

Etude hydrogéologique d'essai de recharge artificielle de nappe dans la vallée de la Têt



Contact :
Lucie MEMBRADO
20 rue Professeur Langevin – B.P. 83
66600 RIVESALTES

Tél. : 04.68.68.00.38.
Fax : 04.68.68.41.49.

Sommaire

I. Introduction	1
II. Contexte général de l'étude	3
1. Présentation du territoire	3
1.1. Contexte géographique	3
1.2. Un secteur sollicité pour le prélèvement d'eau souterraine	5
2. Contexte physique	6
2.1. Contexte géologique	6
2.2. Contexte hydrogéologique	8
2.2.1. La plaine du Roussillon	8
2.2.2. Spécificité locale du secteur d'étude	8
2.3. Contexte hydrologique	9
2.3.1. La Têt	9
2.3.2. Le canal de Perpignan	9
2.3.3. Le Boulès	9
III. Programme de l'étude	11
1. Mise en œuvre de l'étude	11
1.1. Période de l'étude	11
1.2. Durée de l'étude	11
1.3. Localisation du lâcher	11
1.4. Localisation des ouvrages	12
2. Débit du lâcher	15
3. Calendrier de l'étude	16
3.1. Début et fin de l'étude	16
3.2. Campagne de mesures	16
IV. Données acquises au cours de l'étude	17
1. Données pluviométriques	17
2. Débit du lâcher	18
2.1. Données acquises lors des interventions sur le terrain	18
2.2. Données issues des enregistreurs	18
2.3. Coupure des lâchers au cours de l'étude	19
3. Suivi des débits du Boulès	20
4. Suivi des débits de la Fontaine de Millas	22
5. Suivi des ouvrages	24
5.1. Les niveaux piézométriques	24
5.1.1. Mesures en continu	24
5.1.2. Comparaison à l'historique du suivi piézométrique de l'ouvrage C2.1	28
5.1.3. Mesures de terrain	30
5.2. La température	33
5.2.1. Mesures en continu	33
5.2.2. Mesures de terrain	35
5.3. La conductivité	38
5.3.1. Mesures en continu	38
5.3.2. Mesures de terrain	40

5.3.3.	Analyse spatiale des conductivités des ouvrages	44
5.4.	Les analyses chimiques	48
5.5.	Conclusion	49
V.	Les cartes piézométriques du Quaternaire	50
1.	Présentation	50
2.	Interprétations des cartes piézométriques	50
2.1.	Sens d'écoulement de la nappe	50
2.2.	Le gradient hydraulique	57
2.3.	Comparaison à différentes dates	58
2.4.	Les vitesses de transfert	63
VI.	Influence sur les forages AEP	64
1.	Les volumes pompés durant l'étude	64
1.1.1.	Rappel des situations hydrologiques	64
1.1.2.	Les volumes AEP pompés durant l'étude	64
VII.	Bilan sur la recharge artificielle	67
1.	Conclusion sur l'expérimentation	67
2.	Les perspectives	67
VIII.	Bibliographie	68
IX.	Liste des figures, tableaux et cartes	69

I. Introduction

La plaine du Roussillon s'est formée lors de transgressions et régressions marines. Ces variations du niveau de la mer ont permis le dépôt de sables et d'argiles (Pliocène).

Pendant la période du Quaternaire, les rivières ont creusé des vallées dans les sédiments du Pliocène en formant ainsi des terrasses alluviales successives et étagées.

Les formations alluviales quaternaires et pliocènes de la plaine du Roussillon constituent un système aquifère puissant.

Il permet d'alimenter en eau potable 98 % de la population de la plaine et de répondre aux besoins des activités économiques du territoire que sont l'agriculture, l'industrie et aussi la population touristique.

Le système aquifère est composé de 2 unités principales :

- des nappes peu profondes, présentes dans les alluvions actuelles et anciennes des cours d'eau traversant la plaine : les nappes du Quaternaire ;
- des nappes plus profondes, généralement isolées de la surface par des écrans argilo-sableux : les nappes Pliocène.

Ce système aquifère constitue les nappes plio-quaternaire.

Les prélèvements pour l'alimentation en eau potable s'effectuent principalement dans les nappes du Pliocène.

Ces forts prélèvements entraînent depuis une trentaine d'années une baisse générale du niveau de ces nappes.

Les dernières études réalisées¹ indiquent qu'il n'est plus envisageable de prélever davantage dans les nappes Pliocène et qu'il est nécessaire de baisser les prélèvements sur la bordure côtière, lors de la période estivale.

Les nappes du Quaternaire, en revanche, ne montrent pas de déséquilibre quantitatif (*source : SAGE des nappes du Roussillon*).

En 2015, le Syndicat Mixte des Nappes de la Plaine du Roussillon a initié une étude permettant d'optimiser l'utilisation de ces ressources aquifères afin de sécuriser les besoins futurs tout en minimisant les coûts d'investissement et de fonctionnement.

Parmi les solutions envisagées, une recharge artificielle des nappes quaternaires dans le secteur de la vallée de la Têt (entre Ille sur Têt et Saint Féliu d'Amont) a été retenue.

En effet, les alluvions anciennes en rive droite de la Têt disposées entre les communes d'Ille sur Têt et de Saint-Féliu d'Amont sont le siège de nappes particulièrement productives.

(D'ailleurs, cette zone fait l'objet de nombreux prélèvements AEP, notamment pour la ville de Perpignan).

La recharge artificielle se fera avec les eaux de la Têt via par le canal de Perpignan. Elles seront relâchées dans le Boulès pendant une durée de 3 mois.

Cette étude a pour objectif d'étudier la possibilité d'une recharge artificielle permettant :

- De favoriser l'augmentation de la capacité de prélèvements des nappes quaternaires pour l'alimentation en eau potable ;
- De permettre la recharge des nappes pliocènes dans un secteur où ces dernières sont en « lien » avec les nappes quaternaires.

Pour connaître l'impact quantitatif et qualitatif d'une recharge artificielle des nappes plio-quaternaires sur le secteur, plusieurs campagnes de mesures hebdomadaires ont été réalisées pour récolter des données hydrologiques, hydrochimiques et hydrogéologiques sur la zone d'étude et sur les points définis par le maître d'ouvrage.

Les données recueillies permettent de caractériser l'état quantitatif et qualitatif des nappes avant, pendant et après le lâcher.

¹ Etude d'évaluation des volumes prélevables des nappes Plio-quaternaires de la Plaine du Roussillon (2013 à 2015)

II. Contexte général de l'étude

1. Présentation du territoire

1.1. Contexte géographique

La zone d'étude se localise à environ 16 km à l'Ouest de la ville de Perpignan, entre Ille-sur-Têt et Saint-Feliu d'Amont.

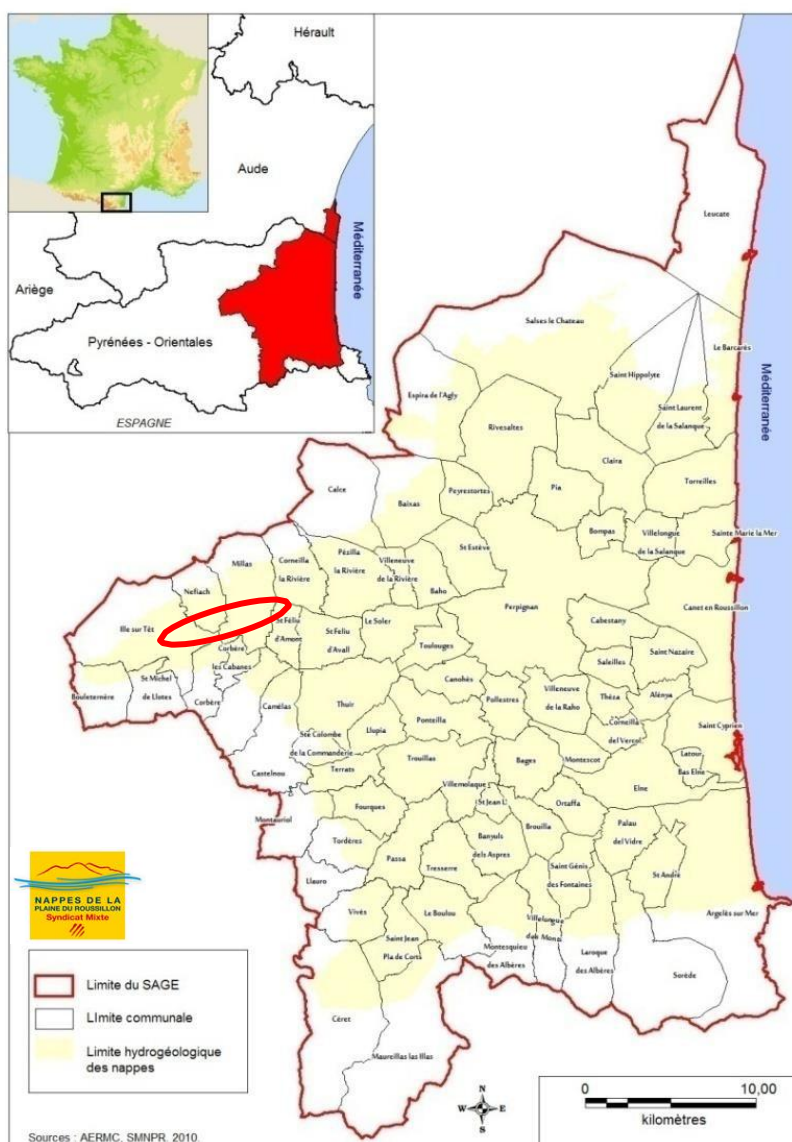
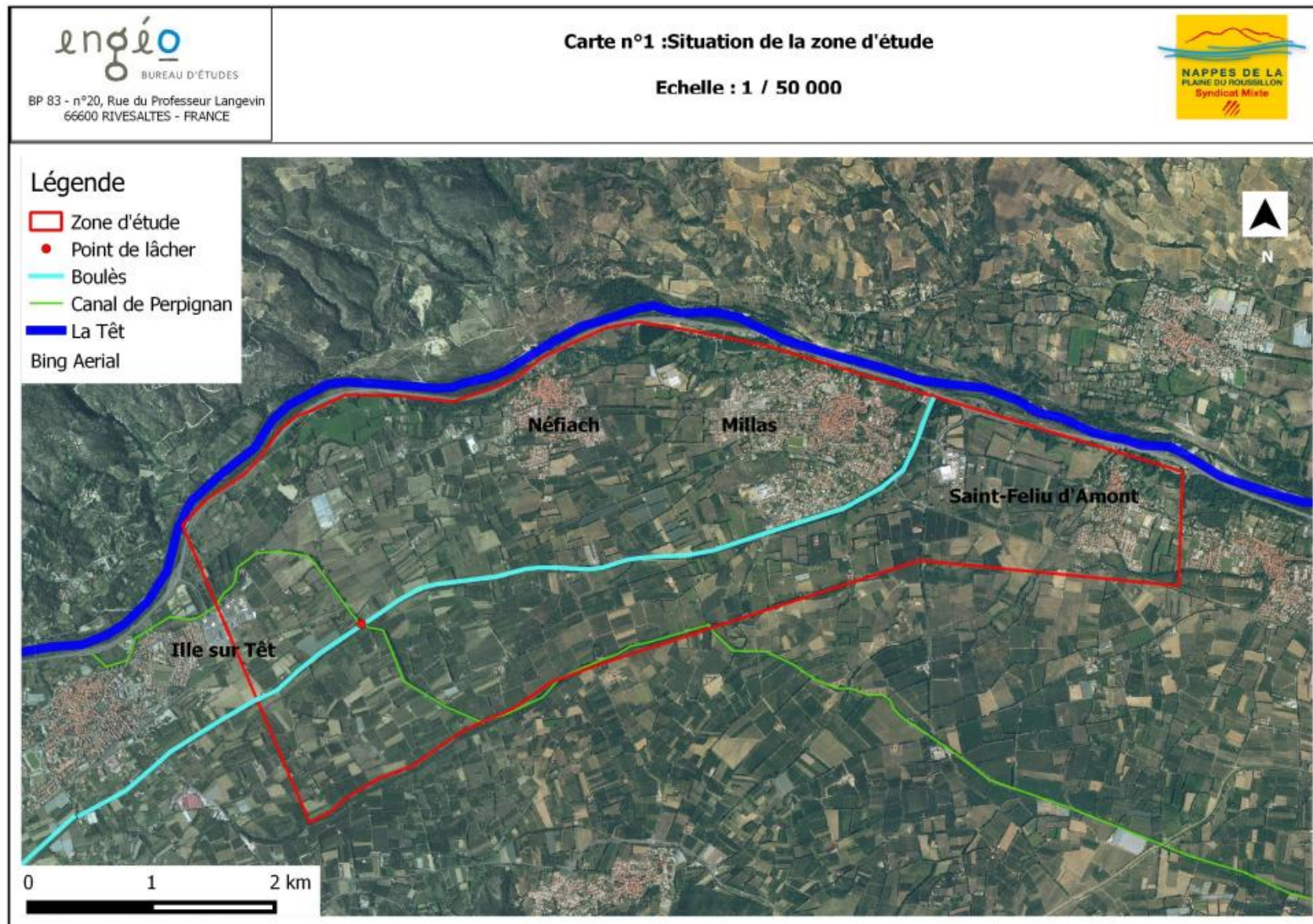


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude

Carte 1 : Situation de la zone d'étude



1.2. Un secteur sollicité pour le prélèvement d'eau souterraine

Les alluvions anciennes de la Têt en rive droite entre les communes d'Ille sur Têt et de Saint Féliu d'Amont contiennent des nappes particulièrement productives.

Ces nappes peu profondes font l'objet de prélèvements importants pour l'alimentation en eau potable.

Le secteur est aussi marqué par une activité agricole importante utilisant de nombreux systèmes d'irrigation :

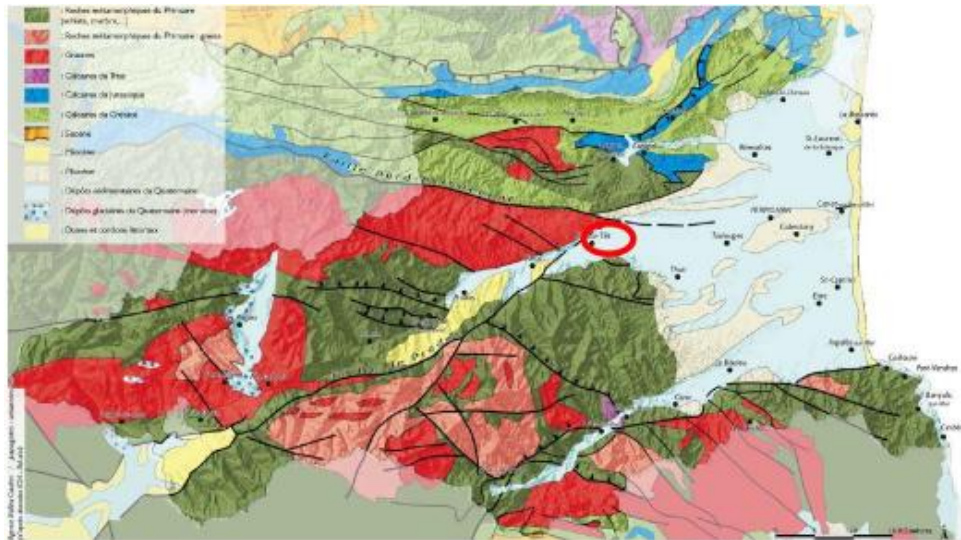
- Irrigation par les forages (quantité d'eau non comptabilisée) ;
- Irrigation par les canaux (prélèvement dans la Têt) d'avril à octobre.

Les eaux souterraines sont fortement sollicitées sur ce secteur géographique.

2. Contexte physique

2.1. Contexte géologique

Le secteur d'étude est localisé à l'est du département des Pyrénées-Orientales, dans la plaine du Roussillon et plus particulièrement dans la vallée de la Têt en rive droite, entre Ille-sur-Têt et Saint-Feliu d'Amont.



**Figure 2 : Carte géologique schématisée des Pyrénées-Orientales
(source : DREAL Languedoc Roussillon)**

La plaine du Roussillon est un vaste bassin sédimentaire qui s'est formé dans un fossé d'effondrement limité au Nord par la faille de Prades et au Sud, celle des Albères, suite à l'ouverture du golfe du Lion.

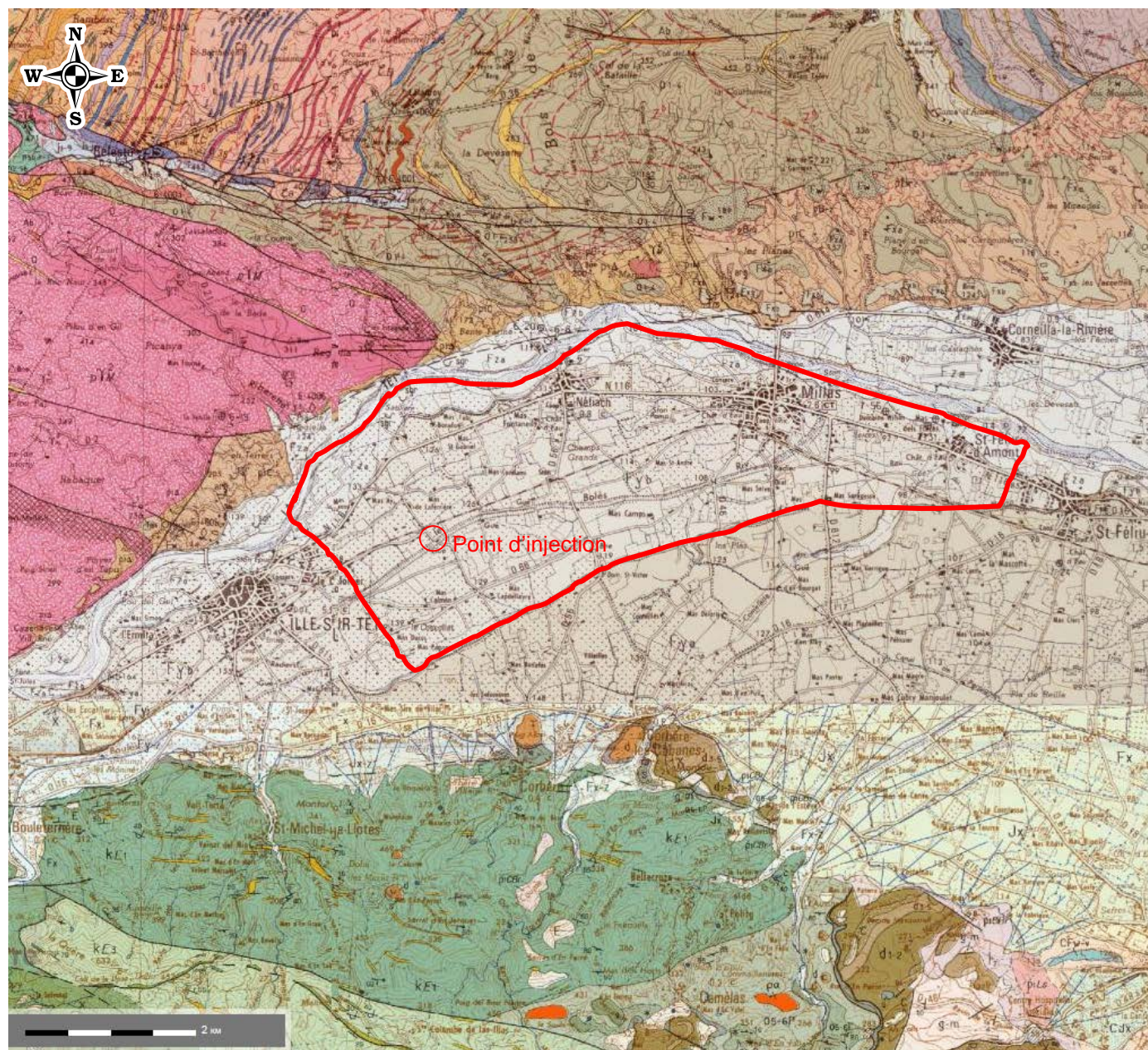
Les mers du Miocène (-6 MA) puis du Pliocène (-3,5 MA) vont y déposer des sédiments. Les ancêtres de la Têt et du Tech creusent des vallées profondes dans les sédiments de la mer du Miocène. Puis la mer du Pliocène recouvre la plaine et envahit les vallées y déposant des sédiments marins, alors que des dépôts continentaux s'accumulent lorsqu'elle se retire pour combler le fossé d'effondrement.

Durant le Quaternaire (de -1,65 millions d'années à nos jours), les cours d'eau qui dévalent des reliefs creusent leurs vallées au travers des couches de sédiments du Pliocène en composant des terrasses alluviales.

Carte 2 : Extrait de la carte géologique

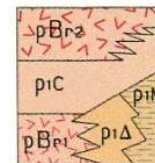
CARTE N°2- EXTRAIT DE LA CARTE GEOLOGIQUE

SOURCE : BRGM, 1090, RIVESALTES



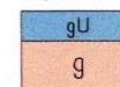
CÉNOZOÏQUE

Pliocène inférieur (Zancéen)



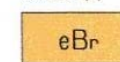
- pBr2 - Brèches supérieures (Força-Real)
- pBr1 - Brèches inférieures (Baixas)
- p1C - Faciès continental : limons et marnes concrétionnées
- p1Δ - Faciès deltaïque : sables, graviers, galets
- p1M - Faciès marin : marnes bleues, sables arkosiques

Oligocène



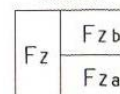
- gU - Travertin du Mas de la Fouradade
- g - Formations de Paziols - Estagel et d'Espira-de-l'Agly

Éocène (?)

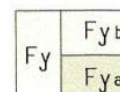


- eBr - Brèches post-albiennes

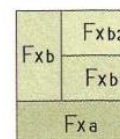
Alluvions



- Fz - Alluvions holocènes indifférenciées
- Fzb - Alluvions actuelles
- Fza - Alluvions récentes, basse terrasse



- Fy - Alluvions anciennes des moyennes terrasses (Würm)
- Fyb - Alluvions de la terrasse de Rivesaltes - Ile-sur-Têt
- Fya - Alluvions de la terrasse de Toulouges



- Fxb - Alluvions anciennes de la terrasse de Liabonère (Riss)
- Fxb2 - Niveau le plus récent
- Fxb1 - Niveau le plus ancien
- Fxa - Alluvions anciennes de la terrasse de Peyrestortes (Mindel)



- Fw - Alluvions de la très haute terrasse de Poc Calbeil-Mas Ferréol (Günz probable)



- Zone d'étude

2.2. Contexte hydrogéologique

2.2.1. La plaine du Roussillon

Deux types d'aquifères se trouvent dans la plaine du Roussillon servant de réservoirs d'eau souterrains :

- Les **nappes du Quaternaire** : elles se situent dans les alluvions actuelles ou anciennes des cours d'eau du Roussillon (essentiellement Agly, Têt et Tech). De fait, elles ne sont pas présentes sur l'ensemble de la plaine mais dans les vallées alluviales et sur la bordure littorale (plaine de la Salanque et de l'Illobès). Situés dans les alluvions des cours d'eau, ces nappes sont proches de la surface (quelques mètres) et généralement peu épaisses (rarement supérieures à 20 m sauf en bordure littorale).
- Les **nappes du Pliocène** : ces nappes peuvent atteindre plus de 200 m de profondeur. Elles se caractérisent par des lentilles sableuses prises dans une matrice argileuse. Ces nappes s'écoulent d'ouest en est (en direction de la méditerranée). Elles sont captives sur toute leur partie aval (voir artésiennes dans certains secteurs et à certaines périodes de l'année). Elles sont alimentées sur leur partie amont par l'infiltration directe des pluies, par certains massifs périphériques et dans certains secteurs par drainance par les nappes du Quaternaire.

Source : Dossier d'autorisation pour l'essai de recharge artificielle de nappe d'eau souterraine par infiltration d'eau dans le Boulès, sur la commune d'Ille sur Têt.

2.2.2. Spécificité locale du secteur d'étude

Sur la partie amont de Saint-Feliu d'Avall on distingue deux terrasses emboîtées (terrasse basse [Fza] et terrasse moyenne [Fyb] et [Fya]). Elles sont le siège de deux nappes alluviales importantes, et très productrices.

Les alluvions de la Têt constituent le réservoir aquifère Quaternaire le plus important de la plaine du Roussillon en terme d'exploitation. Contrairement au Pliocène qui bénéficie d'une grande inertie, la capacité de production des forages AEP sollicitant les nappes du Quaternaire est conditionnée par la période de l'année.

En basses eaux, certains producteurs AEP en difficulté pour leur approvisionnement en eau potable font appel aux ASA d'irrigation pour qu'elles effectuent des lachûres des eaux des canaux dans les affluents de la Têt (le Boulès notamment).

