ouvrages répondant avec un léger différé de 1 à 3 semaines.



Plus en aval encore :

réponse après plus de 4 semaines.



Ouvrages peu/pas sensibles à la lâchure :

- 4818 en amont du point de rejet ;
- 5222, 5223 : au débouché du Gimenell et en position latérale de la terrasse objet du suivi ;
- 3395 : le plus en aval des points d'observations et sans doute à l'écart des écoulements principaux.

4.2 LIMITES DE LA NAPPE

Le suivi des points d'observation permet de préciser/confirmer les contours de l'aquifère. En particulier :

- En amont du verrou du Mas Saunier :

Les contours de la terrasse alluviale, globalement parallèles à la Têt dessinent une nette incision d'environ $\frac{1}{2}$ km² vers le Mas Saunier, 1 km au NE de Bouleternère-centre village. Voir **figure hors texte 1**.

Cette irrégularité est attribuée à la présence du substrat paléozoïque -dont la carte géologique signale un discret affleurement- recouvert par un lambeau de terrasse ancienne. Elle confère un certain confinement au secteur en amont et explique les valeurs plus élevées des conductivités des captages Camy de l'Hermitte à Bouleternère (réf. Syndicat Mixte : 2460) et la fontaine S^t-Jules (S1) depuis le pôle conducteur de la Chapelle S^{te}-Anne (réf. Syndicat Mixte : 4818) resté hors influence de la recharge, en amont de celle-ci. L'ex-AEP de Bouleternère (réf. Syndicat Mixte : 772) est par contre plus sensible aux apports du Boulès.

Le puits Grabas (réf. Syndicat Mixte : 5226) en limite de terrasse présente également une réponse positive à la recharge, mais très ténue.

- Au débouché du Gimenell :

Malgré l'absence totale d'écoulement en surface, le Gimenell contribue à l'alimentation souterraine de la terrasse objet de l'étude : isopièzes déformées, minéralisation légèrement plus importante des 3 puits les plus proches.

4.3 RELATION BOULÈS NAPPE ALLUVIALE

La question des relations entre le Boulès et la nappe alluviale mérite un examen particulier. Y a-t-il continuité entre le cours d'eau et l'aquifère ? Le Boulès fonctionne-t-il comme un oued c'est-à-dire qu'il collecte les eaux de ruissellement et recharge la nappe mais reste déconnecté de celle-ci ?

4.3.1 TÉMOIGNAGES ET HISTORIQUE

Le Boulès est reconnu comme sec la plus grande partie de l'année ; il n'est en charge sur la totalité de son cours, entre Bouleternère et la confluence avec la Têt, que brièvement à l'occasion des épisodes pluvieux les plus importants.

En période humide "ordinaire", les écoulements se perdent entre Bouleternère et Ille-sur-Têt. En période sèche, le village de Bouleternère n'est même pas touché.

4.3.2 RÉPONSE DU COURS D'EAU À L'ESSAI

Le profil en long du Boulès est établi à partir des données cartographiques (Ign et géoportail) confortées par un lever topographique du lit du cours d'eau en des points caractéristiques (passages à gué, ponts).

Ce profil est comparé à la piézométrie de la nappe sous la rivière en 2 états différents : veille de la lâchure (campagne 2) et veille de l'arrêt de la lâchure (campagne 8).

Voir **fig. hors texte 5**.

Cette représentation fait ressortir :

- le quasi affleurement de la nappe alluviale dans le lit du Boulès dans le secteur du puits de l'Asa de S^{te}-Anne (réf. Syndicat Mixte : 2978) avant le début de l'opération, alors que le cours d'eau est à sec. Ce constat explique la relative faible réponse du puits à la recharge : la nappe se gonfle sur quelques décimètres jusqu'à atteindre la cote du fond du lit qui agit alors comme une limite à potentiel imposé et évacue les écoulements ; le niveau piézométrique évolue ensuite alors très peu.
- Ce schéma est cohérent avec les observations rapportées au §42 ci-dessus relatives au verrou du Mas Saunier. Le substrat paléozoïque imperméable est proche de la surface (ponctuellement affleurant près du Mas) ; dès que le niveau d'eau est rehaussé de quelques décimètres le lit de la rivière est atteint.
- la rehausse du niveau statique perçue sur 6 km environ au terme des 6 semaines de recharge, constat fait par ailleurs sur les puits.
- la profondeur du niveau statique sous le lit du Boulès en partie centrale : entre 4 et 5 m. Dans ce tronçon, même en imaginant une recharge plus longue et de débit plus élevé, il est peu probable que s'établisse une continuité entre la nappe et le cours d'eau. Les rares périodes où ce secteur est en eau correspondent à une évacuation du ruissellement, déconnecté de l'aquifère.
- l'affleurement de la nappe alluviale à l'approche de la confluence avec la Têt. Peu ou pas de différence piézométrique entre les 2 campagnes. Ce point est abordé au § 433 ci-dessous.