Du fait de la forte perméabilité des alluvions et du caractère libre de la nappe, l'eau s'infiltre très rapidement. Ceci permet un « regain » de la production des ouvrages. Les modalités exactes de ces recharges ponctuelles ne sont pas connues (emplacements précis, durée de recharge, débit, gain réel, etc.).

Cependant, il est important de constater les interactions existantes entre forages et canaux d'irrigation.

Il est courant que certains agriculteurs demandent de décharger de l'eau dans le Boulès pour « recharger la nappe » et ainsi réalimenter leurs forages. Bien que difficile à quantifier, la réalimentation de la nappe par les canaux est donc un fait observé, soit par des échanges physiques liés à la nature du système, soit par des décharges volontaires dans des cours d'eau susceptibles de réalimenter les aquifères.

On note aussi que, malgré la forte exploitation AEP locale, les suivis piézométriques réalisés depuis 2000 sur les piézomètres de Millas (Quaternaire C2-1 et Pliocène C2-2), ouvrages situés dans le même secteur que ces exploitations AEP, ne montrent pas de baisse interannuelle des niveaux piézométriques, ce qui témoigne du fort potentiel de production du secteur.

Contrairement au reste de la plaine du Roussillon, les hautes eaux de ces nappes sont observées en été et les basses eaux en hiver, ce qui montre bien une recharge des nappes par les canaux d'irrigation du secteur qui sont en eau au printemps et en été.

2.3. Contexte hydrologique

2.3.1. La Têt

La Têt prend sa source à 2 500 m d'altitude. Elle draine un bassin versant de plus de 1 500 km² sur 120 km avant de rejoindre la mer Méditerranée entre Sainte-Marie et Canet-en-Roussillon.

Le débit de la Têt présente une forte variabilité, dépendant de la fonte des neiges, des épisodes de sécheresse et du barrage de Vinça.

Le cours d'eau de la Têt a été découpé en plusieurs sous-bassins versants permettant d'extraire des données hydrologiques sur chaque sous-bassin. La prise d'eau du canal de Perpignan sur la Têt se situe au sein du bassin versant BV6.

Sur ce tronçon, le débit réservé à respecter est de 2 m³/s dans la Têt.

2.3.2. Le canal de Perpignan

Le canal de Perpignan² prend son eau dans la Têt en amont de la commune d'Ille sur Têt et rejoint la ville de Perpignan après sa traversée au sein de la plaine.

L'eau du canal est utilisée pour l'essai de recharge artificielle. Elle est lâchée dans le Boulès.

2.3.3. Le Boulès

La recharge artificielle est réalisée par infiltration « naturelle » de l'eau dans les alluvions du Boulès.

Le Boulès prend sa source dans le massif des Aspres, au niveau de la tour de Batère, à 1300 m d'altitude, sur la commune de Saint-Marsal. Il conflue dans la Têt en aval de Millas à 91 m d'altitude. Il a une longueur de 34,5 km et un bassin versant est de 105 km².



Peu de données de débit sont disponibles pour le Boulès.

C'est une rivière qui est presque toujours à sec à partir de Bouleternère. En effet, ce cours d'eau, pérenne dans les formations schisteuses des Aspres, se perd à son arrivée dans la plaine en s'infiltrant dans les alluvions grossières et puissantes.

Le Boulès coule à nouveau à l'aval de Millas, quelques centaines de mètres avant sa confluence avec la Têt.

Figure 3 : Le Boulès au niveau du lâcher (source : ENGEO)
(Alimentation du Boulès par le lâcher)

² La commune de Perpignan est le propriétaire et gestionnaire du Canal

Il existe seulement des données de débit pour l'ancienne station de Casefabre, suivie par la DDAF des Pyrénées-Orientales de 1966 à 1992. Le débit moyen interannuel est estimé à environ 1 965 m³/h sur cette période.

Dans une étude hydrogéologique de 1989-1990 pour la recherche en eau pour la ville de Perpignan, le bureau d'études CERGA, en prenant le constat que la perte du Boulès est totale au niveau du Mas Bernou, considère que ce débit moyen d'environ 2000 m³/h sert à alimenter directement les alluvions de la basse terrasse.

A noter qu'il existe également une station à Ille-sur-Têt, mais elle ne sert pour l'instant uniquement qu'à l'annonce des crues (mesures de hauteur disponibles, mais pas de débit).

III. Programme de l'étude

1. Mise en œuvre de l'étude

1.1. Période de l'étude

L'essai de recharge artificielle a été prévu pour la période de décembre à mars. Durant cette période, l'irrigation est moins importante, permettant ainsi de limiter le prélèvement sur la Têt. De plus, pendant cette période les nappes plio-quaternaires sont en basses eaux.

Le débit de la Têt doit aussi être suffisant pour permettre la réalisation de l'étude.

1.2. Durée de l'étude

L'étude a durée 3 mois (travail de terrain).

Le lâcher des eaux du Canal de Perpignan dans le Boulès s'est déroulé du 20 décembre 2016 au 15 mars 2017.

Les données ont été recueillies du 13/12/16 au 29/03/17.

1.3. Localisation du lâcher

Le point d'injection des eaux de la Têt dans le Boulès se fait en amont de la zone d'étude, via le canal de Perpignan.

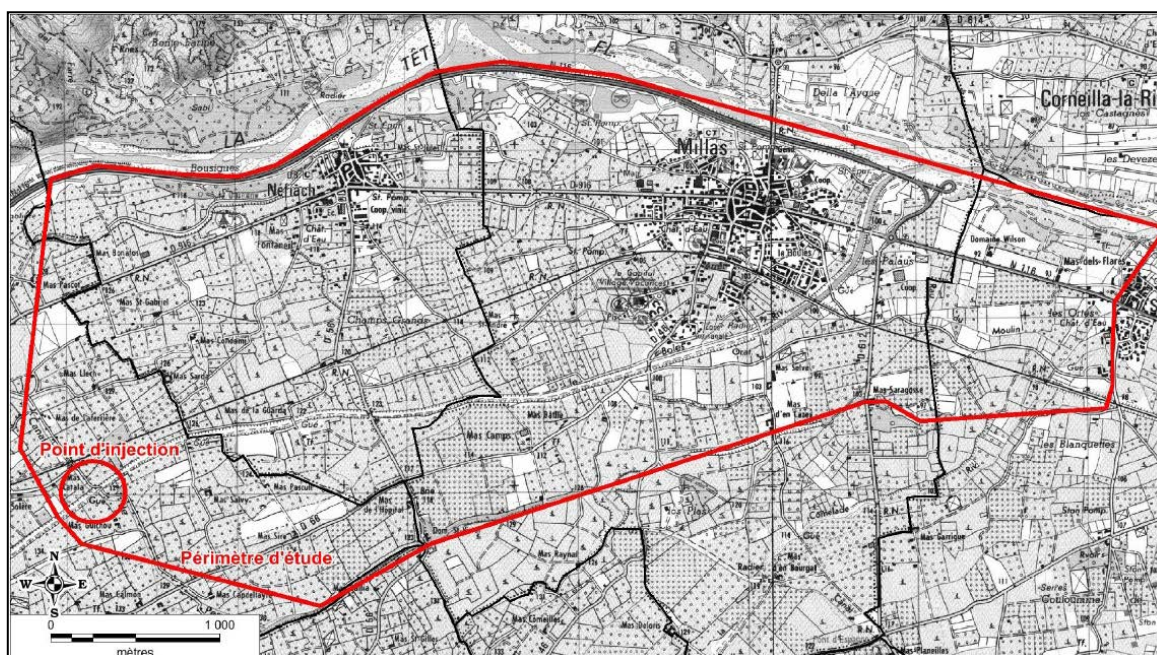


Figure 4 : Localisation de la zone du lâcher



Figure 5 : Vue du lâcher dans le Boulès en eau dû aux pluies

1.4. Localisation des ouvrages

Les ouvrages nécessaires à la bonne réalisation de l'étude ont été recensés par le SMNPR (Syndicat Mixte des Nappes de la Plaine du Roussillon).

Il s'agit de puits et de piézomètres (exploités ou non) pour le suivi piézométrique et de forages AEP localisés de part et d'autre du Boulès (rive droite et rive gauche) pour le suivi qualité.

Les ouvrages (puits/piézomètres) sont répertoriés sous un numéro défini par le maître d'ouvrage et font l'objet d'une fiche d'identité. Il y a :

- 22 ouvrages dans le quaternaire ;
- 3 ouvrages dans le pliocène.

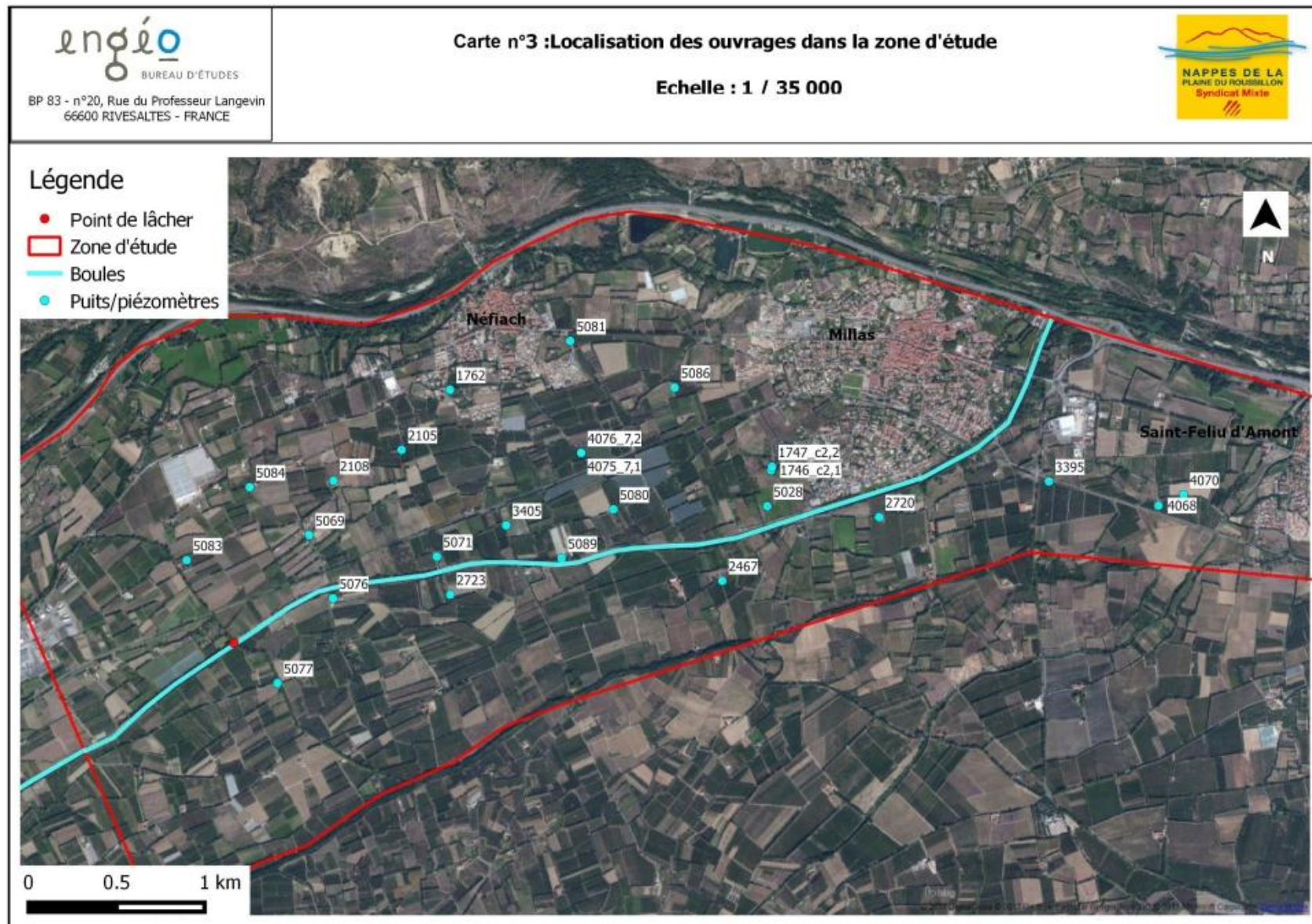
Annexe 1 : Présentation des ouvrages

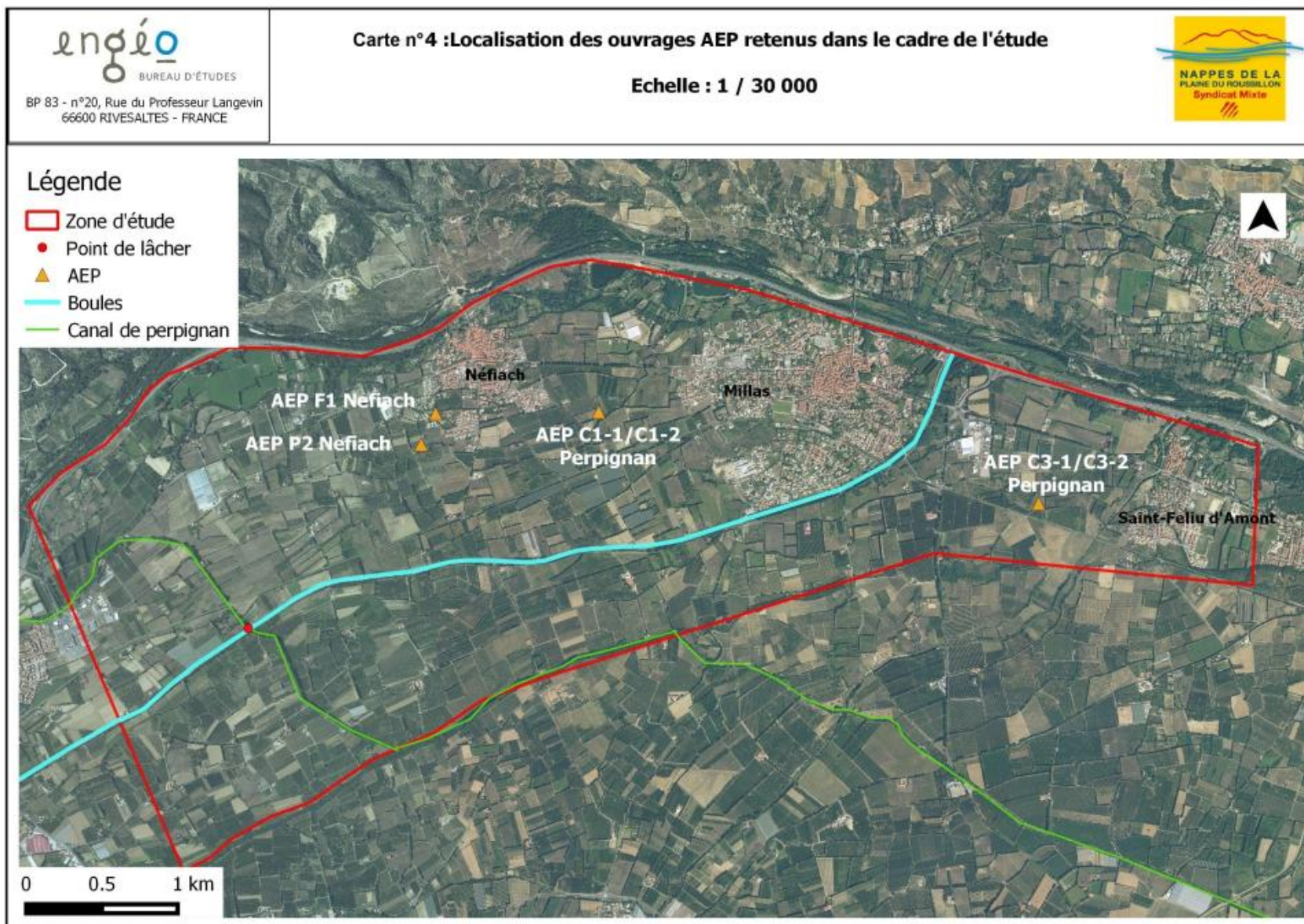
Les ouvrages AEP pour le suivi qualité sont les suivants :

- Forage F1 "Champ Billerach" de Néliach (Pliocène)
- Forage P2 "Champ de Lliriu" de Néliach (Quaternaire)
- Forage Millas C1-1 (AEP de Perpignan – Quaternaire)
- Forage Millas C1-2 (AEP de Perpignan – Pliocène)
- Forage Saint Féliu d'Amont C3-1 (AEP de Perpignan – Quaternaire)
- Forage Saint Féliu d'Amont C3-2 (AEP de Perpignan – Pliocène)

Au total, ce sont 31 points de mesures dont 25 concernent la nappe du Quaternaire et 6 celle du Pliocène.

Carte 3 : Localisation des ouvrages
Carte 4 : Localisation des ouvrages AEP





2. Débit du lâcher

Le débit du lâcher prévu était de 405 l/s.

Du fait des problèmes engendrés par ce débit (franchissement du gué et impacts sur la ressource en eau superficielle de la Têt), le débit du lâcher a été revu fortement à la baisse à 210 l/s (cf. § IV.2).

A son intersection avec le Boulès, le canal de Perpignan passe le lit du cours d'eau par un système de siphon. Le canal de Perpignan a été cuvelé en amont et aval du siphon permettant la mesure du débit.



Figure 6 : Echelle limnimétrique et sonde de pression

Huit jaugeages « amont et aval » ont été réalisés afin de déterminer les courbes de tarage pour connaître les débits amont et aval du canal de Perpignan.

La mairie de Perpignan qui est gestionnaire du canal a fait installer des capteurs de pression pour suivre en continu le niveau dans le canal en amont et en aval du point du lâcher permettant de connaître par déduction le débit du lâcher.

3. Calendrier de l'étude

3.1. Début et fin de l'étude

L'étude a débuté le 20 décembre 2016 (semaine 51) par le lâcher des eaux du canal de Perpignan dans le Boulès.

Au préalable, 2 campagnes de mesures ont été réalisées pour établir un état « zéro » avant lâcher.

Le lâcher dans le Boulès a pris fin le 15 mars (semaine 11). Une dernière mesure a été réalisée 15 jours après l'arrêt.

3.2. Campagne de mesures

Etat « zéro »

		S50	S51	S52	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
Débit source Millas		X	X		X	X	X	X		X	X	X	X		X		X
Mesure piézo (23 points)		X	X		X	X	X	X		X	X	X	X		X		X
Jeaugage du Boulès à millas		X	X		X	X	X	X		X	X	X	X		X		X
Conductivité	Conductivité 6AEP		X							X					X		X
	Conductivité 23 points + source de Millas + canal de Perpignan	X	X			X	X	X		X	X	X	X		X		X
Prélèvement	Turbidité Canal + 6 AEP		X							X					X		
	Turbidité 6 AEP																X
	Nitrates Canal + 6 AEP		X							X					X		
	Nitrates 6 AEP																X
	Pesticides Canal + 6AEP		X							X					X		
	Pesticides 6AEP																X

Figure 7 : Planning des campagnes de mesures

IV. Données acquises au cours de l'étude

1. Données pluviométriques

Les données pluviométriques proviennent de la station Météo France de Perpignan.

Ces données sont reportées sur les graphiques d'interprétation des résultats réalisés dans ce rapport.

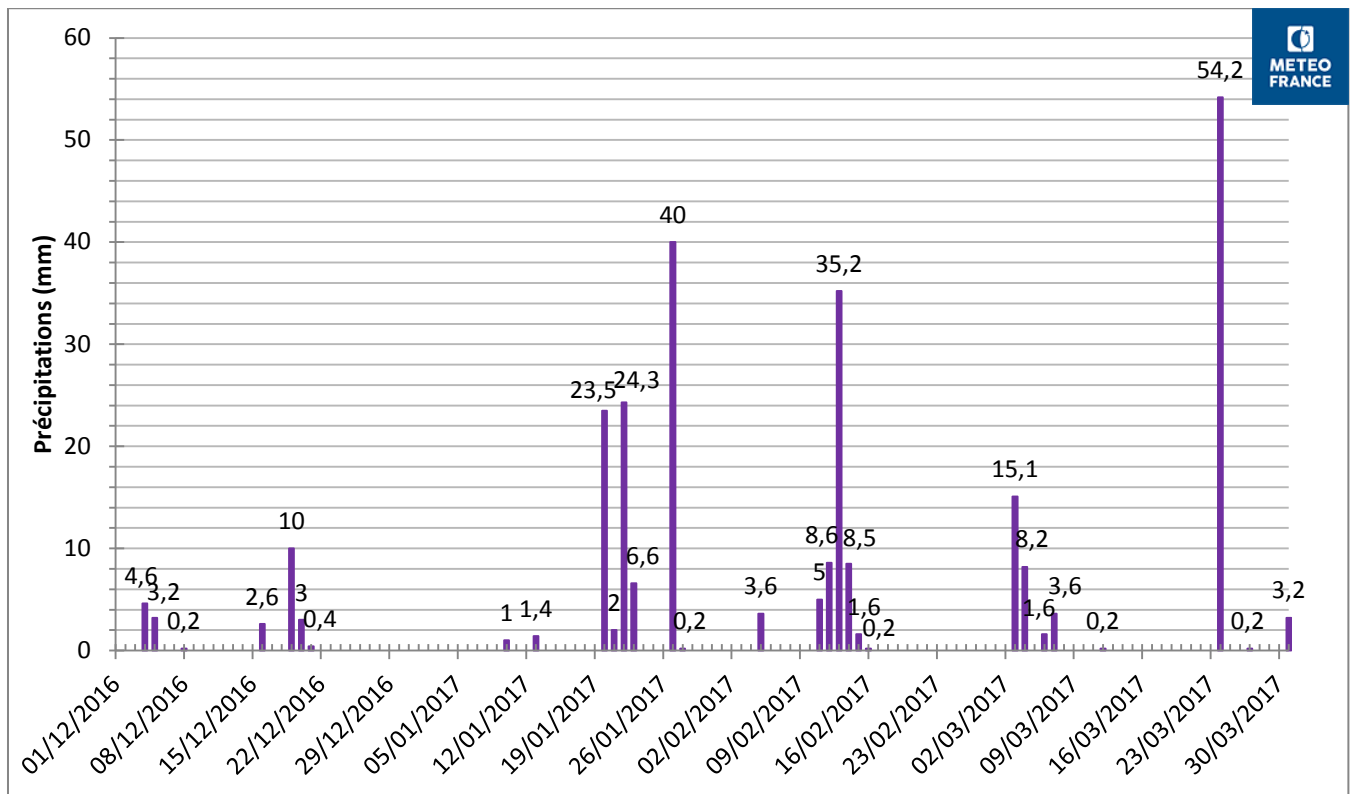


Figure 8 : Données pluviométriques journalières

2. Débit du lâcher

2.1. Données acquises lors des interventions sur le terrain

Le débit du lâcher a été suivi au niveau des échelles limnimétriques placées en amont et aval du point du lâcher depuis le canal de Perpignan.

	Amont	Aval	Débit	
	cm	cm	m ³ /s	l/s
23/12/2017	40	50	0,033	33,13
25/01/2017	70	70	0,246	245,55
20/02/2017	67	67	0,250	249,885
23/02/2017	66	68	0,200	200,176
24/02/2017	58	64	0,109	109,428
02/03/2017	66	68	0,200	200,176
13/03/2017	68	68	0,248	248,44
Débit moyen (l/s) :			209	

Tableau 1 : Débit estimé du lâcher dans le Boulès

Le débit du lâcher moyen était de **210 l/s** dans le Boulès.

Un jaugeage a été réalisé le 13/03/17 dans le Boulès à l'aval immédiat du lâcher pour vérifier les débits déterminés par lecture limnimétrique. Le débit trouvé était de 287 l/s. D'après les courbes de tarages, le débit était de 250 l/s.

Le faible écart entre les deux mesures (soit 15%) permet de valider les courbes de tarage.

2.2. Données issues des enregistreurs

Les relevés de données amont et aval, à partir des sondes enregistreuses du canal de Perpignan permettent théoriquement de connaître en l'instant « t » le débit du lâcher.

Cependant, ces données ont été récupérées en fin d'étude et ne sont pas exploitables. Les sondes ont fortement dérivé rendant impossible toute interprétation.

En effet, le débit du lâcher obtenu par soustraction du débit aval au débit amont, révèle des valeurs négatives et ne correspond pas aux valeurs lues sur les échelles limnimétriques.

Le débit moyen du lâcher retenue est donc de 210 l/s (lecture échelle limnimétrique).

2.3. Coupure des lâchers au cours de l'étude

Pendant l'étude, l'alimentation du canal de Perpignan a été plusieurs fois arrêtée, entraînant ainsi un arrêt du lâcher.

Arrêt du lâcher : cause	Du	Au
Le débit de la Têt était insuffisant (T6)	06/01/2017	13/01/2017
Le débit de la Têt était insuffisant (T6)	17/01/2017	20/01/2017
Chutes d'arbres dans le canal	06/02/2017	08/02/2017
Arrêt car alerte orange pour les orages	13/02/2017	17/02/2017

Tableau 2 : Arrêt et redémarrage du lâcher d'eau dans le Boulès

Durant l'arrêt du 06/01/2017 au 20/01/2017, des tours d'eau avec les différents canaux alimentés par la Têt ont été réalisés car le débit de la Têt était insuffisant pour respecter le débit réservé du BV6. Le tour d'eau pour le canal de Perpignan était du 13/01/2017 au 17/01/2017, au débit de 500 l/s au niveau de la prise d'eau sur la Têt.

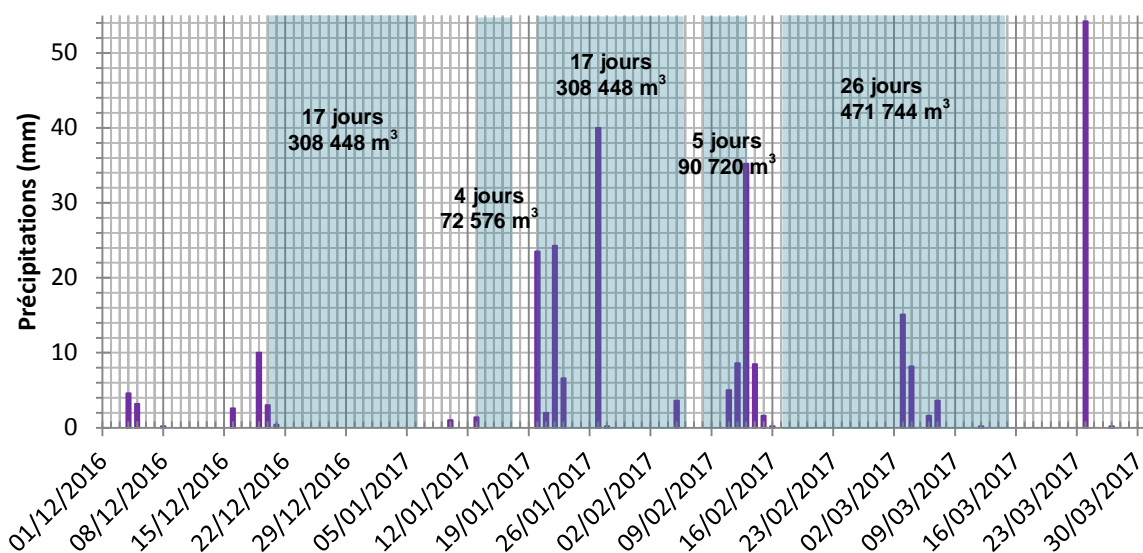


Figure 9 : Volume lâcher dans le Boulès par phase de lâcher (m³)

Sur l'ensemble de l'étude ce sont environ 1 252 000 m³ d'eau cumulés sur 69 jours qui ont été lâchés depuis le Canal de Perpignan dans le Boulès.

3. Suivi des débits du Boulès

13 jaugeages ont été réalisés dans le Boulès au niveau du Pont de Millas.

Date	Numéro du jaugeage	Débit		Section mouillée ³	Vitesse moyenne ⁴
heure de début		(m ³ /s)	(l/s)	(m ²)	(m/s)
13/12/16 11 :00	Etat initial	0,224	224	2,21	0,1
19/12/16 10 :00	Etat initial	0,300	300	2,51	0,12
23/12/16 10 :00	1	0,264	264	3,2	0,08
2/1/17 10 :00	2	0,308	308	6,49	0,05
10/1/17 10 :00	3	0,108	108	2,98	0,04
20/1/17 09 :15	4	0,124	124	2,2	0,06
25/1/17 13 :30	5	0,148	148	1,73	0,09
7/2/17 15 :00	6	0,101	101	1,75	0,06
15/2/17 09 :46	7	1,82	1 820	4,42	0,41
24/2/17 10 :00	8	0,218	218	1,87	0,12
2/3/17 09 :30	9	0,244	244	2,09	0,12
13/3/17 16 :00	10	0,176	176	1,9	0,09
28/03/17 13 :30	Après la fin du lâcher	0,290	290	2,12	0,14

Tableau 3 : Débit du Boulès au niveau du pont de Millas

Le débit du Boulès varie de 100 à 300 l/s durant toute la durée de l'étude, excepté pour le 15/02/17 où le débit atteint 1 820 l/s.

Cette augmentation de débit arrive après un arrêt du lâcher, mais surtout après 5 jours de pluie avec un jour où les précipitations ont été plus importantes (13/02/17 : 35,2 mm).

En amont du point de lâcher, le Boulès n'était pas en eau. C'est seulement après ces pluies, que le Boulès était en eau naturellement ; période durant laquelle, le lâcher a été interrompu.

Le 17/02/2017, le lâcher a pu reprendre lorsqu'en amont le Boulès n'était plus en eau.

Après la première coupure (6/01/17), il semblerait que le débit du Boulès diminue.

Le débit du Boulès a très peu varié durant l'étude ; l'eau injectée s'est en grande partie infiltrée.

³ Section du cours d'eau au point de mesure (en m²), elle est délimitée par le périmètre mouillé et la limite entre l'eau et l'air.

⁴ Vitesse moyenne mesurée sur la section en (m²/s).

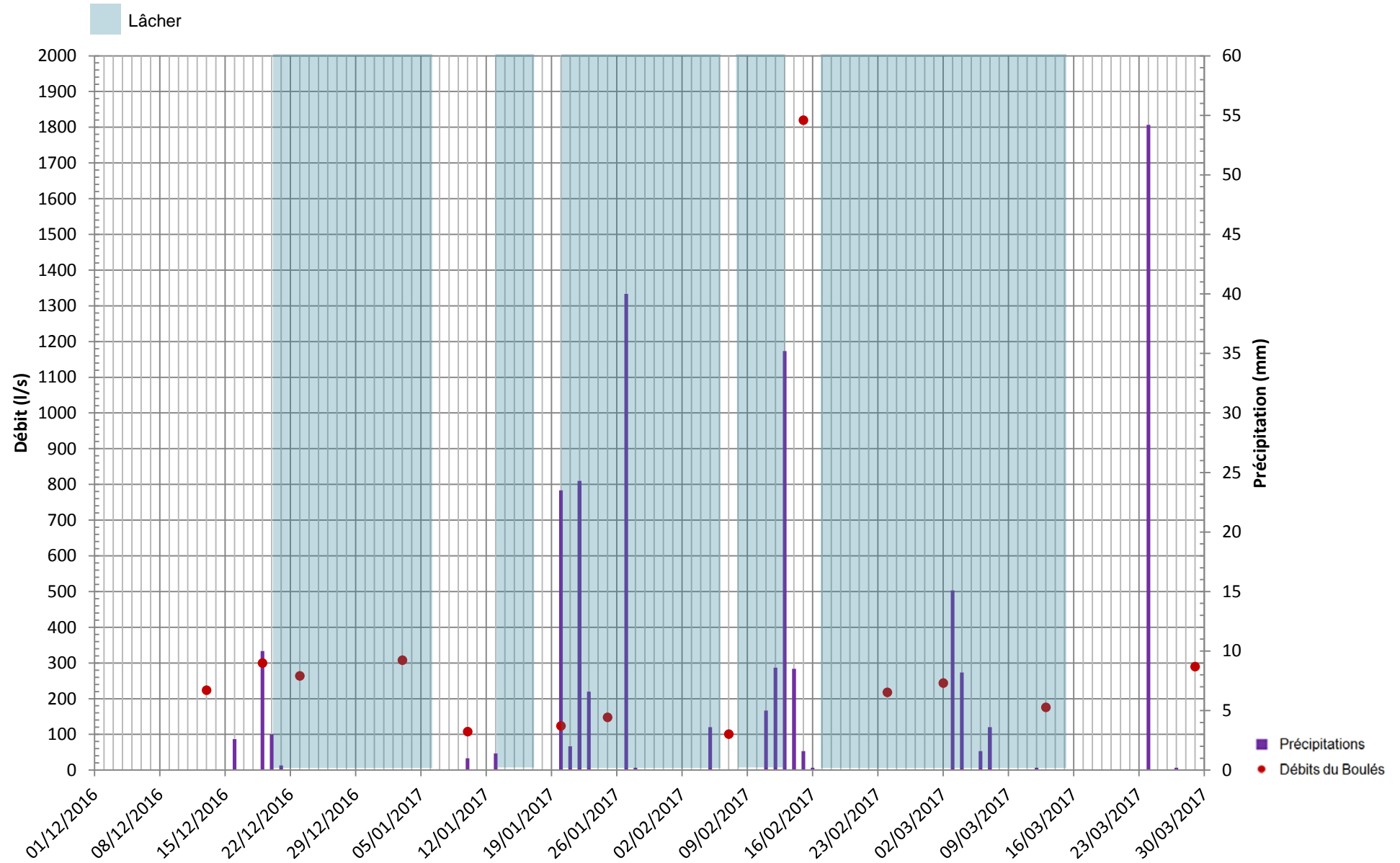


Figure 10 : Variation du débit du Boulès au niveau du pont de Millas

4. Suivi des débits de la Fontaine de Millas

Le débit de la fontaine de Millas évolue globalement de deux façons :

- Une diminution globale du débit de 2,1 l/s du 13/12/16 (2,4 l/s) au 7/02/17 (0,3 l/s) ;
- Une augmentation du débit de 2,4 l/s à partir du 15/02/17 (2,7 l/s) jusqu'au 29/03/17 (5,3 l/s), soit une augmentation de plus de 5 l/s à partir du 07/02/17.

	Débit (l/s)	
13/12/2016	2,4	
19/12/2016	2,3	
23/12/2016	2,2	
03/01/2017	0,7	
10/01/2017	0,5	
20/01/2017	0,2	
25/01/2017	0,8	
07/02/2017	0,3	
15/02/2017	2,7	
24/02/2017	3,1	
02/03/2017	3,4	
13/03/2017	4,1	
29/03/2017	5,3	

} Diminution globale de 1,9 l/s

} Augmentation globale de 5 l/s

Tableau 4 : Débit de la fontaine de Millas (l/s)

Durant les deux premiers lâchers, le débit de la fontaine diminue (du 20/12/16 au 05/01/17 et du 13/01/17 au 17/01/17).

Le 25/01/17, le débit de la fontaine remonte de 0,6 l/s. Il est difficile de savoir si c'est l'épisode de pluie précédent la mesure, qui a permis cette remontée ou le cumul des lâchers au vu de l'éloignement de la fontaine par rapport au point du lâcher (4,5 km).

Il en est de même pour l'augmentation importante du débit du 15/02/17. Il est fort possible que les pluies aient influencé l'augmentation du débit.

Sur la période du dernier lâcher (du 17/02/17 au 15/03/17), le débit de la fontaine augmente. Il est difficile de dire si cette augmentation est due aux pluies ou au cumul des lâchers sur cette période. La mesure du 29/03/17 (après 15 jours d'arrêt du lâcher), ne permet pas de retenir une des hypothèses précédente, venant 5 jours après un épisode pluvieux particulièrement important (54 mm).

Le débit de la fontaine de Millas diminue de 1,9 l/s jusqu'au 07/02/17 pour enfin augmenter de 5 l/s jusqu'au 29/03/17. Les précipitations et le lâcher ont contribué à l'augmentation du débit, mais il est difficile de connaître dans quelles proportions.

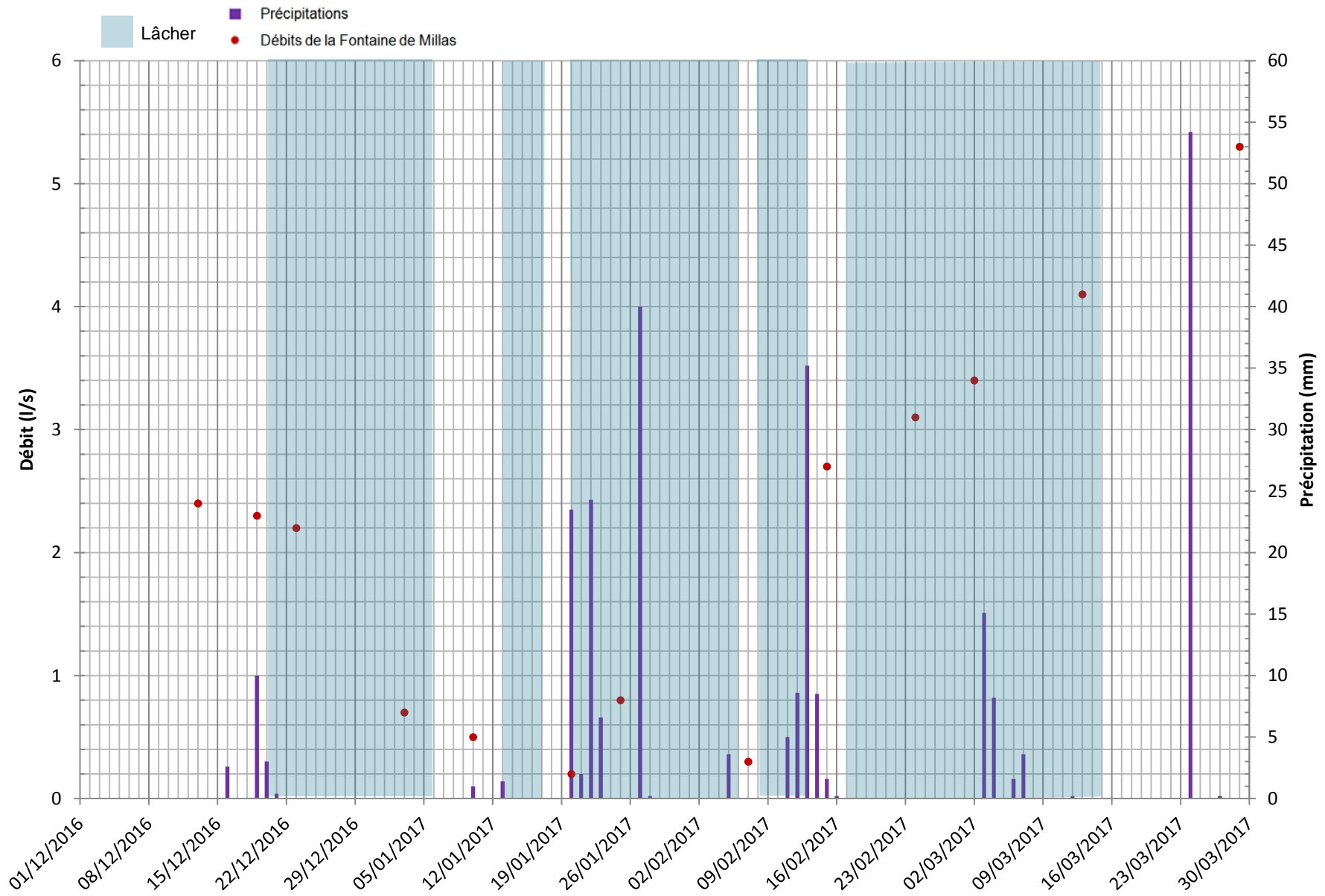


Figure 11 : Evolution du débit de la fontaine de Millas durant l'étude

5. Suivi des ouvrages

5.1. Les niveaux piézométriques

5.1.1. Mesures en continu

Globalement, le niveau piézométrique des ouvrages « stagne » jusqu'au 13/02/17 puis augmente jusqu'à la fin de l'étude (figure 12 et 13).

Quaternaire :

- ✓ Le niveau piézométrique dans l'ouvrage 5071 a augmenté de 0,4 m (jusqu'au 13/02/17) puis de 2,5 m entre le 13/02 et le 29/03. La variation piézométrique entre le début de l'étude et la fin de l'étude est d'environ 2,9 m.
- ✓ Le niveau piézométrique dans l'ouvrage 7.1 a augmenté de 0,35 m (jusqu'au 13/02/17) puis de 2 m entre le 13/02 et le 07/04. La variation piézométrique entre le début de l'étude et la fin de l'étude est d'environ 2,35 m.
- ✓ Le niveau piézométrique dans l'ouvrage C2-1 fluctue autour de 102 m NGF (jusqu'au 13/02/17) puis augmente progressivement de 2 m (104 m NGF). La variation piézométrique entre le début de l'étude et la fin de l'étude est d'environ 2 m.

Pliocène :

- ✓ Le niveau piézométrique dans l'ouvrage 7.2 a augmenté de 0,25 m (jusqu'au 13/02/17) puis de 1,8 m entre le 13/02/17 et le 06/04/17. La variation piézométrique entre le début de l'étude et la fin de l'étude est d'environ 2 m.
- ✓ Le niveau piézométrique dans l'ouvrage C2-2 a diminué de 0,2 m (jusqu'au 13/02/17) puis augmente progressivement de 1,4 m.

Les deux nappes quaternaire et pliocène ont chacune la côte de leur surface piézométrique qui augmente.

L'augmentation du niveau piézométrique est plus élevée pour les ouvrages du Quaternaire que ceux du Pliocène.

L'augmentation du 13/02/17 peut être due au cumul des lâchers et/ou à l'épisode pluvieux particulièrement important précédant cette date. En effet, le Boulès était en eau naturelle dû aux pluies et son débit (1 820 l/s) était bien supérieur à celui du lâcher (210 l/s). L'épisode pluvieux, avec la mise en eau naturelle du Boulès a favorisé la remontée des nappes.

	Distance au point de lâcher	Distance au Boulès	Variation du niveau de la nappe entre le début et la fin de l'étude
5071	1 250 m	82 m	2,9 m
7.1	2 250 m	590 m	2,35 m
7.2	2 250 m	590 m	2 m
C2.1	3 210 m	290 m	2 m
C2.2	3 210 m	290 m	1,4 m

Tableau 5 : Distance des piézomètres au point de lâcher et du Boulès

Les ouvrages 7.1 et 7.2, ainsi que C2.1 et C2.2, sont respectivement localisés au même endroit, mais sollicitent une nappe différente : quaternaire et pliocène.

L'évolution du niveau piézométrique des nappes (Quaternaire et Pliocène) est semblable. La nappe du Quaternaire présente cependant des fluctuations plus marquées que celle du Pliocène et la charge hydraulique du Quaternaire est supérieure à celle du Pliocène.

Aux alentours du 30/03/17, l'augmentation du niveau de la nappe dans les ouvrages est plus lente et tend à stagner.

L'arrêt du lâcher est visible après une quinzaine de jours.

Plus les ouvrages sont proches du point de lâcher, plus la variation du niveau piézométrique sur l'ensemble de l'étude est importante.

**Le niveau piézométrique des ouvrages dans le Quaternaire et Pliocène augmente.
L'évolution du niveau piézométrique des nappes (Quaternaire et Pliocène) est similaire.**

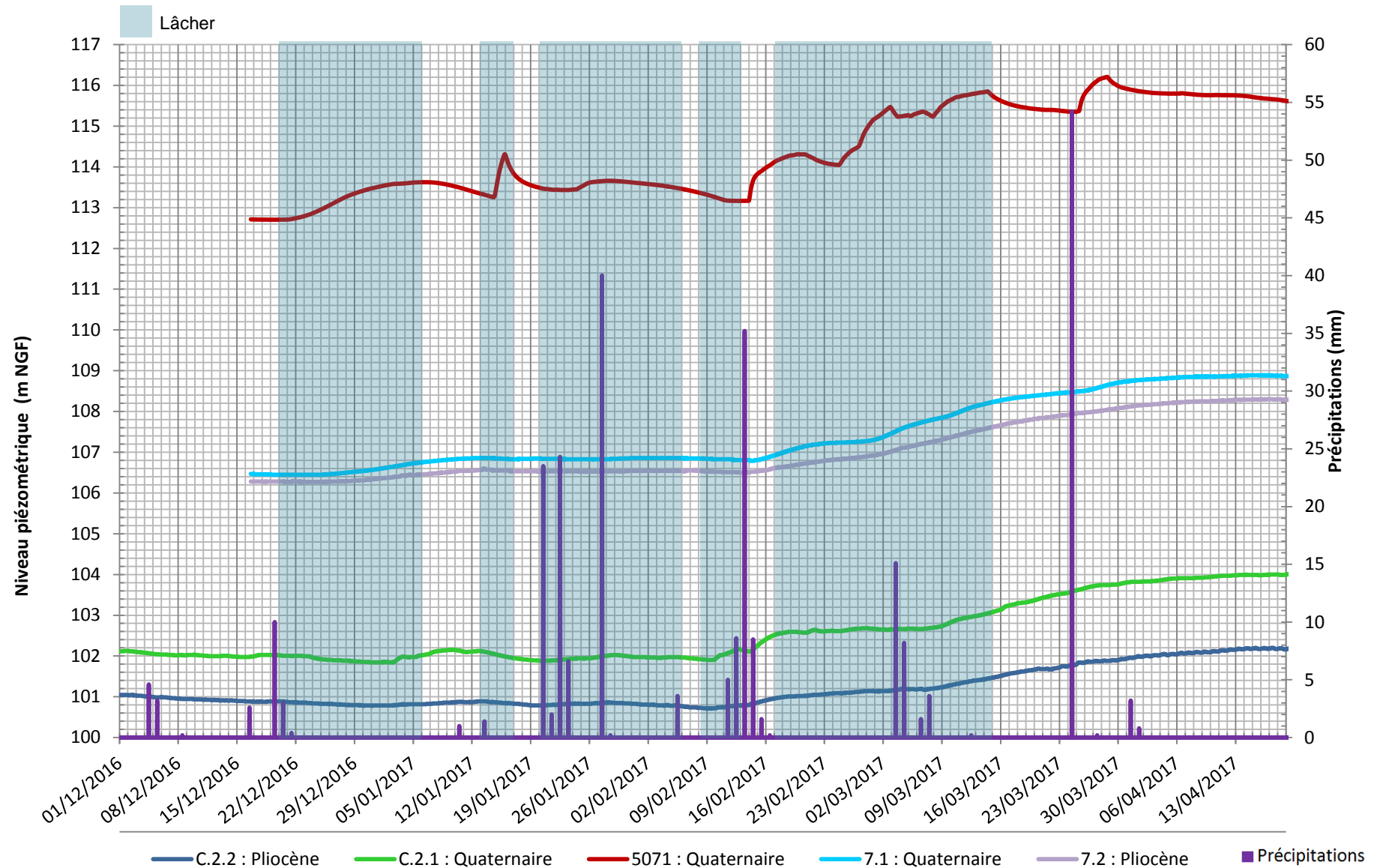


Figure 12 : Variations du niveau piézométrique sur les ouvrages mesurés en continu

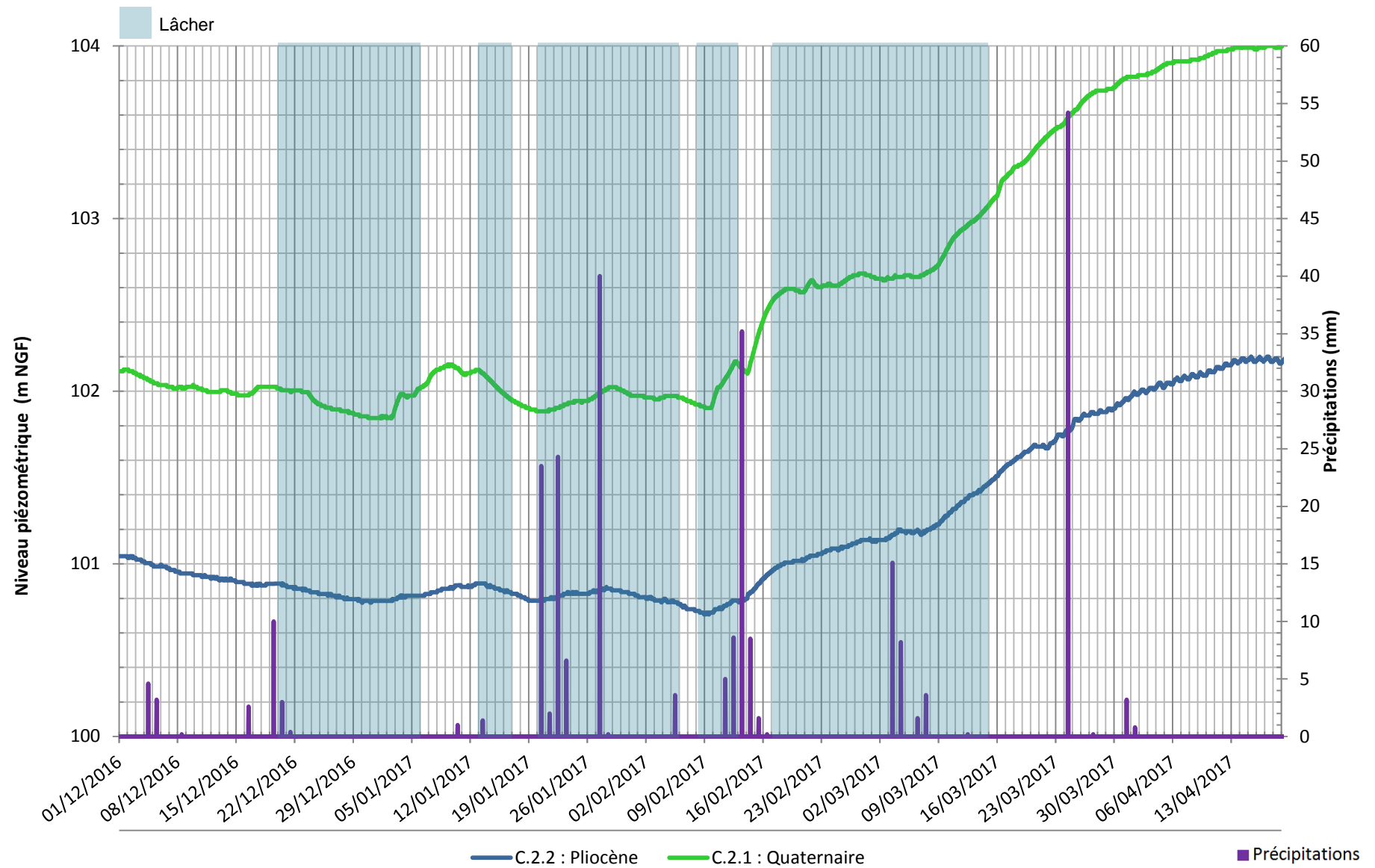


Figure 13 : Variations du niveau piézométrique sur les ouvrages C2.2 et C2.1

5.1.2. Comparaison à l'historique du suivi piézométrique de l'ouvrage C2.1

Les niveaux de la nappe du piézomètre AEP C2.1 de Perpignan (Quaternaire) sont suivis par le Syndicat des Nappes de la Plaine du Roussillon depuis plusieurs années.