4.3.3 LE BOULÈS À MILLAS

Il est apparu assez rapidement au cours de l'étude, et malgré les différentes arrivées d'eau superficielles (rejets canaux d'irrigation) qui "parasitaient" les observations, que le Boulès en aval ne présentait pas d'accroissement significatif du débit. En d'autres termes, les 500 l/s introduits à Bouleternère ne ressortent pas à Millas.

Par contre, les prospections dans le lit du cours d'eau ont permis de distinguer très clairement, d'une part, des eaux de rejet des canaux d'irrigation (moins de 10°C, moins de 150 µS/cm) et, d'autre part, des eaux nettement plus chaudes (entre 13 à 15°C) et plus minéralisées (> 200 µS/cm).

Il s'agit de venues très circonscrites : précisément au point B12 de la fig.2, immédiatement en aval rive gauche du passage à gué situé entre le pont de la voie ferrée et le pont de la D916.

Ces observations sont parfaitement cohérentes avec le schéma déduit de la fig. 5 (§ 432 ci-dessus) : à Millas, l'écoulement pérenne du Boulès correspond à l'affleurement de nappe alluviale ; c'est l'unique secteur du cours d'eau où il y a continuité permanente entre la rivière et l'aquifère.

5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le déversement d'eau depuis canal de Corbère dans le Boulès, à raison de 500 l/s pendant 6 semaines a provoqué une réponse très nette de l'aquifère de la terrasse quaternaire d'Ille-sur-Têt.

Sur le plan hydrodynamique l'impact est :

- rapide -moins d'une semaine- de Bouleternère à Ille-sur-Têt ; il est encore ressenti vers Nésiach 4 semaines après l'arrêt des apports ;
- d'amplitude variable ; l'éloignement du point d'eau par rapport à la lâchure influant peu (des puits d'un même secteur montrent des réponses très différentes). La proximité et la morphologie du substrat imperméable servant de support à la nappe jouent certainement un rôle, comme par exemple autour du puits de l'Asa de S^{te}-Anne où l'affleurement temporaire de la nappe limite l'exhaussement piézométrique, le Boulès jouant alors un rôle de drain.

Le suivi a permis de confirmer que la zone où le cours d'eau devient pérenne à Millas correspond à l'affleurement de la nappe alors que sur le reste de son cours amont, la rivière est déconnectée de l'aquifère.

La totalité de l'eau de la lâchure participe à la recharge de la nappe alluviale et ne semble pas restituée en aval directement dans le Boulès ou, si c'est le cas, dans des proportions indétectables en termes quantitatifs.

Sur le plan qualitatif, la recharge s'accompagne d'un adoucissement et refroidissement de l'eau de l'aquifère, bien perceptible sur certains ouvrages, moins sur d'autres en raison de conditions locales comme par exemple la proximité de canaux d'irrigation en charge. Par ailleurs, il n'a pas été constaté de dégradations de la qualité des captages AEP, ni sur l'aquifère quaternaire ni sur le Pliocène.

Effectuées dans un contexte de -relatives- hautes eaux, les observations seraient à confirmer dans une configuration hydroclimatique plus sévère ; les réponses en amplitude et déphasage pourrait être modifiées.

En l'état actuel des connaissances, l'utilisation de la recharge comme outil de gestion quantitative paraît fondé. Dans les conditions de l'essai, il serait par exemple possible de pallier les déficits en eau à condition d'anticiper de 3 à 4 semaines les éventuels manques du secteur Ille-sur-Têt/Nésiach, moins d'une semaine ceux de Bouleternère.

—