Il est possible de comparer les variations piézométriques de ce suivi avec les résultats de l'essai pour essayer d'évaluer l'importance qu'ont eu les pluies durant l'expérimentation.

Les pluies remarquables sont replacées sur les graphiques.

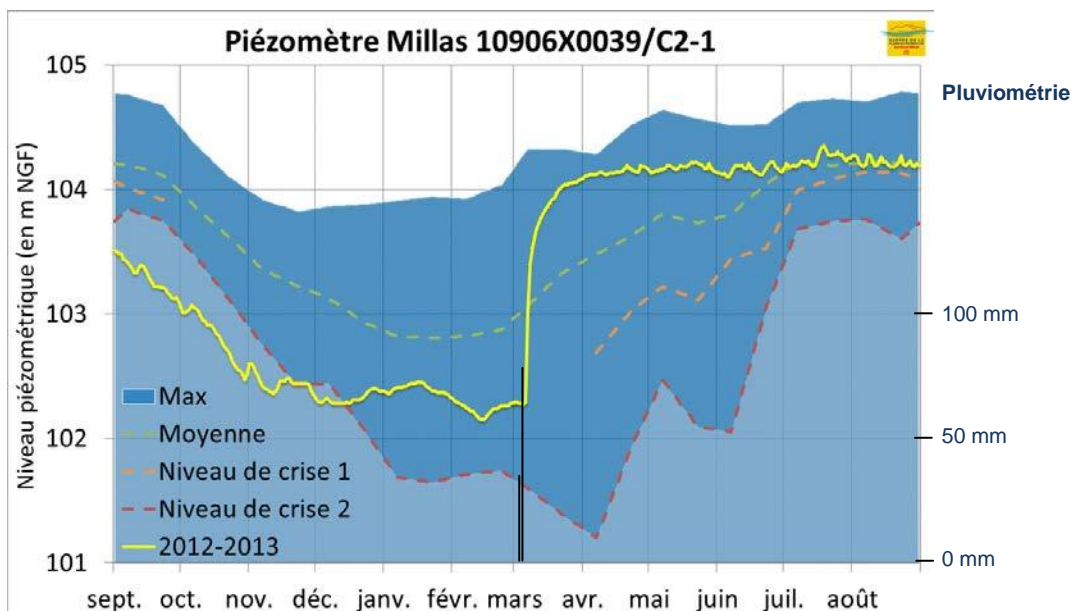


Figure 14 : Niveau piézométrique sur le piézomètre C2.1 durant 2012 et 2013

En 2012-2013, le niveau piézométrique dans l'ouvrage était en baisse jusqu'en mars 2013. La forte augmentation du niveau d'eau dans l'ouvrage de + 1,5 m provient des pluies de début mars. De plus, cette remontée est rapide et instantanée.

Ensuite, le niveau piézométrique est resté « haut » vraisemblablement par le démarrage de l'irrigation gravitaire par les canaux qui débute fin mars.

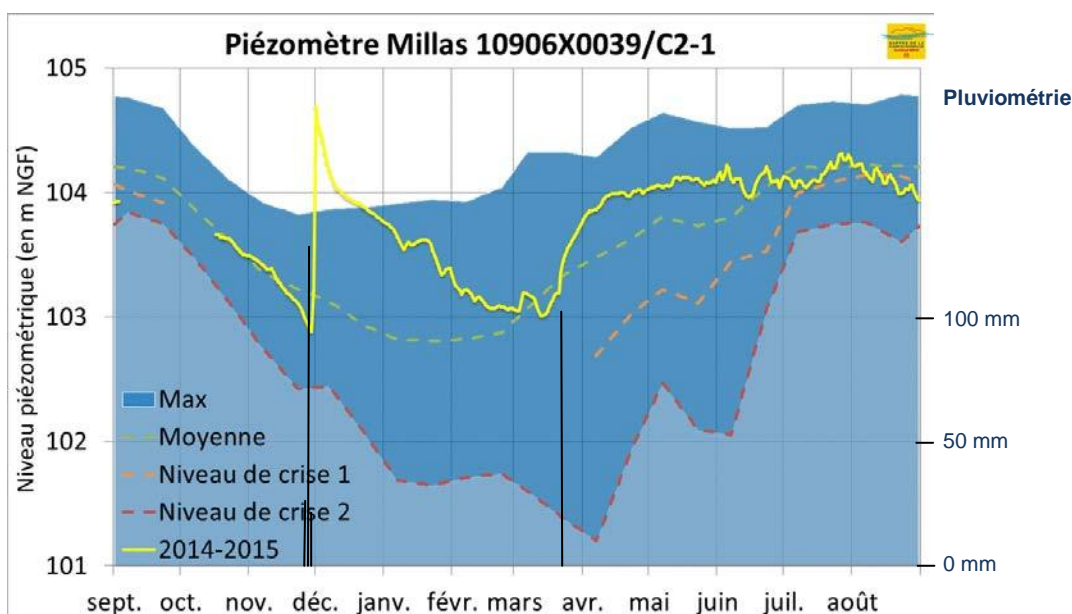


Figure 15 : Niveau piézométrique sur le piézomètre C2.1 durant 2014 et 2015

En 2014-2015, les fortes pluies de novembre ont rapidement fait augmenter le niveau piézométrique. Par la suite, les pluies étaient épisodiques et peu marquées jusqu'au 21/03/2014 entraînant une diminution progressive du niveau piézométrique.

Les pluies de fin mars ont entraîné une remontée plus lente. Le niveau piézométrique reste élevé par le début de l'irrigation contrairement au mois de novembre 2014.

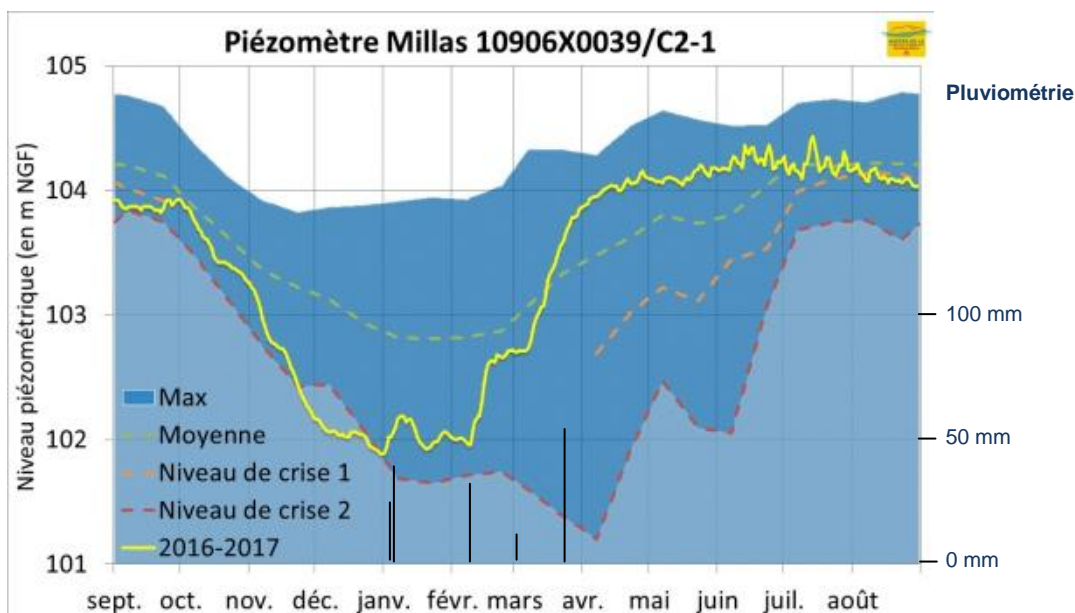


Figure 16 : Niveau piézométrique sur le forage C2.1 de 2016 à 2017 au cours de laquelle les lâchers ont eu lieu.

La diminution du niveau piézométrique d'octobre à décembre 2016 est plus importante que les années précédentes. Cependant, cette diminution se stabilise autour d'un niveau piézométrique de 102 m NGF. Cela correspond au début du lâcher.

Il est possible que le lâcher ait permis de ne pas accentuer la baisse du niveau piézométrique.

Les pluies ont également joué un rôle dans la remontée du niveau piézométrique de janvier à mars 2017, comme il a été prouvé sur les années 2012 à 2015.

De mi-janvier à mi-février, les lâchers semblent avoir joués le rôle de soutien du niveau piézométrique du Quaternaire.

A partir de fin mars, la remise en eau des d'irrigation prend le « relais » dans le maintien du niveau piézométrique de la nappe.

5.1.3. Mesures de terrain

Le suivi du niveau piézométrique sur les autres ouvrages permet de mettre en évidence (figure 19) les points suivants :

Les ouvrages dont le niveau piézométrique de départ est supérieur à 99 m NGF, présentent une augmentation du niveau piézométrique.

Les ouvrages situés sous les 99 m NGF, présentent une stagnation globale du niveau piézométrique, voire même une diminution. Ces ouvrages sont à plus de 3,7 km du point de lâcher.

- *Les ouvrages dont le niveau piézométrique est supérieur à 99 m NGF :*

Globalement, comme les niveaux piézométriques enregistrés en continu ; le niveau piézométrique des ouvrages « stagne » jusqu'au 13/02/17 puis augmente jusqu'à la fin de l'étude.

La zone d'infiltration se localise en effet jusqu'au Mas de l'ouvrage n°5076. La perte des eaux du lâché est totale après ce Mas. Les eaux du Boulès ressortent plus à l'aval, entre les ouvrages 2723 et 5089.

- *Les ouvrages dont le niveau piézométrique est inférieur à 99 m NGF :*

La variation piézométrique globale est négative. Les niveaux piézométriques ont baissé. Il semblerait qu'au-delà de 3,7 km, le lâcher ait peu ou pas d'effet. De plus, les ouvrages, 3395, 4068 et 4070, sont influencés par le pompage des forages AEP de Perpignan situés à une centaine de mètres (C3-1 et C3-2).

	Distance du point du lâcher	Variation piézométrique au 03/01/17	Variation piézométrique totale (entre le 19/12/16 et le 13/03/17)
3395	4 720 m	- 0,20 m	- 0,60 m
4068	5 300 m	- 0,03 m	- 1,07 m
4070 (Pliocène)	5 500 m	+ 0,32 m	- 1,78 m

Tableau 6 : Variation piézométrique entre le 19/12/16 et le 03/01/17, et le 13/03/17 pour les ouvrages les plus éloignés du lâcher

- Lors de la période d'arrêt du 13/02/17 au 17/02/17, le Boulès était en eau dû aux fortes pluies du 13/02/17. Les niveaux piézométriques des ouvrages supérieurs à 99 m NGF ont augmenté.

Les quantités d'eau apportées par le Boulès (1 820 l/s) étaient bien supérieures à celles relâchées (210 l/s). Il n'est pas possible de savoir dans quelle proportion les eaux de pluies ont influencé le niveau des nappes par rapport aux eaux du lâcher sur les jours suivants.



Figure 17 : Mise en eau naturellement du Boulès après l'épisode pluvieux de février 2017 (source : Engéo)

	Distance au point du lâcher	Variation piézométrique au 03/01/17	Variation piézométrique totale (entre le 19/12/16 et le 13/03/17)
5077	340 m	+ 3 m	+ 3,35 m
5083*	540 m	+ 0,56 m	+ 2,65 m
5076	620 m	+ 2,08 m	+ 3,74 m
5069	750 m	+ 1,29 m	+ 3,00 m
2108	1 080 m	+ 0,85 m	+ 2,40 m
2723	1 260 m	+ 0,77 m	+ 3,74 m
5089	1 930 m	+ 0,43 m	+ 2,36 m
2467	2 800 m	+0,09 m	+1,20 m
5028	3 130 m	0 m	+ 1,00 m
2720	3 735 m	+0,05 m	+ 0,70 m

Tableau 7 : Variation piézométrique entre le 19/12/16 et le 03/01/17, et le 13/03/17 pour les ouvrages les plus proches du lâcher

* Le piézomètre 5083 se trouve au même niveau que le point de lâcher à 540 m au Nord, alors que tous les autres piézomètres se trouvent de part et d'autres du Boulès en aval.

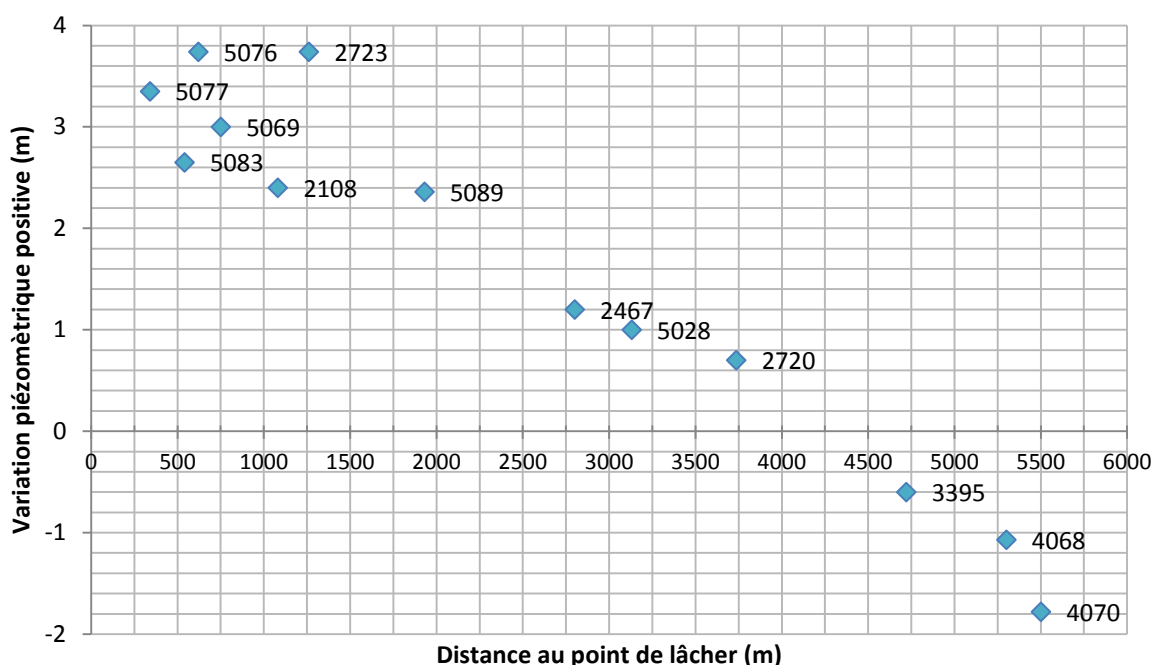


Figure 18 : Variation piézométrique en fonction de la distance au point du lâcher

Les ouvrages qui présentent une plus forte variation du niveau piézométrique (du 22/12/16 au 6/01/17) se situent près du point du lâcher, et de la zone d'infiltration des eaux dans la nappe.

Plus les ouvrages sont proches du point du lâcher ou de la zone d'infiltration, plus l'augmentation du niveau piézométrique est marquée.

L'éloignement des ouvrages au point du lâcher est en lien avec les variations piézométriques de la nappe.

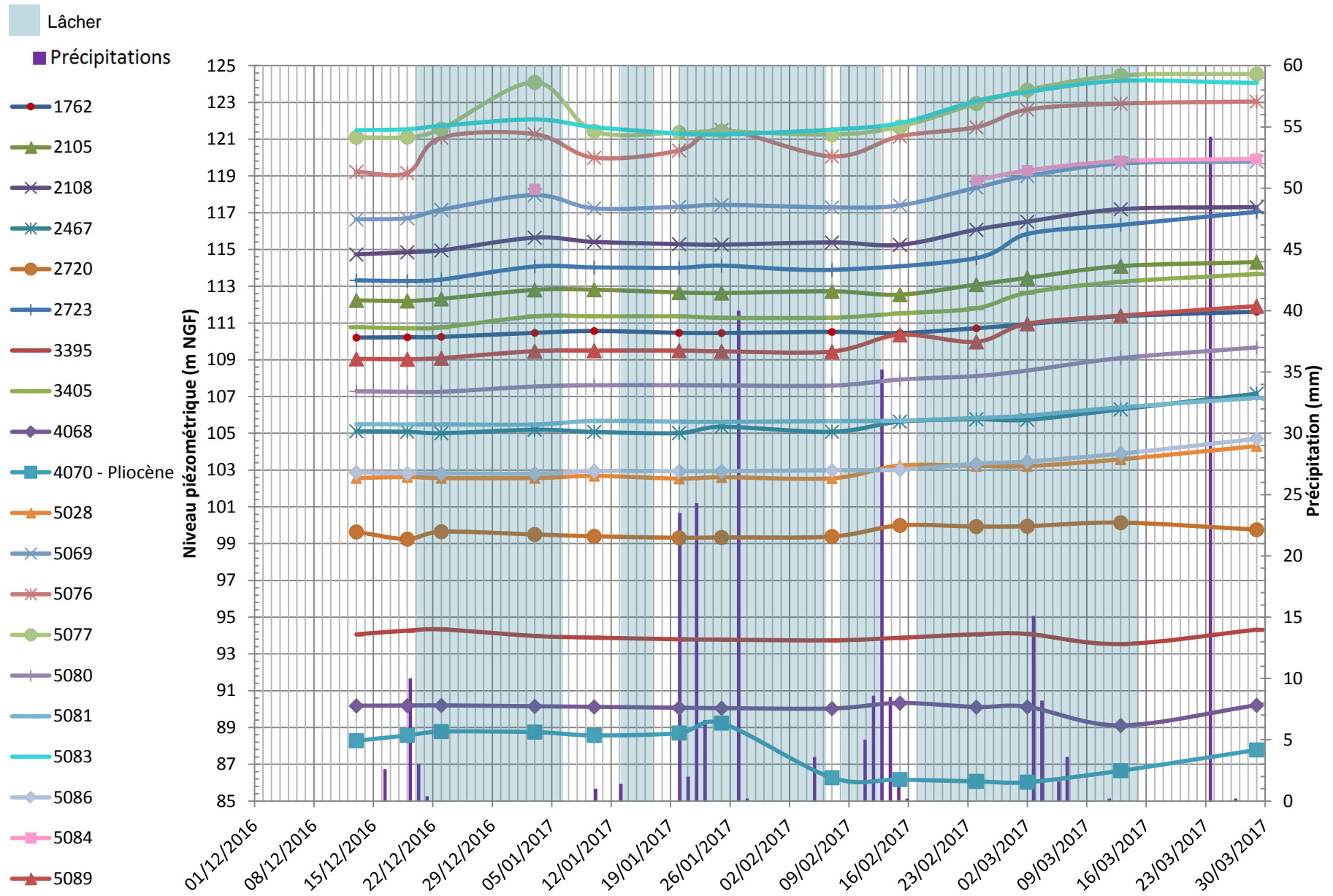


Figure 19 : Variation du niveau piézométrique sur les ouvrages

5.2. La température

5.2.1. Mesures en continu

Rappel : Température de l'eau du canal : 8,12°C.

Température moyenne avant le démarrage de l'essai des eaux du Quaternaire : 16,0°C.

Température moyenne avant le démarrage de l'essai des eaux du Pliocène : 15,5°C.

La température moyenne des eaux de la Têt relâchées dans le Boulès par le canal est de 8°C.

La température de l'eau dans les ouvrages évolue de 3 façons pendant la durée de l'étude (figure 20) :

- Une légère baisse ou stagnation jusqu'à environ mi janvier,
- Puis, une forte baisse jusqu'à mi-mars / fin mars ;
- Enfin, une remontée jusqu'à la fin des données.

	Distance au point de lâcher	1 ^{ère} variation	2 ^{ème} variation	3 ^{ème} variation	Variation totale (Avant et fin du lâcher)
5071 Quaternaire	1 250 m	0°C	- 4,6°C	+ 1,2°C	> 2°C
7.1 Quaternaire	2 250 m	0°C	- 1°C	0°C	< 1°C
7.2 Pliocène	2 250 m	- 0,1°C	- 0,7°C	0°C	< 1°C
C2.1 Quaternaire	3 210 m	- 0,8°C	- 3°C	+ 0,7°C	1°C < puits < 2°C
C2.2 Pliocène	3 210 m	- 0,5°C	- 2°C	+ 0,1°C	1°C < puits < 2°C

Tableau 8 : Variation de température durant l'étude

Les eaux superficielles du Boulès étant plus froides que les eaux souterraines entraînent une diminution de la température de l'eau dans l'aquifère.

La première variation de température est faible. Il semblerait que le premier lâcher n'ait pas encore d'impact sur les nappes souterraines.

La seconde variation, plus importante, intervient après 2 lâchers et continue jusqu'à l'arrêt du lâcher : c'est une baisse qui est visible dans les ouvrages après 4 semaines du début du premier lâcher.

Ensuite, la 3ème variation est une remontée des températures qui se fait ressentir fin mars. Il est difficile d'estimer précisément, combien de jours après la fin du lâcher, la température remonte. Il semblerait que ce soit après 1 semaine.

Dans l'ouvrage 5071, la température remonte 2 jours avant la fin du lâcher.

Les ouvrages 5071 et C2.1 ont les plus grandes variations de température entre mi-janvier et mi-mars/fin mars, avec respectivement une baisse de 4,6°C et 3°C. Ces deux ouvrages se trouvent plus près du Boulès que les autres : 80 m et 290 m contre au 530 m pour les 7.1 et 7.2 qui ont de faibles variations de température. Ces variations semblent corrélées aux lâchés.

La température de l'eau dans les piézomètres du Pliocène a diminué (1^{ère} et 2^{ème} variation), semblablement impactée par l'essai de recharge. **La diminution de la température se ferait par transfert de masse entre le Quaternaire et le Pliocène.**

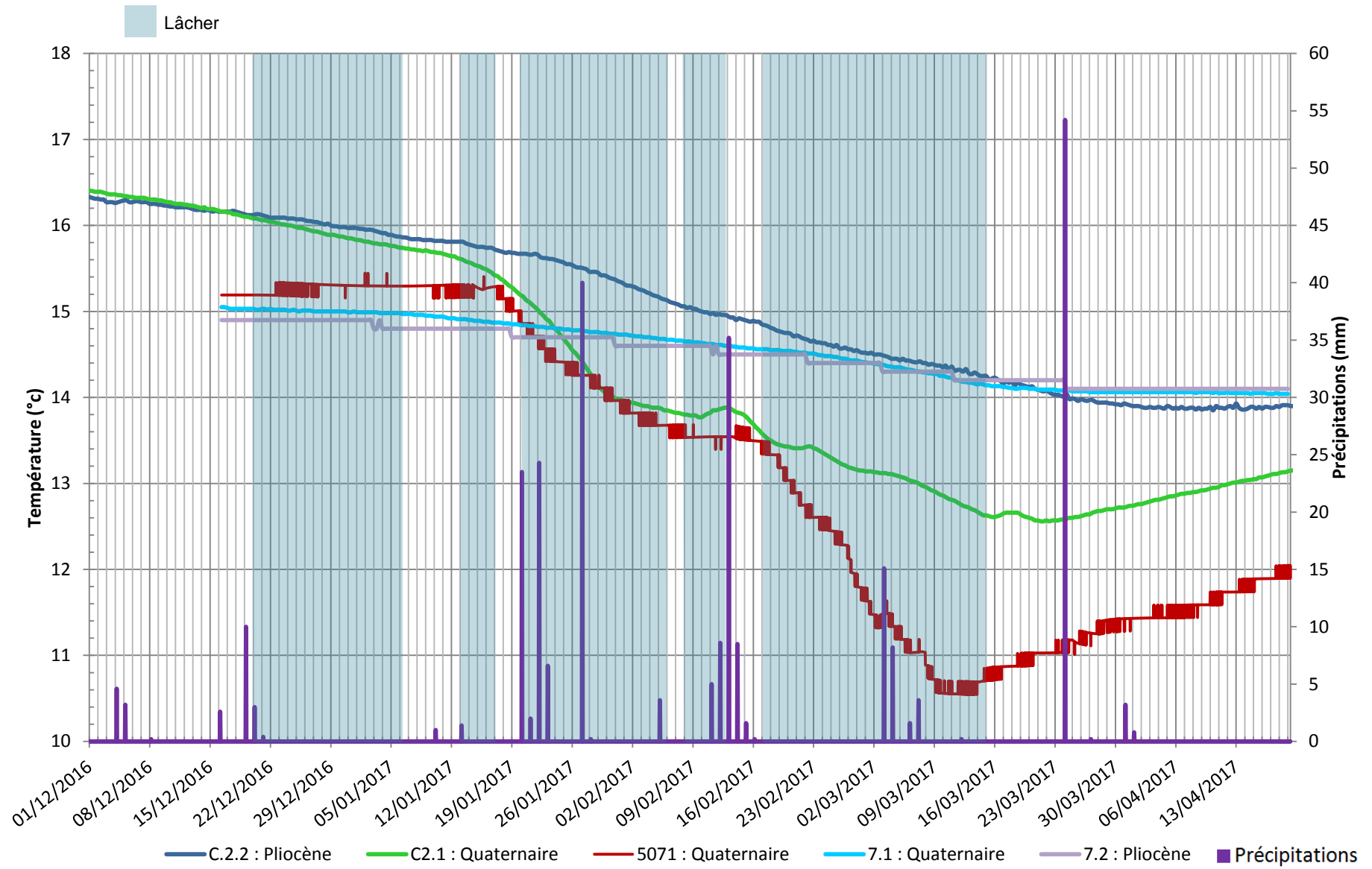


Figure 20 : Variation de la température sur les ouvrages mesurés en continu

5.2.2. Mesures de terrain

Rappel : Température de l'eau du canal : 8,12°C.

Température moyenne avant le démarrage de l'essai des eaux du Quaternaire : 16,0°C.

Température moyenne avant le démarrage de l'essai des eaux du Pliocène : 15,5°C.

La température globale des ouvrages diminue (figure 21 et 22).

Plus précisément, plusieurs points apparaissent :

- 2 ouvrages ont des variations plus importantes que les autres : 5089 et 5076. Ces 2 ouvrages se trouvent à 50 et 30 m du Boulès et à 620 et 1 930m du point de lâcher. La proximité des puits avec le Boulès montre une variation de température plus importante.
- Le puits 5089 présente une variation de température en sens inverse par rapport aux autres puits : lorsque celle-ci augmente, celles des puits diminuent (24/02/17) et inversement (15/02/17). Ce puits était utilisé en pompage et c'est celui qui se trouve au plus près du Boulès. Il semble être en lien direct avec le Boulès.
- Les mesures du 23/12/16 présentent toutes une légère augmentation de la température. Cette augmentation n'est pas retrouvée sur les ouvrages mesurées en continu.

Variation de température (Avant le lâcher jusqu'au 13/03/17)	N° Puits
< 1°C	1762 ; 5077 ; 5081 ; 5080 ; 5083 ; 2723
1 °C < puits < 2°C	2467 ; 2105 ; 5086 ; 3405
> 2°C	5028 ; 5089 ; 2108 ; 5069 ; 3395

Il est difficile de mettre en relation les variations de températures des puits avec les distances d'éloignement entre les puits où le Boulès.

La température dans les ouvrages diminue. En comparaison avec les ouvrages suivis en continu, il n'y a pas de stagnation de la température, suivi d'une forte diminution. Les mesures de terrain montrent une diminution constante.

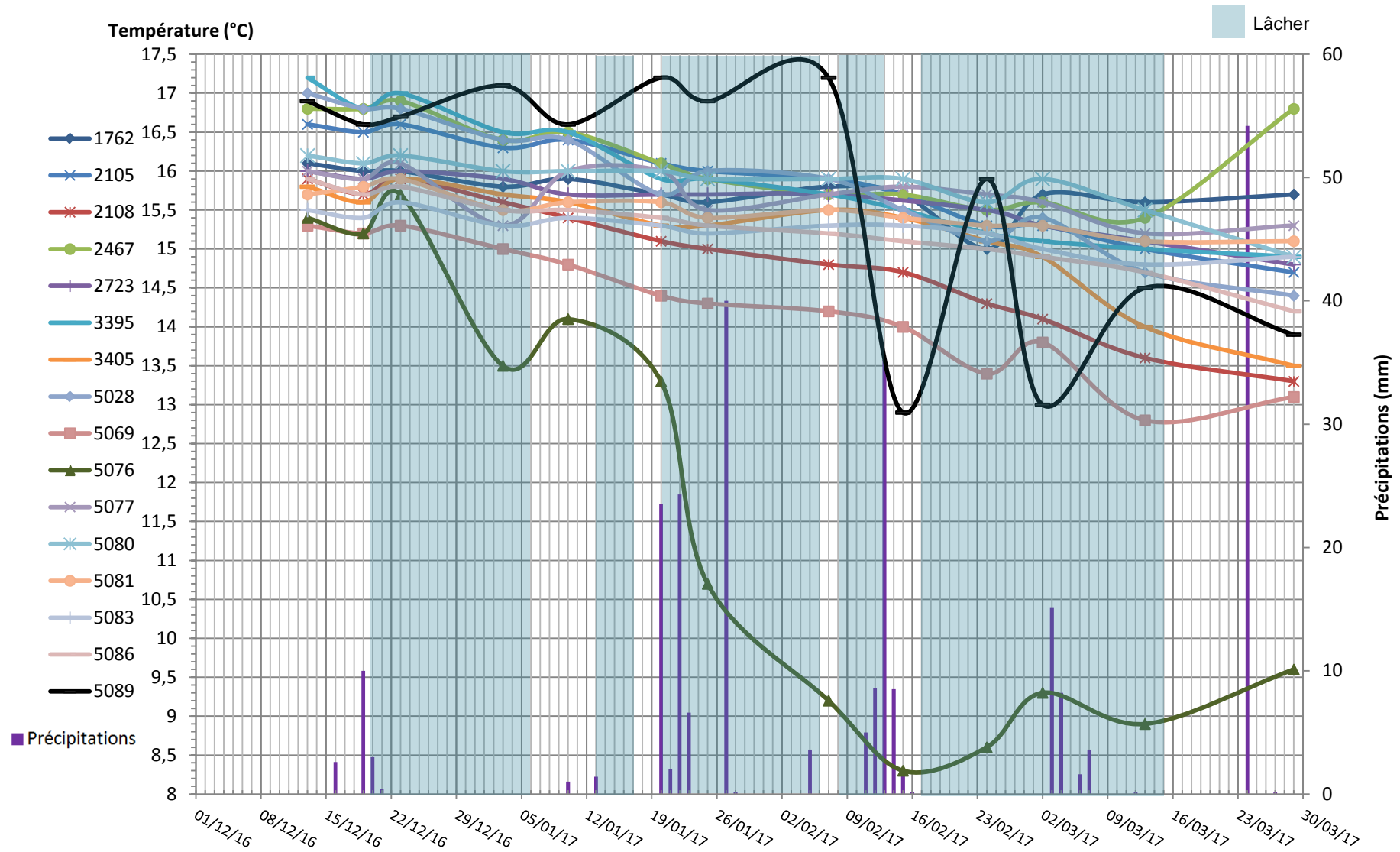


Figure 21 : Variation de la température sur les ouvrages

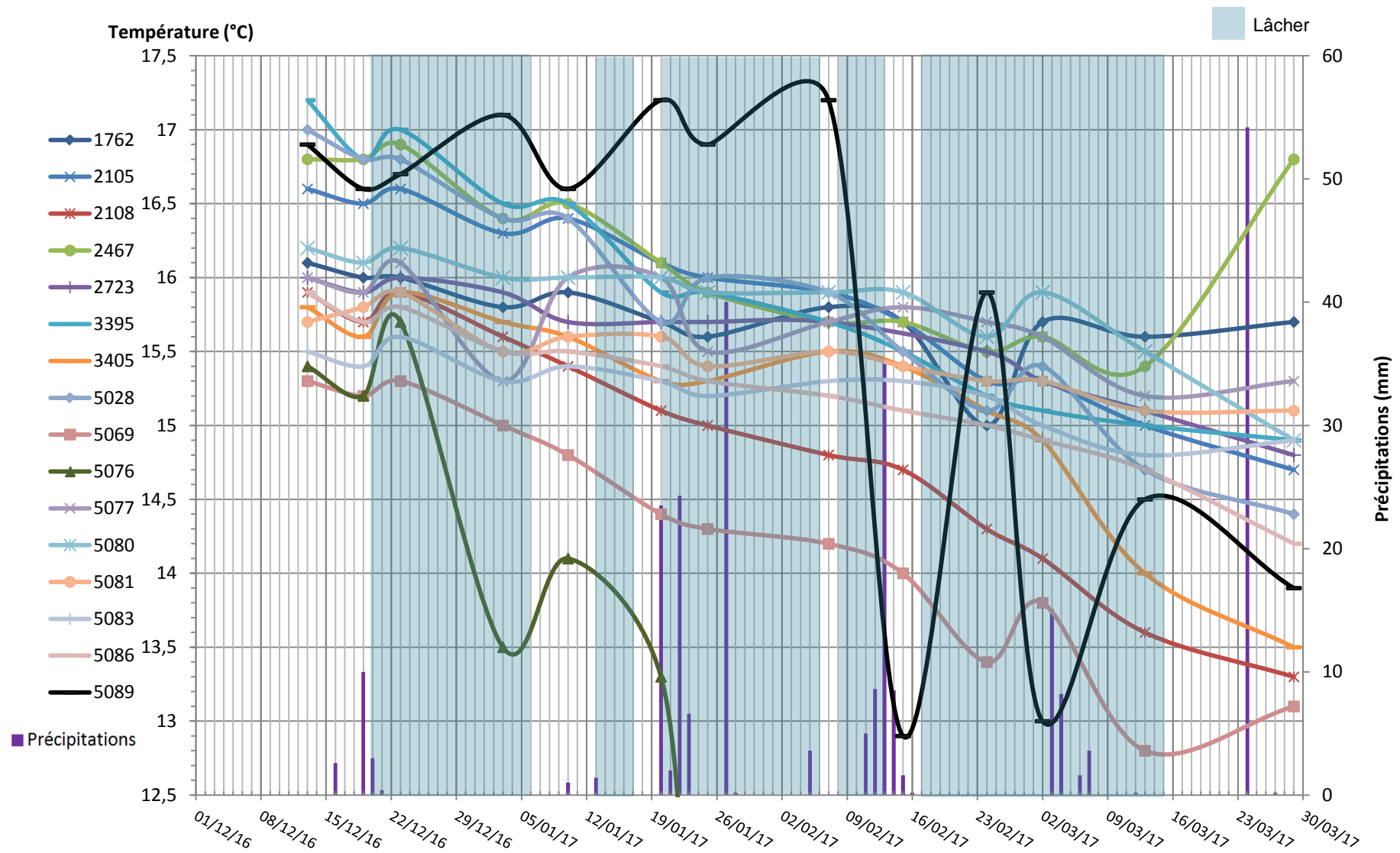


Figure 22 : Zoom des variations de la température sur les ouvrages

5.3. La conductivité

5.3.1. Mesures en continu

Rappel : Conductivité de l'eau du canal : 124 $\mu\text{S/cm}$.

Conductivité moyenne avant le démarrage de l'essai des eaux du Quaternaire : 157 $\mu\text{S/cm}$.

Conductivité moyenne avant le démarrage de l'essai des eaux du Pliocène : 257 $\mu\text{S/cm}$.

La conductivité des eaux du canal de Perpignan est en moyenne de 124 $\mu\text{S/cm}$. Le mélange des eaux souterraines au droit des ouvrages avec celles du canal de Perpignan doit entraîner une baisse de la conductivité.

Ouvrages quaternaires :

■ La conductivité sur l'ouvrage 7.1 est constante du 16/12/16 au 19/02/17 à la moyenne de 156 $\mu\text{S/cm}$, puis diminue atteignant les 136 $\mu\text{S/cm}$, l'amplitude est de 20 $\mu\text{S/cm}$. Sur cet ouvrage, il semblerait que le cumul des lâchers ait entraîné une diminution de la conductivité à partir du 19/02/17.

■ L'ouvrage C2.1 présente des variations plus marquées. L'amplitude entre le maximum et le minimum de sa conductivité est de 40 $\mu\text{S/cm}$.

Description des variations de l'ouvrage C2.1 :

La conductivité dans l'ouvrage est tout d'abord constante à 206 $\mu\text{S/cm}$ jusqu'au 9/01/17.

Puis vient une succession de variations alternant diminution et augmentation.

Variation	Dates	Différence de conductivité ($\mu\text{S/cm}$)
Diminution	9/01/16 au 18/01/17	- 36
Augmentation	18/01/17 au 11/02/17	+ 18
Diminution	11/02/17 au 16/02/17	- 12
Augmentation	16/02/17 au 24/02/17	+ 12
Diminution	24/02/17 au 05/03/17	- 22
Augmentation	05/03/17 au 23/03/17	+ 24

A partir du 23/03/17, la conductivité dans l'ouvrage présente une légère augmentation.

Sur la première variation, la diminution de la conductivité est importante et significative. En effet durant les deux premiers lâchers, il n'y a pas de pluie.

La vitesse de transfert est de 130 m/j ($1,5 \times 10^{-3}$ m/s).⁵

L'ouvrage C2.1 est plus proche du Boulès (290 m) que l'ouvrage 7.1 (590 m), cependant, il est plus éloigné du point du lâcher (avec respectivement 3,2 km et 2,2 km). Il est difficile de mettre en relation la conductivité de cet ouvrage avec les lâchers.

Ouvrages pliocènes :

Pendant, la période du lâcher, la conductivité dans l'ouvrage augmente.

La conductivité sur l'ouvrage C2.2 diminue de 15 $\mu\text{S/cm}$ entre le 1/12/16 et le 8/12/16, puis augmente jusqu'au 19/03/17 pour retrouver sa conductivité initiale d'avant le lâcher de 270 $\mu\text{S/cm}$.

Pendant la phase d'augmentation, il y a 2 diminutions : le 21/01/17 et le 13/02/17. La conductivité des eaux de l'ouvrage C2.2 a varié de ± 20 $\mu\text{S/cm}$. La conductivité des eaux de cet ouvrage semblerait ne pas être impactée par les lâchers.

⁵ Le piézomètre C2.1 est distant de 2,6 km de la zone d'infiltration. Du début du lâcher (20/12/16) au 08/01/17, il y a 20 jours.

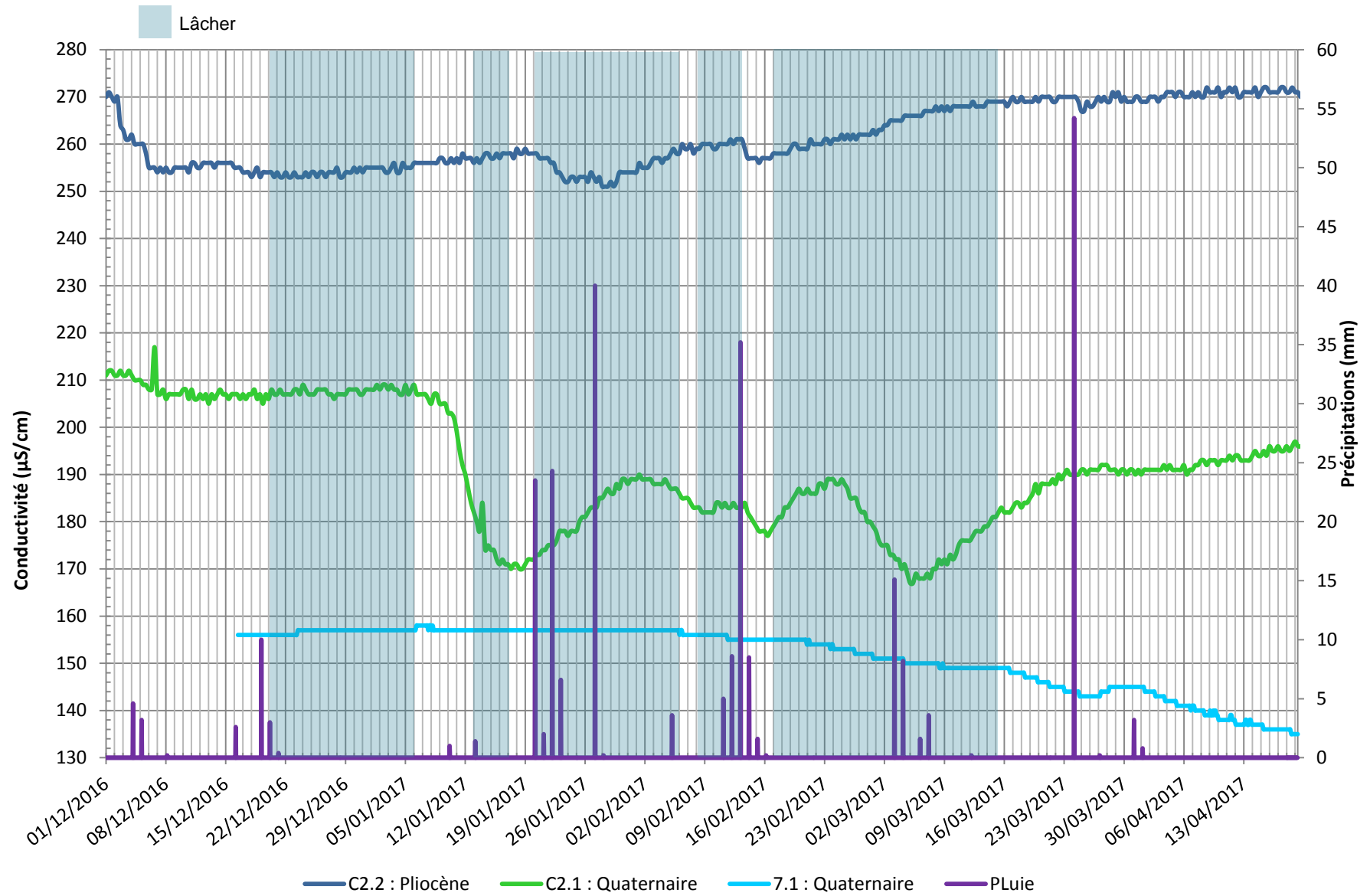


Figure 23 : Variation de la conductivité sur les ouvrages mesurés en continu

5.3.2. Mesures de terrain

Rappel : Conductivité des eaux du canal : 124 $\mu\text{S/cm}$.

Conductivité moyenne avant le démarrage de l'essai des eaux du Quaternaire : 157 $\mu\text{S/cm}$.

Conductivité moyenne avant le démarrage de l'essai des eaux du Pliocène : 257 $\mu\text{S/cm}$.

Les eaux de l'ensemble des ouvrages sont faiblement minéralisées ($< 250 \mu\text{S/cm}$).

En s'éloignant du point du lâcher, les conductivités augmentent.

Les 2 mesures réalisées avant le lâcher (« état zéro ») sur les ouvrages sont similaires, excepté pour les ouvrages 2467 et 1762, où la deuxième mesure est respectivement plus faible ($-10 \mu\text{S/cm}$) et plus élevée ($+8 \mu\text{S/cm}$).

Les mesures réalisées 3 jours après le lâcher (23/12/16), montrent une augmentation de la conductivité dans la plupart des ouvrages, exceptés pour le 1762 et le 5076 présentant une baisse de la conductivité de $-46 \mu\text{S/cm}$ et $-4 \mu\text{S/cm}$ (figure 24).

L'augmentation de la conductivité dans les ouvrages varie de $+16 \mu\text{S/cm}$ à $+56 \mu\text{S/cm}$.

A partir de la date du 23/12/16, les variations de la conductivité dans les ouvrages évoluent de 4 manières :

- Une diminution : 3405 ; 5080 ; 2105 ; 2108 ; 3395 ;
- Une stagnation : 1762 ; 5086 ; 5081 ;
- Une augmentation : 2467 ;
- Une diminution, suivi d'une augmentation : 2723 ; 5028 ; 5069 ; 5076 ; 5077 ; 5083.

Au sein de chaque tendance, on remarque :

- Une diminution jusqu'au 13/03/17 :

Une baisse de $-12 \mu\text{S/cm}$ pour l'ouvrage 3395.

Une baisse de $-36 \mu\text{S/cm}$ pour l'ouvrage 5080.

Une baisse de $-8 \mu\text{S/cm}$ pour l'ouvrage 2105 et 2108 et une baisse $-52 \mu\text{S/cm}$ pour l'ouvrage 3405.

- Une stagnation :

Les ouvrages 1762 et 5086 ont une conductivité d'environ $152 \mu\text{S/cm}$ tout au long des périodes de lâchers. De même, pour l'ouvrage 5081 à $148 \mu\text{S/cm}$.

Ces trois ouvrages se localisent au Nord de la zone d'étude près de Néfiach. Ils sont les plus éloignés du Boulès.

- Une augmentation :

L'ouvrage 2467 est le seul à avoir une conductivité qui a augmenté de $+30 \mu\text{S/cm}$. Celui-ci se trouve en rive droite du Boulès à 2,8km du point de lâcher.

- Une diminution, suivie d'une augmentation

Les ouvrages suivants présentent en premier une diminution de leur conductivité, suivie d'une augmentation. Ces ouvrages sont localisés au plus près du point du lâcher, excepté pour le puits 5028 :

2723 : diminution jusqu'au 02/03/17 de $-42 \mu\text{S/cm}$ et augmentation de $+30 \mu\text{S/cm}$ jusqu'au 29/03/17.

5077 : diminution de $-24 \mu\text{S/cm}$ jusqu'au 02/03/17 et augmentation de $+32 \mu\text{S/cm}$.

5069 : diminution de $-26 \mu\text{S/cm}$ jusqu'au 15/02/17 et augmentation de $+28 \mu\text{S/cm}$ jusqu'au 29/03/17.

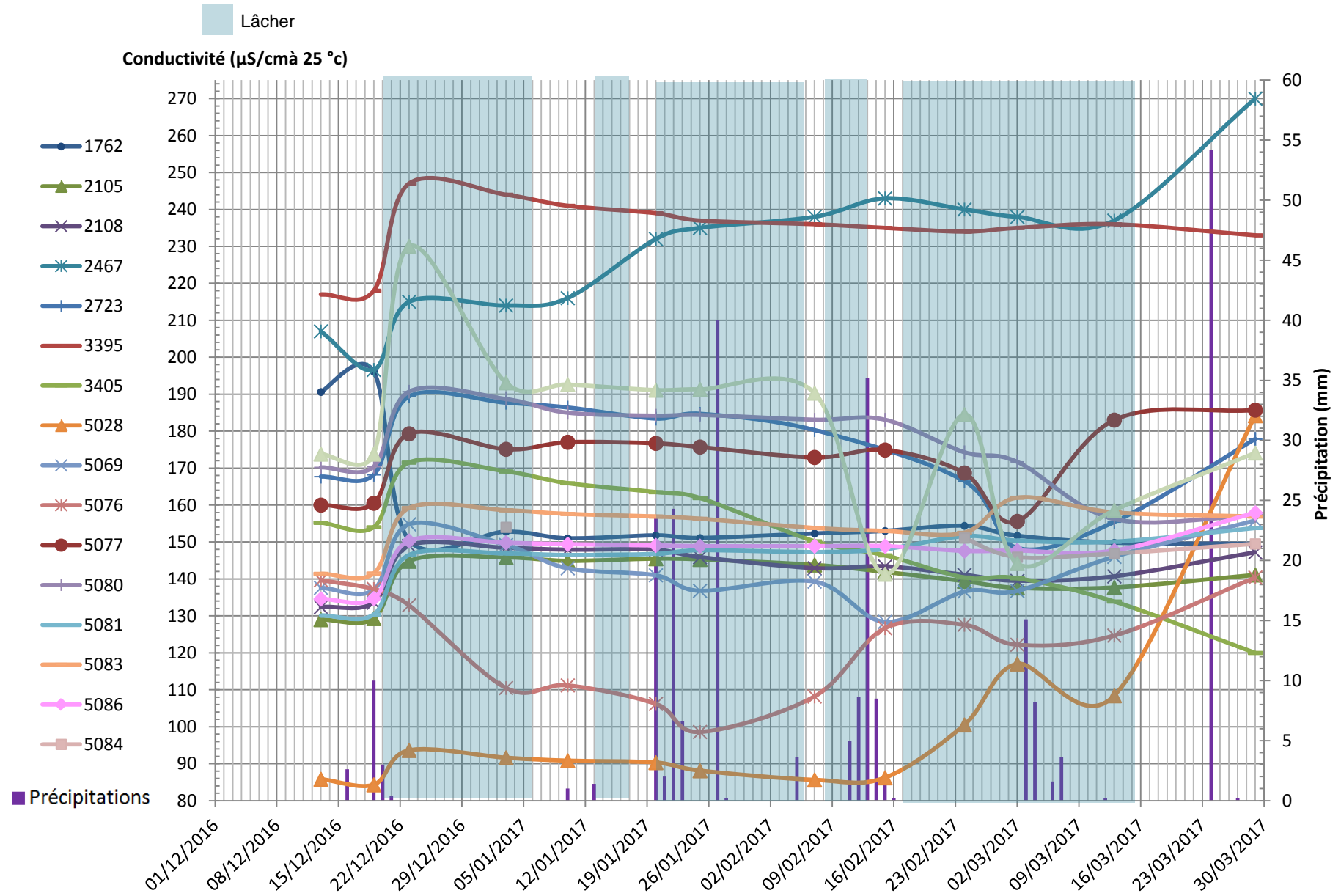
5076 : diminution de $-42 \mu\text{S/cm}$ jusqu'au 25/01/17 et augmentation de $+42 \mu\text{S/cm}$ jusqu'au 29/03/17.

5083 : diminution de $-6 \mu\text{S/cm}$ jusqu'au 24/02/17 et augmentation de $+4 \mu\text{S/cm}$ au 02/03/17

5028 : diminution de $-8 \mu\text{S/cm}$ jusqu'au 15/02/17 et augmentation de $+22 \mu\text{S/cm}$ jusqu'au 13/03/17, puis ré-augmentation de $+78 \mu\text{S/cm}$ jusqu'au 29/03/17.

L'ouvrage 5028 est à 3,1km du point du lâcher et à 112 m du Boulès.

Les ouvrages éloignés du Boulès présentent peu de variation de leur conductivité, ainsi que celui en rive droite.
Les autres ouvrages présentent une diminution allant jusqu'à 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour certains. Lors des derniers lâchers, la conductivité remonte sans doute dû aux épisodes pluvieux.



Concernant l'ouvrage 5089, il se comporte comme l'ouvrage C2.1 avec une alternance de diminution et d'augmentation de la conductivité de ses eaux.

On remarque qu'au 16/02/17, la conductivité a diminué puis augmente au 24/02/17 pour diminuer au environ du 02/03/17 et enfin augmenter jusqu'à la fin de l'étude. Les variations sont plus marquées sur l'ouvrage 5089. **En effet, celui-ci se trouve plus près du Boulès et du point du lâcher.**

Le pic d'augmentation de la conductivité au 24/02/17 semblerait provenir du Boulès en eau naturelle suite aux pluies, entraînant un arrêt du lâcher la semaine précédent. Ainsi, la diminution de la conductivité au 02/03/17 proviendrait du lâcher.

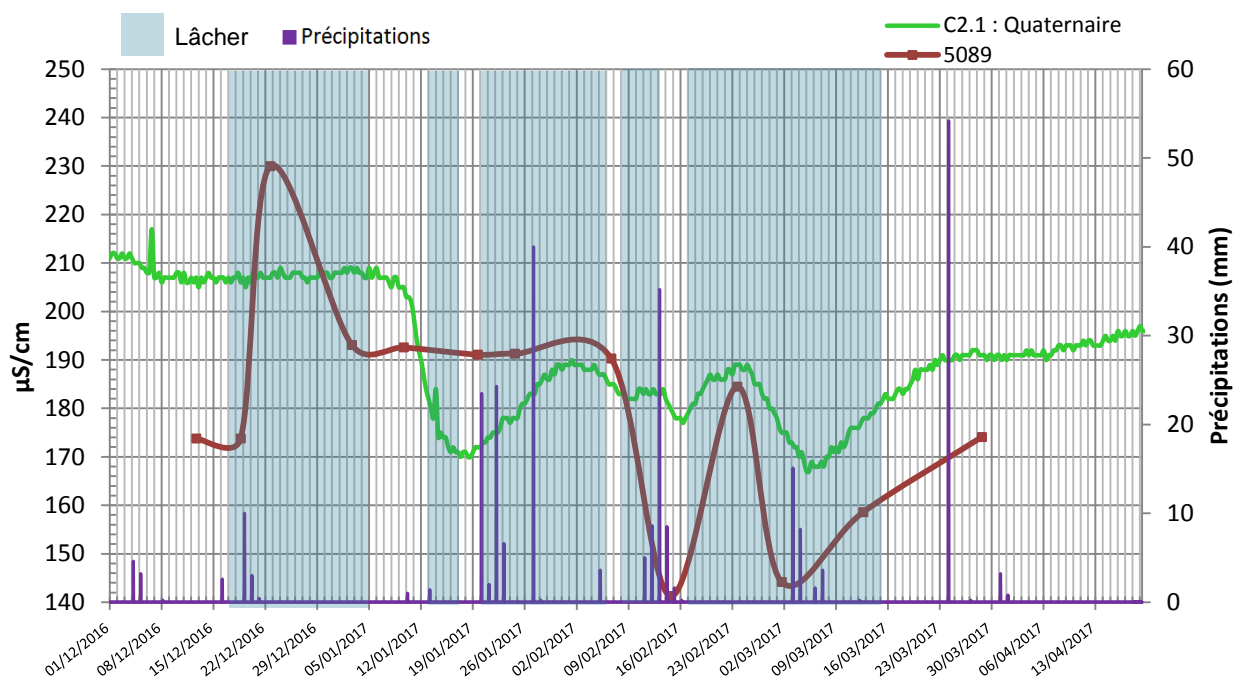


Figure 25 : Comparaison de la variation de la conductivité sur les ouvrages 5089 et C2.1 (Quaternaire)

**La conductivité varie dans les ouvrages et diminue avec les lâchers.
Après la fin des lâchers, la conductivité des ouvrages remonte.**

5.3.3. Analyse spatiale des conductivités des ouvrages

La conductivité des eaux des ouvrages diminuent à proximité du Boulès et en rive gauche du Boulès si l'on compare les dates du 23/12/16 au 07/02/17 et 13/03/17 (carte n°5 et 6).

Les ouvrages ayant une diminution de leur conductivité supérieure à - 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sont : 5076, 5089 et le C2.1 au 07/02/17.

Au 13/03/17, la baisse de conductivité est plus marquée avec - 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au niveau de l'ouvrage 5089 (carte n°7).

Après la fin du lâcher, à la date du 29/03/17, la zone rive gauche concentré sur le piézomètre n°5089 voit une légère augmentation de sa conductivité, mais celle-ci n'est remontée que d'une dizaine de $\mu\text{S}/\text{cm}$.

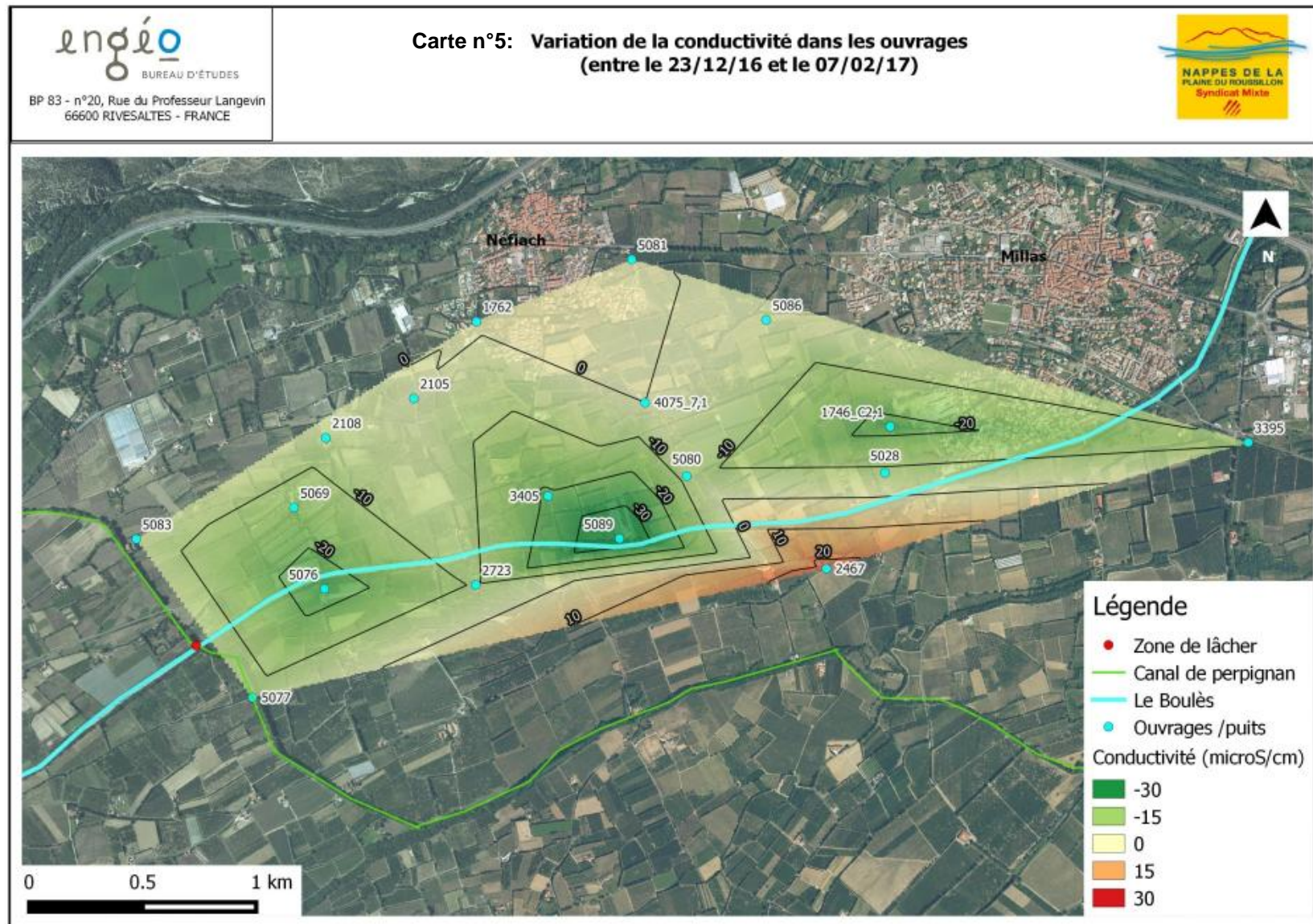
Au niveau de l'ouvrage 5028, la conductivité a augmenté significativement de + 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ entre le 13/03/17 et le 29/03/17, alors qu'au niveau de l'ouvrage n°5089 seulement de 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

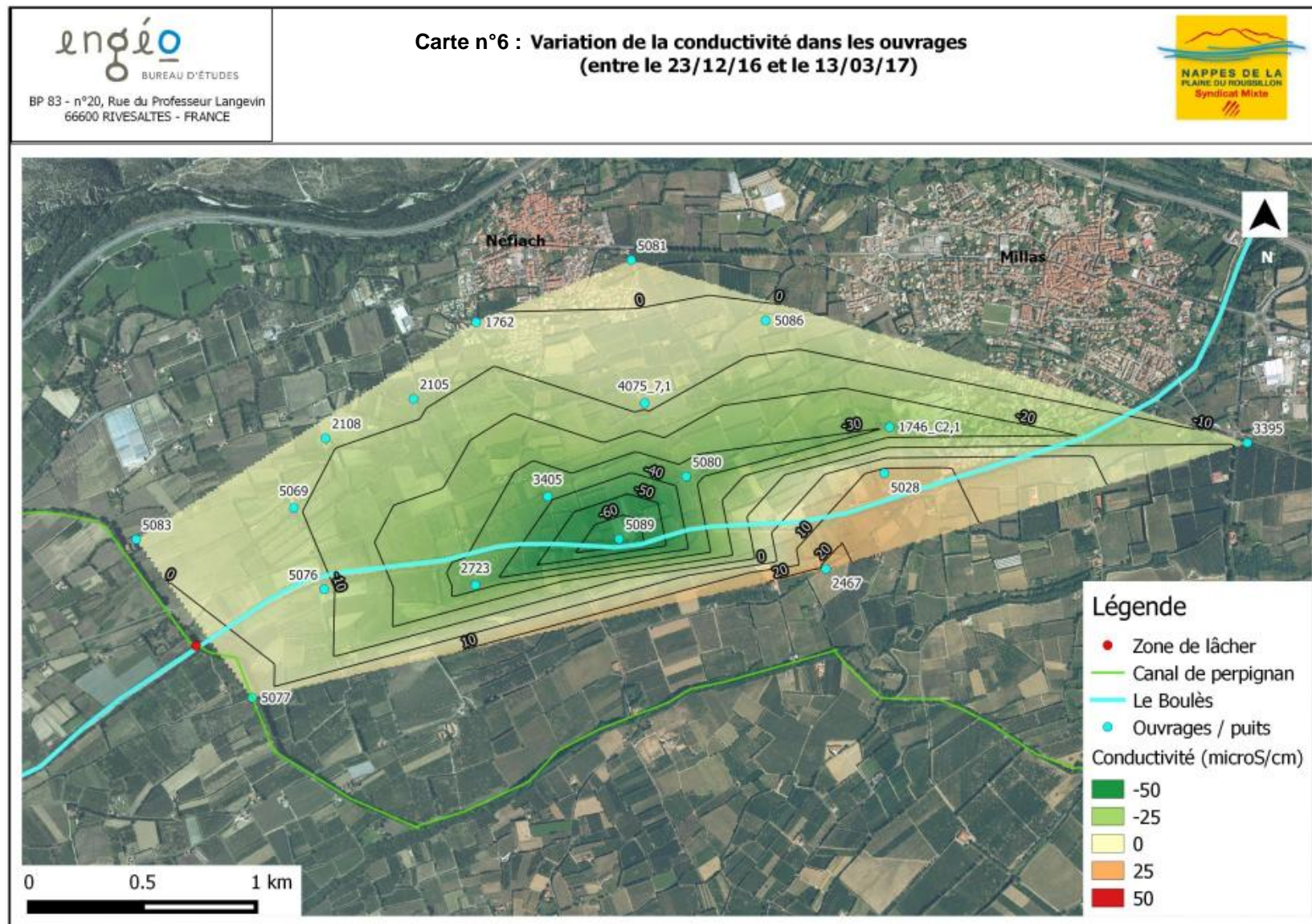
Les lâchers influencent la conductivité des eaux des ouvrages (diminution) situés en rive gauche du Boulès et au plus près de celui-ci. Les variations les plus importantes se localisent sur l'ouvrage le plus près du Boulès (n°5089).

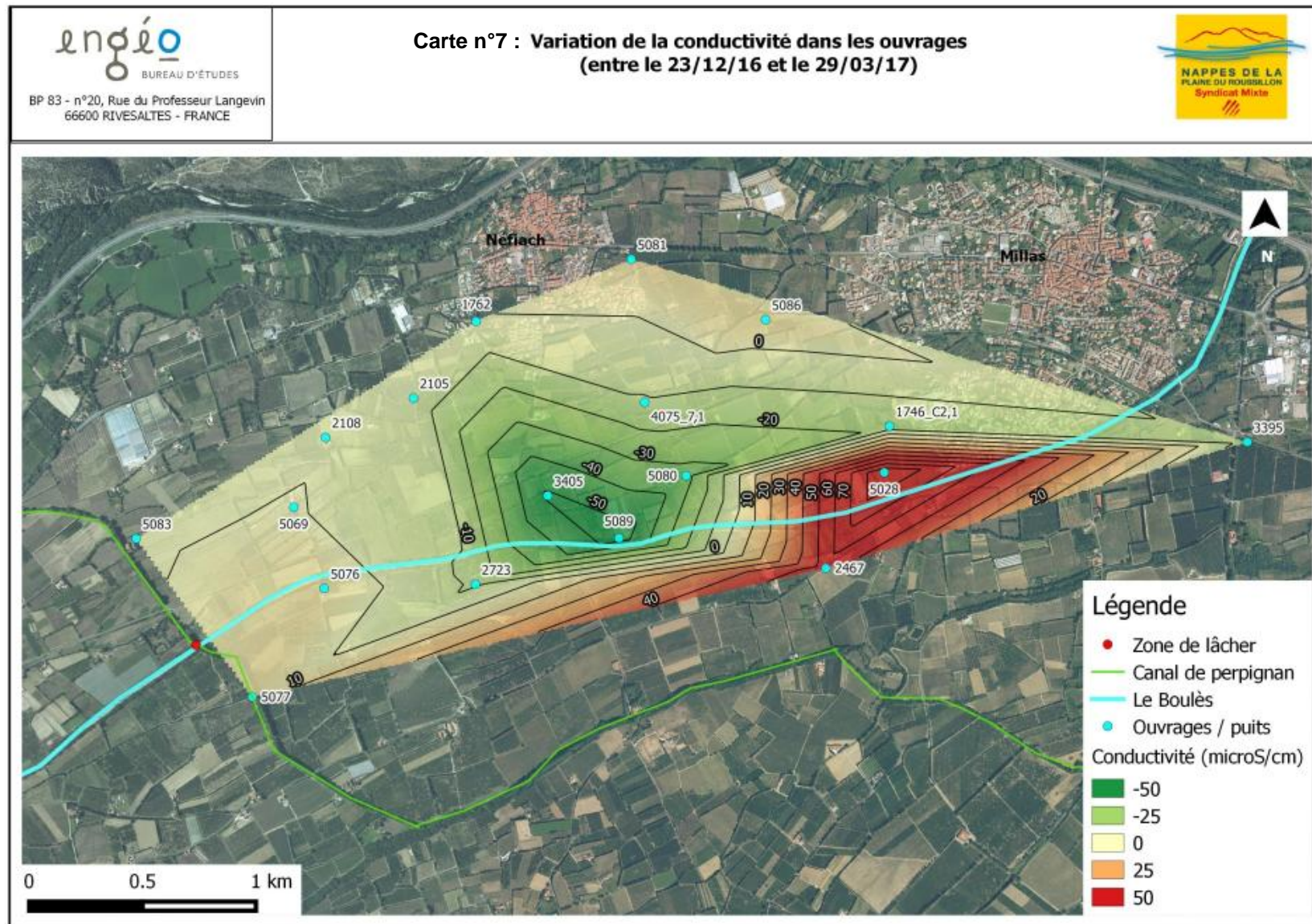
Carte 5 : Variation de la conductivité dans les ouvrages entre le 23/12/16 et le 07/02/17

Carte 6 : Variation de la conductivité dans les ouvrages entre le 23/12/16 et le 13/03/17

Carte 7 : Variation de la conductivité dans les ouvrages entre le 23/12/16 et le 29/03/17







5.4. Les analyses chimiques

Les paramètres suivis lors des analyses chimiques sont :

- La turbidité ;
- Les nitrates ;
- Les pesticides : Triazines, métabolites des triazines et les pesticides organophosphorés.

Les analyses ont été réalisées aux dates suivantes :

- ✓ 19/12/16 (avant le lâcher)
- ✓ 07/02/17
- ✓ 13/03/17
- ✓ 29/03/17 (après l'arrêt du lâcher).

<u>Canal de Perpignan</u>	19/12/16	07/02/17	13/03/17
Conductivité (µS/cm)	131	130	80
Turbidité (NFU)	1,90	3,00	2,00
Nitrates (mg/l)	1,4	1,8	2,2
Total des pesticides (µg/l)	<0,01	<0,01	<0,01

<u>F1 Néfiach (Pliocène)</u>	19/12/16	07/02/17	13/03/17	29/03/17
Conductivité (µS/cm)	200	200	136	199
Turbidité (NFU)	0,10	0,17	0,11	0,19
Nitrates (mg/l)	6,8	7,2	6,7	6,7
Total des pesticides (µg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

<u>P2 Néfiach (Quaternaire)</u>	19/12/16	07/02/17	13/03/17	29/03/17
Conductivité (µS/cm)	152	156	106	158
Turbidité (NFU)	0,20	0,23	0,17	0,47
Nitrates (mg/l)	2,8	3,5	3,3	4,1
Total des pesticides (µg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

<u>C3.1 (Quaternaire)</u>	19/12/16	07/02/17	13/03/17	29/03/17
Conductivité (µS/cm)	263	255	169	252
Turbidité (NFU)	0,21	0,13	0,15	0,24
Nitrates (mg/l)	11,7	13,3	12,4	12,9
Total des pesticides (µg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

<u>C3.2 (Pliocène)</u>	19/12/16	07/02/17	13/03/17	29/03/17
Conductivité (µS/cm)	234	237	159	238
Turbidité (NFU)	0,24	0,21	0,15	0,36
Nitrates (mg/l)	7,7	9,8	9,2	9,3
Total des pesticides (µg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

<u>C1.1 (Quaternaire)</u>	19/12/16	07/02/17	13/03/17	29/03/17
Conductivité (µS/cm)	149	149	101	146
Turbidité (NFU)	0,15	0,19	0,20	0,32
Nitrates (mg/l)	3,5	4,1	3,4	3,6
Total des pesticides (µg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

<u>C1.2 (Pliocène)</u>	19/12/16	07/02/17	13/03/17	29/03/17
Conductivité (µS/cm)	199	198	133	195
Turbidité (NFU)	0,19	0,25	0,23	0,25
Nitrates (mg/l)	4,2	5,5	4,2	4,2
Total des pesticides (µg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

D'après les analyses physico-chimiques, les eaux des forages AEP sont conformes aux limites de qualité.

A la date du 13/03/17, la conductivité était plus basse dans l'ensemble des ouvrages (Quaternaire et Pliocène). Au 29/03/17, les valeurs de conductivité sont sensiblement égales aux valeurs avant le lâcher (19/12/16) et au 07/02/17.

Les eaux des ouvrages sont peu minéralisées, avec parfois des valeurs en dessous de la référence de qualité pour la conductivité électrique de l'eau (référence de qualité entre 200 et 1 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C).

Les lâchers des eaux du canal de Perpignan dans le Boulès n'ont pas entraîné de dégradations sur la qualité des eaux des ouvrages AEP.

Annexe 2 : Analyses chimiques

5.5. Conclusion

Les eaux du lâcher s'infiltrent bien dans les alluvions du Boulès (cf. IV.3).

Les ouvrages du Quaternaire sont d'avantage influencés par le lâcher que ceux du Pliocène. L'augmentation du niveau piézométrique est plus importante pour le Quaternaire que le Pliocène.

La nappe quaternaire alimente par drainance la nappe pliocène. Elles évoluent de la même manière, avec une charge hydraulique supérieure pour le quaternaire (drainance descendante).

Sur l'ensemble de l'étude de recharge, il est difficile de mettre en avant les proportions d'apport d'eau provenant des pluies, ainsi que la mise en eau naturelle du Boulès et l'apport du lâcher.

L'ouvrage 7.1 (Quaternaire) a très légèrement varié en température et conductivité. Ces paramètres diminuent en continu pendant la durée de l'expérimentation.

Les ouvrages les plus proches de la zone d'infiltration et du Boulès réagissent plus rapidement et leurs variations sont plus marquées.

La recharge artificielle permet aussi une augmentation du niveau piézométrique du Pliocène par transfert de pression. Le transfert de masse a été observé par la diminution globale de la température sur les piézomètres (suivi continu) et une baisse de conductivité sur les ouvrages AEP le 13/03/17 du Quaternaire et du Pliocène.

V. Les cartes piézométriques du Quaternaire

1. Présentation

Les cartes piézométriques sont établies avec les valeurs de niveaux d'eau dans les ouvrages à une date donnée. Ces cartes permettent d'apprécier le comportement hydrodynamique de l'aquifère.

La carte de la surface piézométrique d'une nappe permet de définir les conditions d'écoulement des eaux qui circulent à la surface de la nappe.

Elles permettent également l'étude de la fluctuation dans le temps des niveaux piézométriques et donc l'évaluation de la réserve de la nappe et des conditions d'alimentation.

2. Interprétations des cartes piézométriques

La surface piézométrique des nappes libres (quaternaires) est représentée par des courbes de niveaux dites isopièzes, c'est à dire des courbes d'égale altitude (côte NGF).

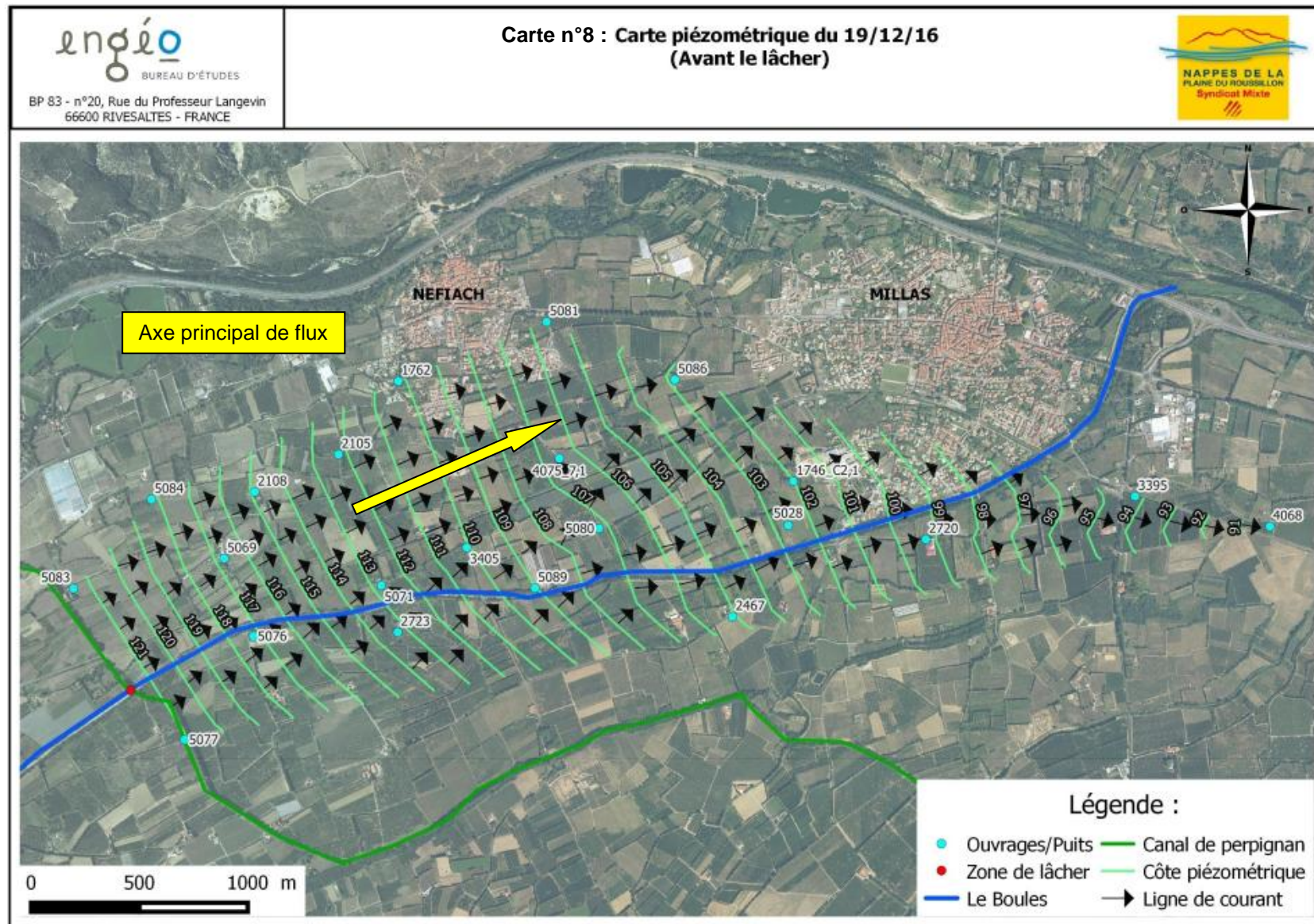
2.1. Sens d'écoulement de la nappe

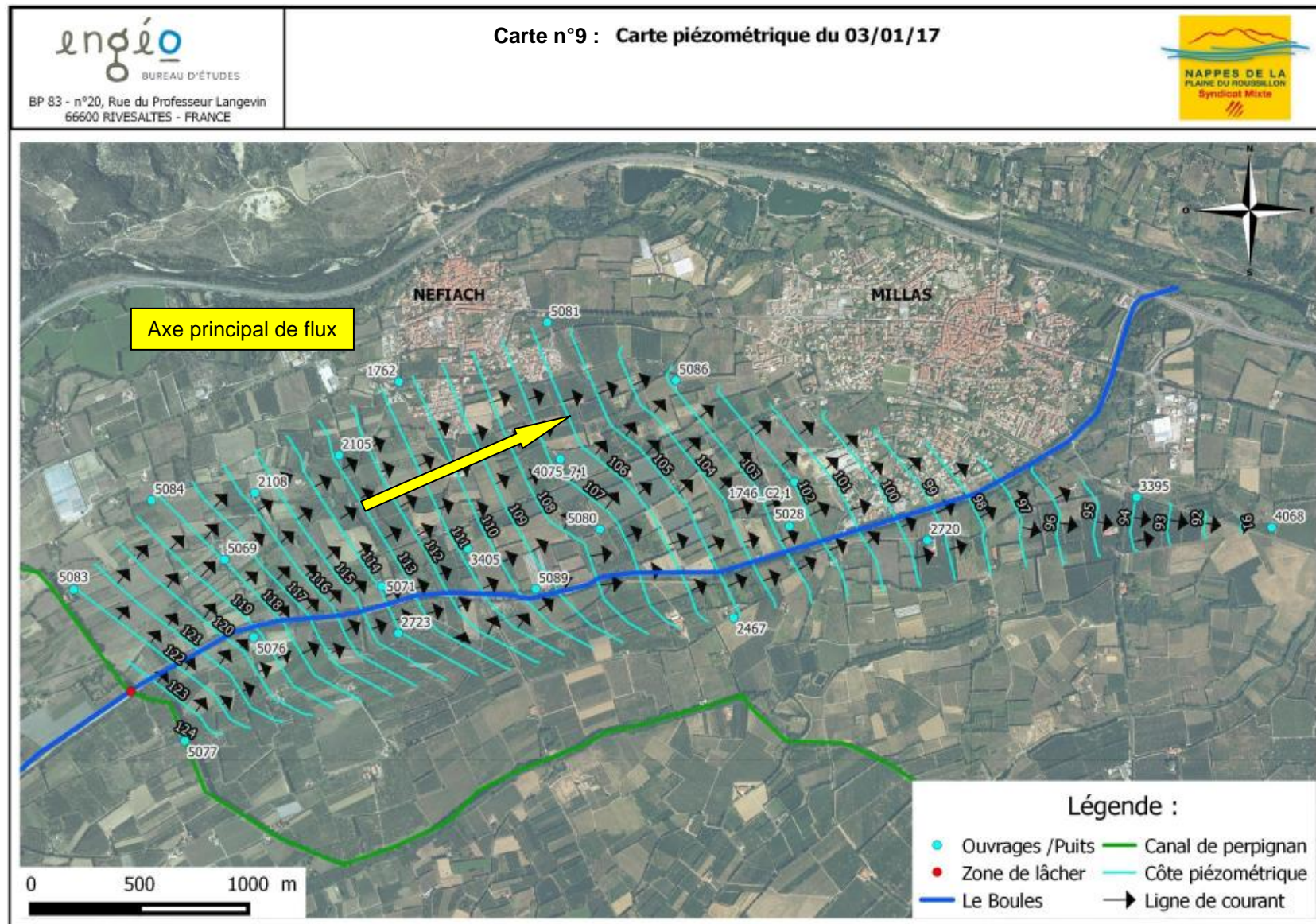
Les lignes de courant indiquent le sens d'écoulement général de la nappe, qui se fait de l'amont (fort potentiel hydraulique) vers l'aval (faible potentiel hydraulique).

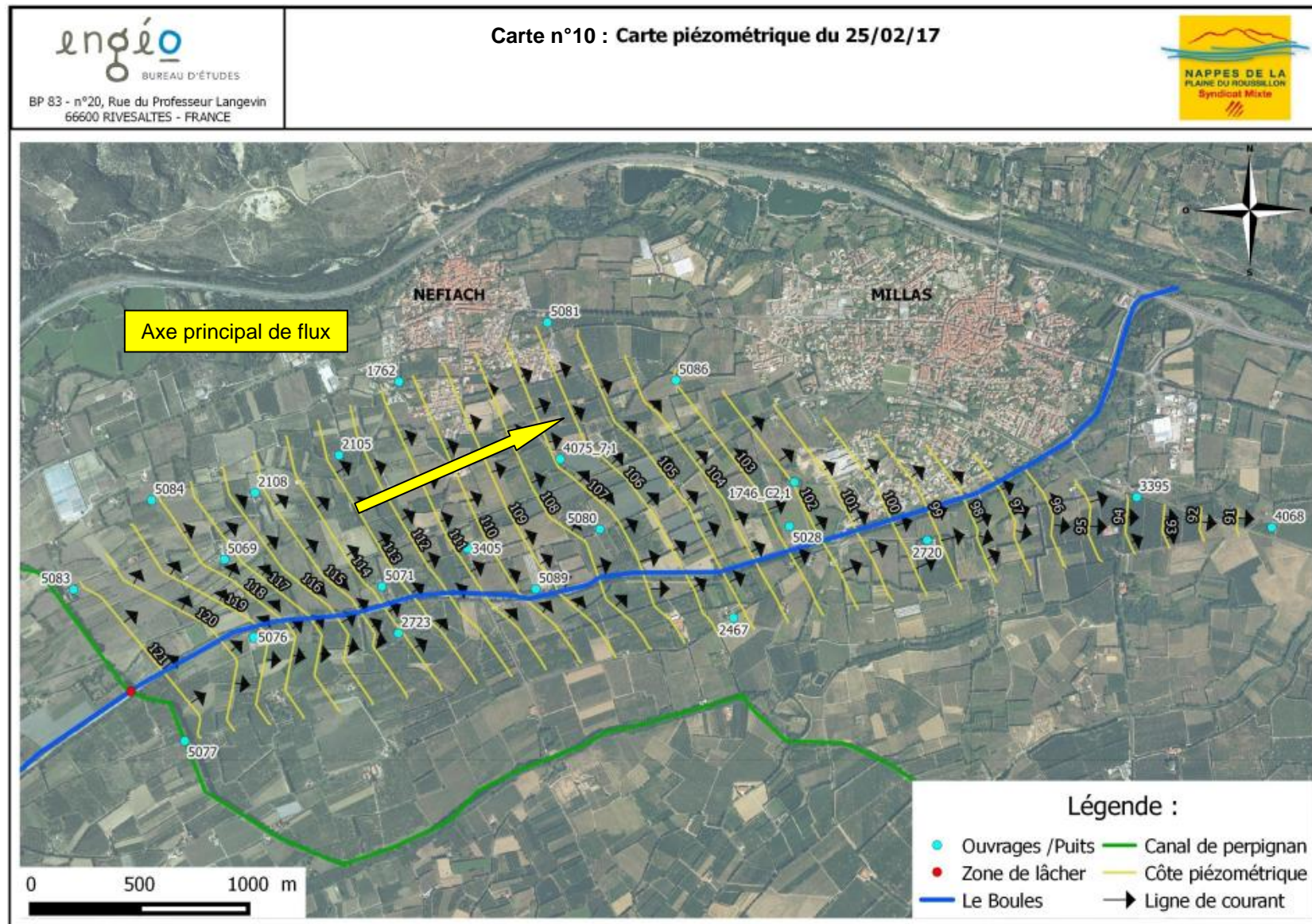
Le tracé des lignes de courant permet d'identifier l'axe de drainage : c'est un axe de convergence des lignes de courant, il matérialise un secteur d'écoulement privilégié de la nappe.

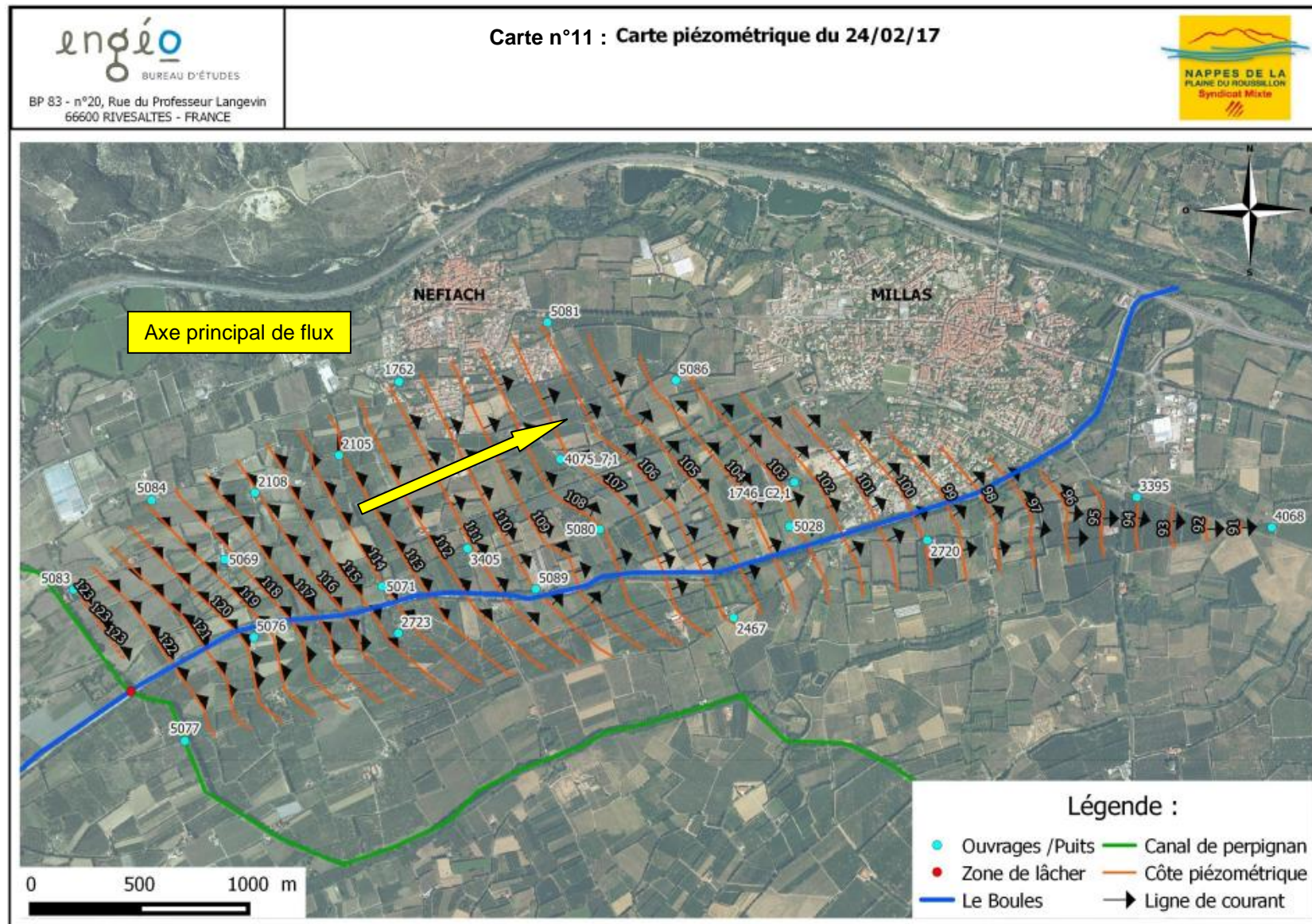
- ▶ La nappe s'écoule d'Ouest-SO vers l'Est-NE dans le secteur d'étude ;
- ▶ Les lâchers n'ont pas modifié le sens d'écoulement de la nappe ;
- ▶ Au niveau de l'ouvrage 5080, les lignes de courant sont divergentes.

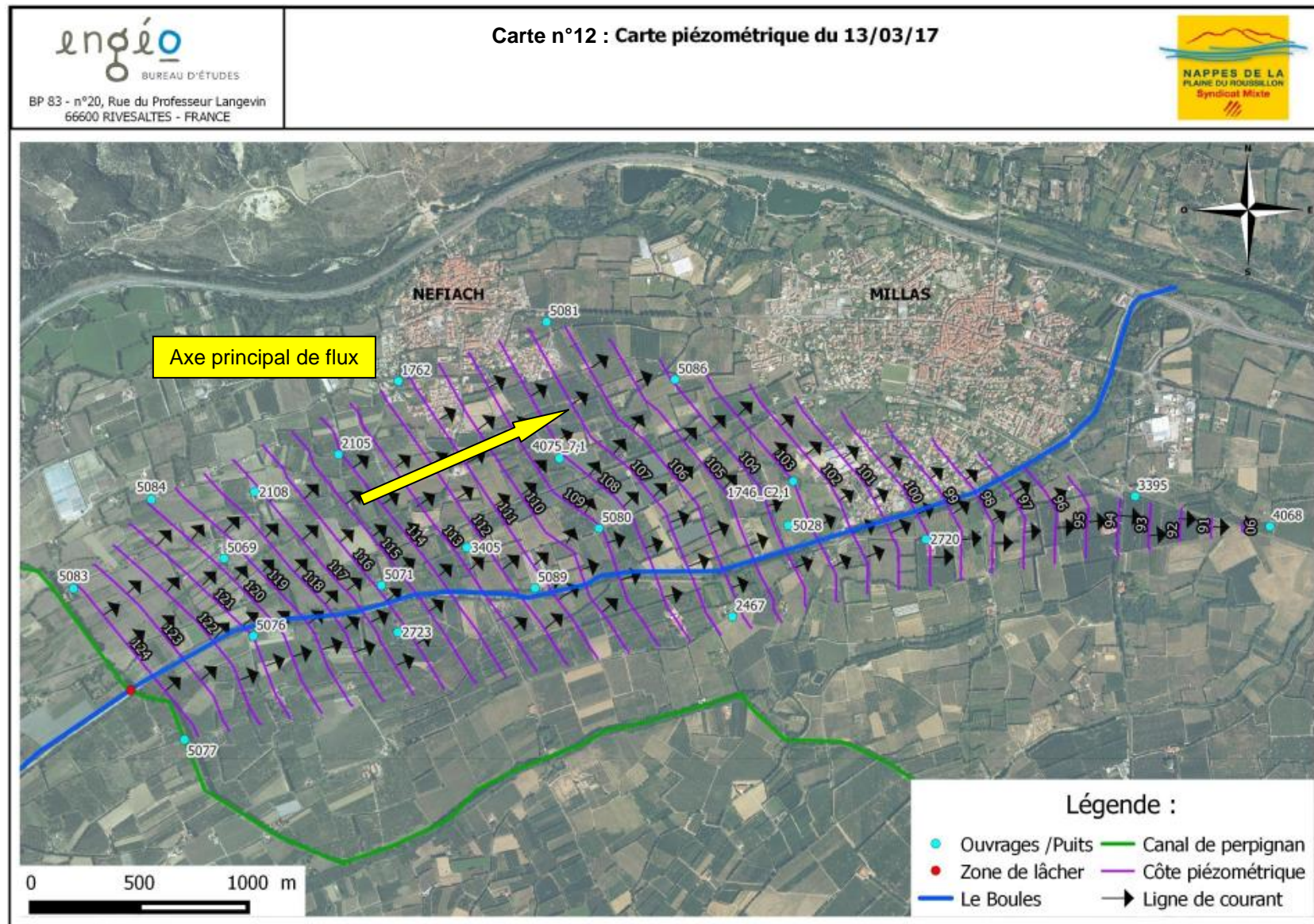
Carte 8 : Carte piézométrique du 19/12/2016
Carte 9 : Carte piézométrique du 03/01/2017
Carte 10 : Carte piézométrique du 25/01/2017
Carte 11 : Carte piézométrique du 24/02/2017
Carte 12 : Carte piézométrique du 13/03/2017
Carte 13 : Carte piézométrique du 29/03/2017

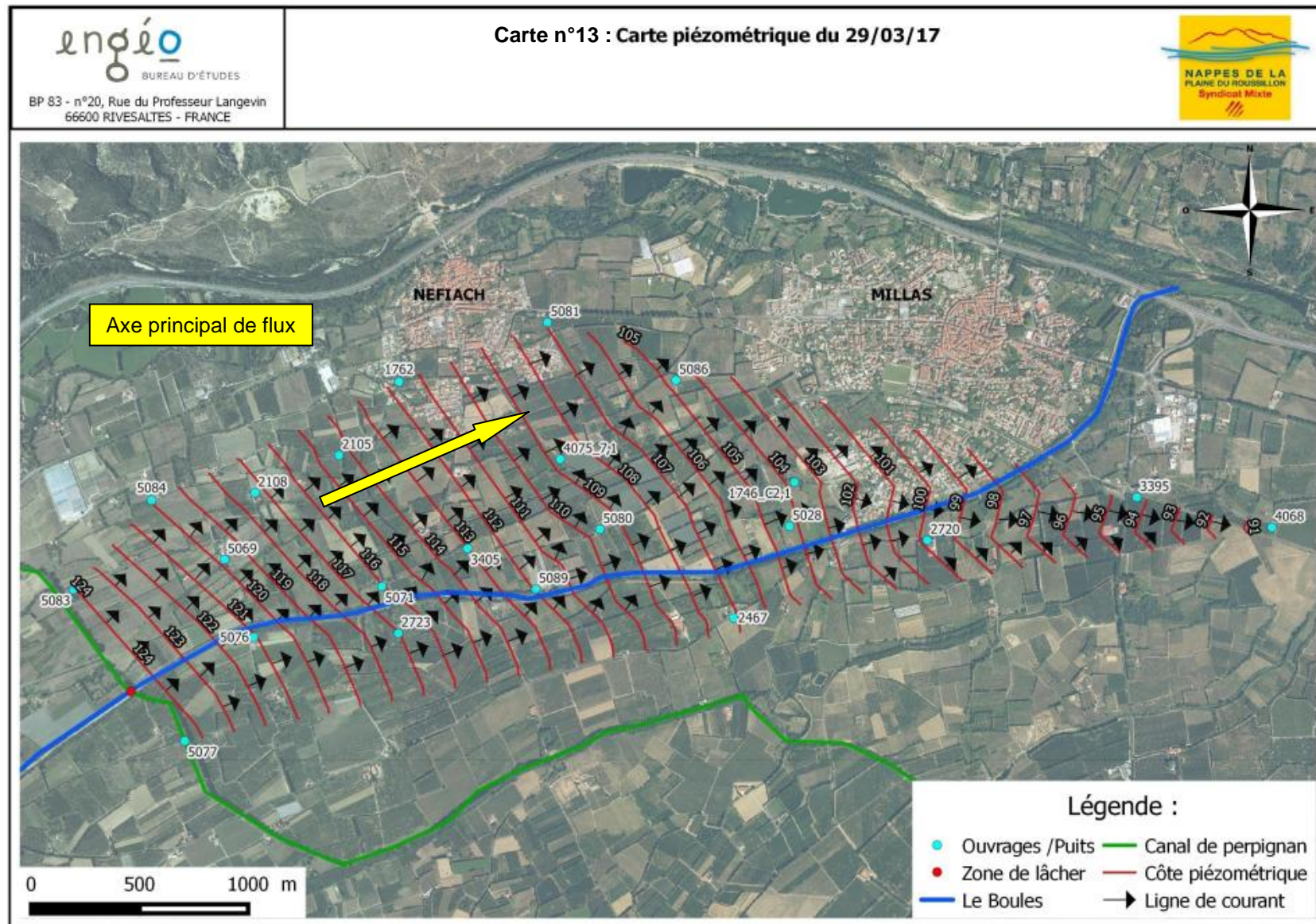












2.2. Le gradient hydraulique

Le gradient hydraulique est la différence piézométrique entre deux points de la surface piézométrique, par unité de longueur, mesurée le long d'une ligne de courant. Il correspond à la pente de la surface piézométrique.

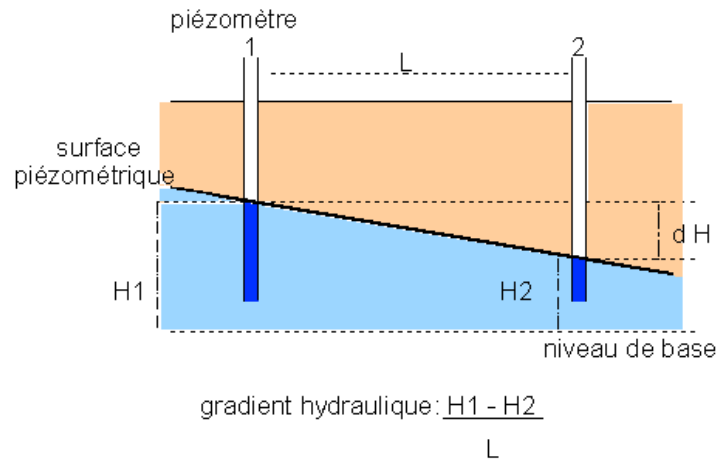


Figure 26 : Schéma du calcul du gradient hydraulique par la méthode de la carte piézométrique

	5076 (m NGF)	5071 (m NGF)	Gradient hydraulique
19/12/2016	117,282	112,705	0,0074
03/01/2017	119,332	113,9	0,0085
25/01/2017	119,572	113,903	0,0089
24/02/2017	119,712	114,047	0,0089
13/03/2017	120,992	115,82	0,0081
29/03/2017	121,102	116,045	0,0079

Tableau 9 : Gradient hydraulique calculé à 620 mètres de la zone du lâcher
(Distance entre les deux puits 5076 et 5071 de 639 m)

	3405 (m NGF)	5080 (m NGF)	Gradient hydraulique
19/12/2016	110,077	107,253	0,0046
03/01/2017	110,717	107,543	0,0051
25/01/2017	110,637	107,603	0,0049
24/02/2017	111,157	108,113	0,0049
13/03/2017	112,597	109,093	0,0057
29/03/2017	113,017	109,673	0,0054

Tableau 10 : Gradient hydraulique calculé à environ 1,7km de la zone du lâcher
(Distance entre les deux puits 3405 et 5080 de 617 m)

Le gradient hydraulique est plus important à l'abord de la zone du lâcher. Plus on s'éloigne du lâcher, plus le gradient hydraulique diminue. Celui-ci augmentera sur les ouvrages utilisés en pompage.

2.3. Comparaison à différentes dates

La comparaison des niveaux piézométriques (avec l'état initial) met en évidence l'évolution de la nappe du quaternaire dans le secteur d'étude.

- Après 15 jours de lâcher, sur environ 650 m depuis le point du lâcher le long du Boulès, le niveau piézométrique de la nappe a augmenté au minimum de 2 mètres (*Carte n°11*). L'influence du lâcher se fait ressentir jusqu'à 2,9km le long du Boulès.
- Un mois après le début de l'étude (25/01/2017) se dessine une zone de recharge à proximité du point de lâcher sur le Boulès. Cette zone de recharge s'observe par l'augmentation du gradient hydraulique (*Carte n°12*).
- En fin d'étude, au niveau de la zone de recharge, se trouvant à 450 m du point du lâcher, le niveau de la nappe Quaternaire a augmenté de 3,6 m. Cette zone s'étend sur 50 m le long du Boulès.
- Sur 4 km en aval du Boulès par rapport au point du lâcher, le niveau piézométrique est remontée (*Carte n°14*). De plus, c'est sur cette même zone que la conductivité a le plus variée lors de l'essai de la recharge artificielle.

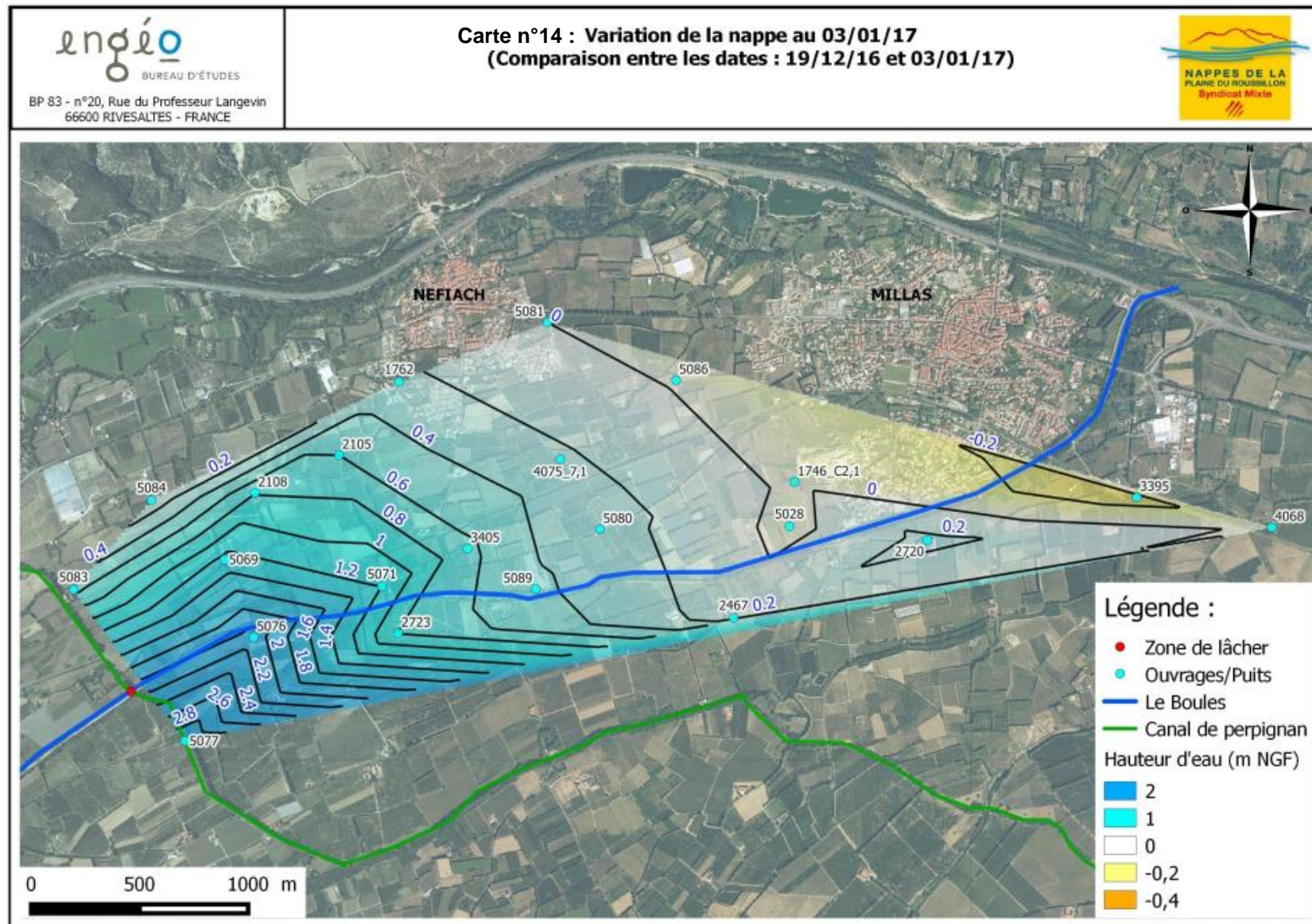
Le lâcher a donc eu une influence sur le niveau piézométrique de la nappe. Son influence se fait ressentir sur environ 4 km (variation au-delà de 0 m).

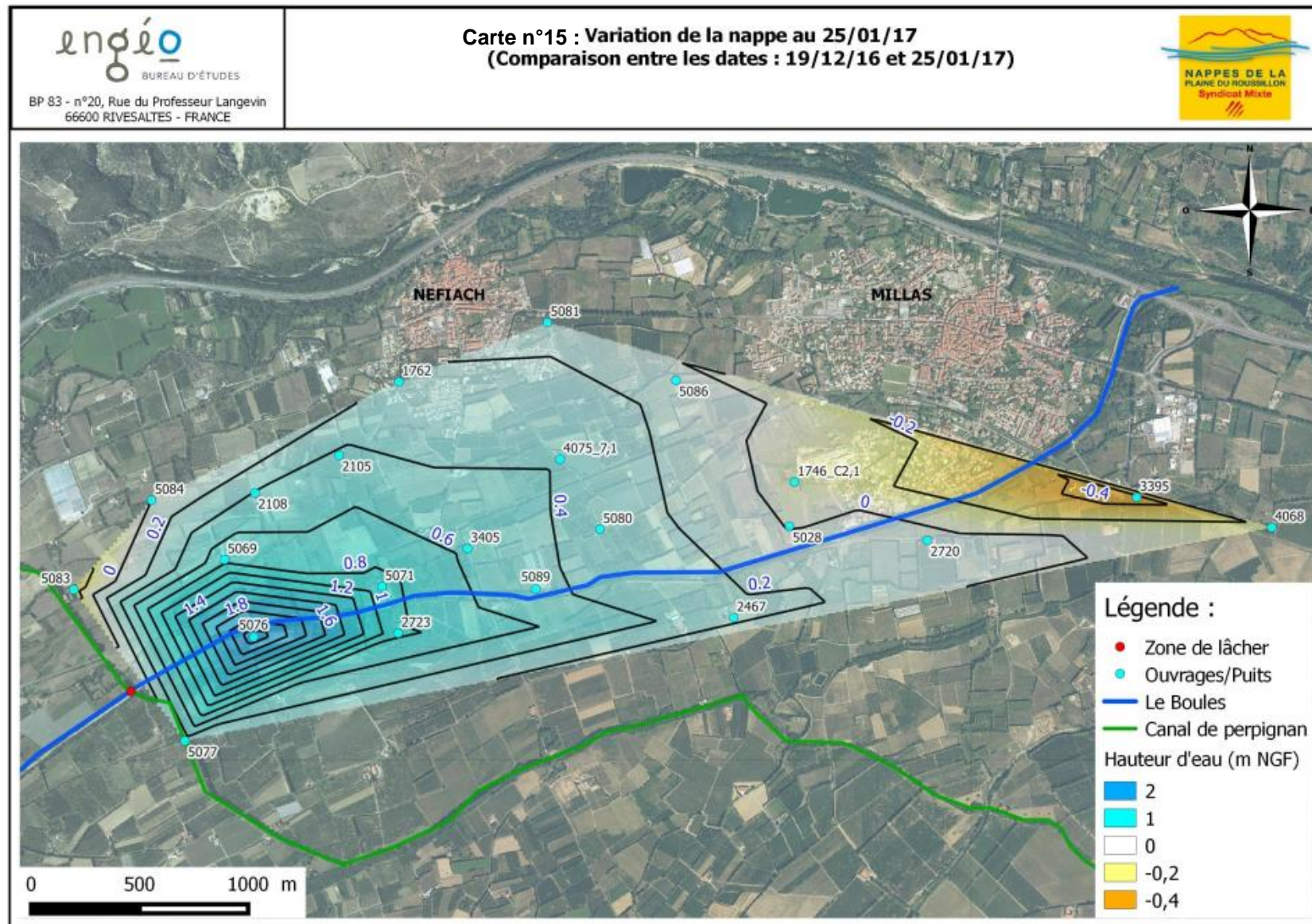
Carte 14 : Variation de la nappe entre l'état initial et le 03/01/2017

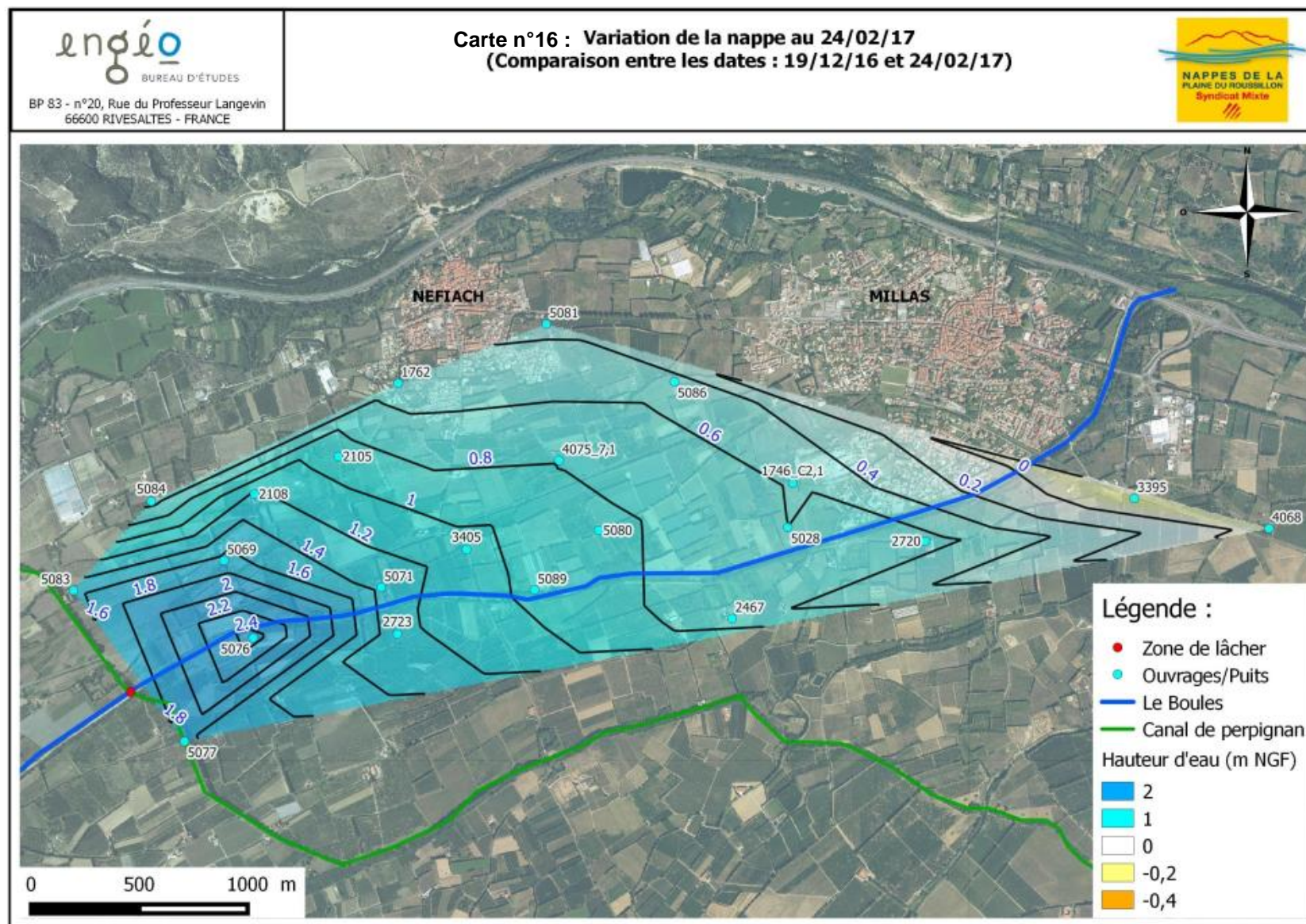
Carte 15 : Variation de la nappe entre l'état initial et le 25/01/2017

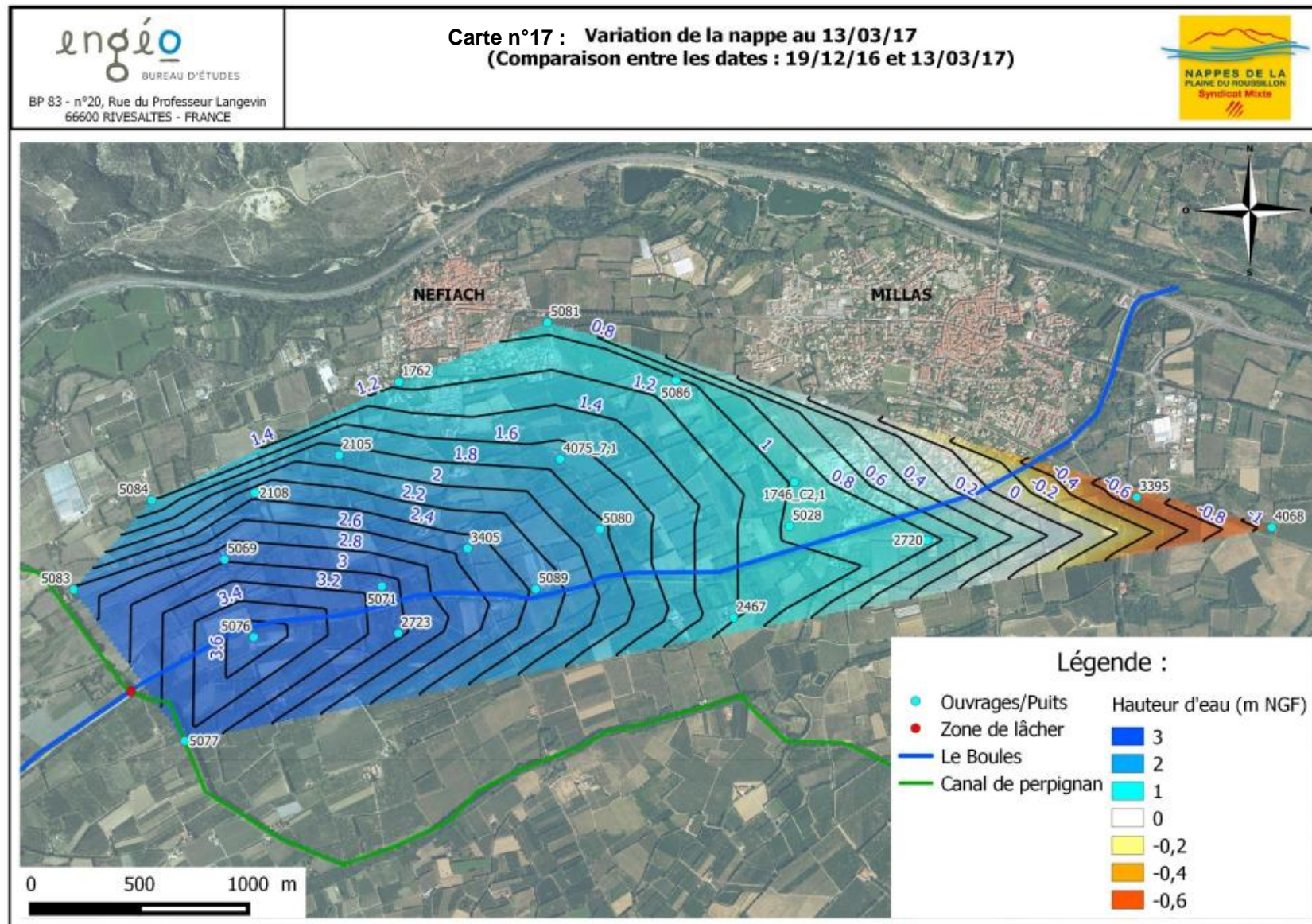
Carte 16 : Variation de la nappe entre l'état initial et le 24/02/2017

Carte 17 : Variation de la nappe entre l'état initial et le 13/03/2017









2.4. Les vitesses de transfert

Les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère du quaternaire sont connus dans le secteur d'étude par la réalisation de nombreux forages AEP (Quaternaire) et essais de pompage associés.

Les paramètres pris en considération pour calculer une vitesse de transfert entre la zone d'infiltration (proche du piézomètre n°5076) et le piézomètre C2.1 sont définis comme suit [1] :

- Transmissivité (T) de $7,5 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ au niveau du C2.1 ;
- Coefficient d'emménagement (S) : 3 % ;

Pour une nappe libre, le coefficient d'emménagement est assimilable à la porosité efficace de l'aquifère (n_e).

- Epaisseur de la nappe (e) : 10 mètres ;
- Perméabilité (K) : $K = T / e = 7,5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$,
- Gradient hydraulique calculé (cf. tableau) :

	5076 (m NGF)	C2.1 (m NGF)	Gradient hydraulique
19/12/2016	117,222	102,026	0,0058
03/01/2017	119,332	101,915	0,0067
25/01/2017	119,572	101,944	0,0068
24/02/2017	119,712	102,612	0,0066
13/03/2017	120,992	103,002	0,0069
29/03/2017	121,102	103,751	0,0067

Tableau 11 : Gradient hydraulique calculé à 2 600 mètres de la zone d'infiltration (Distance entre les deux puits 5076 et C2.1 de 2 600 m)

Le gradient hydraulique (i) moyen est de 0,0067.

Calcul de la vitesse effective :

$$\text{Vitesse effective} = \frac{K * i}{n_e} = 1,68 \times 10^{-3} \text{ m/s } (\approx 145 \text{ m/j})$$

Rappel : Lors du calcul de vitesse de transfert effectuée sur l'ouvrage C2.1 en rapport avec les variations de la conductivité, la vitesse était estimée à $1,5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ (130 m/j) par rapport à la zone d'infiltration.

La vitesse de transfert calculée par les paramètres hydrodynamiques de la nappe et celle déterminée par la variation de la conductivité (§ IV.5.3.1) sont du même ordre de grandeur.

En comparant avec les variations de température sur l'ouvrage C2.1, celle-ci varie au bout de 24 jours après le début de l'étude. D'après la vitesse de transfert, celle-ci aurait du varier au bout de 18 jours.

D'un point de vu piézométrique, la variation est plus rapide. L'augmentation du niveau de la nappe se fait au bout de 14 jours.

La vitesse de transfert de pression est plus rapide que la vitesse de transfert de masse.

[1] : Source :

- *Avis sanitaire définitif – Forages de Millas et Saint-Félicien-d'Amont en substitution des ouvrages superficiels de production du Mas Gravas, 30 juin 1997, SOLA Christian.*
- *Bilan de productivité des sites 1 et 3 de Millas et Saint-Félicien-d'Amont, novembre 1997, GEO PROSPECT*

VI. Influence sur les forages AEP

1. Les volumes pompés durant l'étude

1.1.1. Rappel des situations hydrologiques

L'année 2014 - 2015 est marquée par de fortes précipitations en novembre 2014 et mars 2015 favorisant la remontée des nappes avant l'augmentation des prélèvements en période estivale (source : *bulletin de situation des nappes souterraines de la plaine du Roussillon au 15 aout 2015*, Syndicat Mixte des Nappes de la Plaine du Roussillon).

L'année 2015 - 2016 présente de faibles précipitations entraînant une faible recharge des nappes. Les nappes sont déficitaires par rapport aux normales interannuelles (source : *bulletin de situation des nappes souterraines de la plaine du Roussillon au 15 aout 2016*, Syndicat Mixte des Nappes de la Plaine du Roussillon).

1.1.2. Les volumes AEP pompés durant l'étude

Le démarrage et le débit des pompes sont adaptés selon le niveau des nappes.

■ Le forage C1.1 (Quaternaire) :

Les prélèvements sur l'ouvrage AEP C1-1 de Millas(Quaternaire) durant l'étude de recharge sont plus élevés en mars 2017. Après, la fin du lâcher mi-mars, les prélèvements continuent d'augmenter d'avril à juillet.

Il est possible que la recharge ait permis de prélever plus d'eau dans la nappe. En effet, les prélèvements en 2017 sont plus importants qu'en 2016 et 2015.

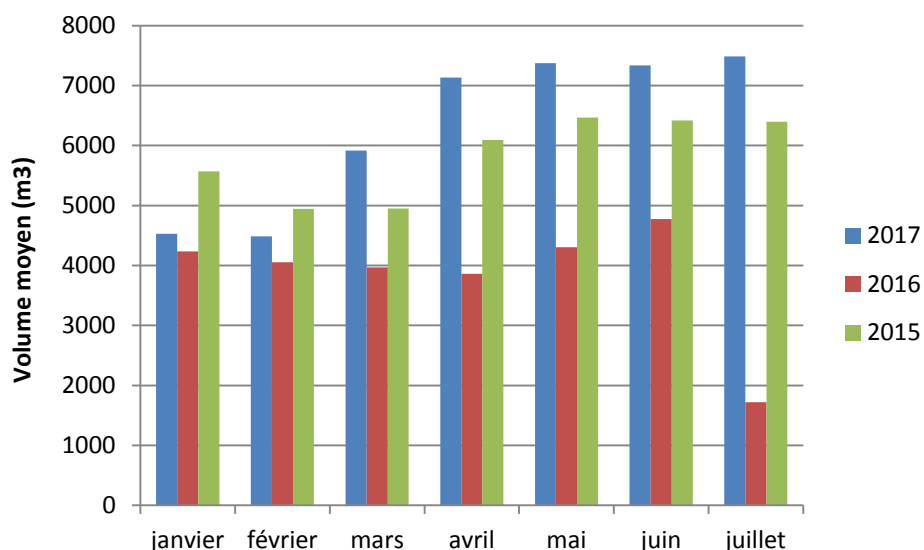


Figure 27 : Volumes moyens prélevés sur le forage AEP C1-1 du Quaternaire

■ **Le forage C1.2 (Pliocène) :**

Les prélèvements sur l'ouvrage AEP C1-2 de Millas se trouvant dans le Pliocène ne présentent pas d'augmentation par rapport aux deux années précédentes.

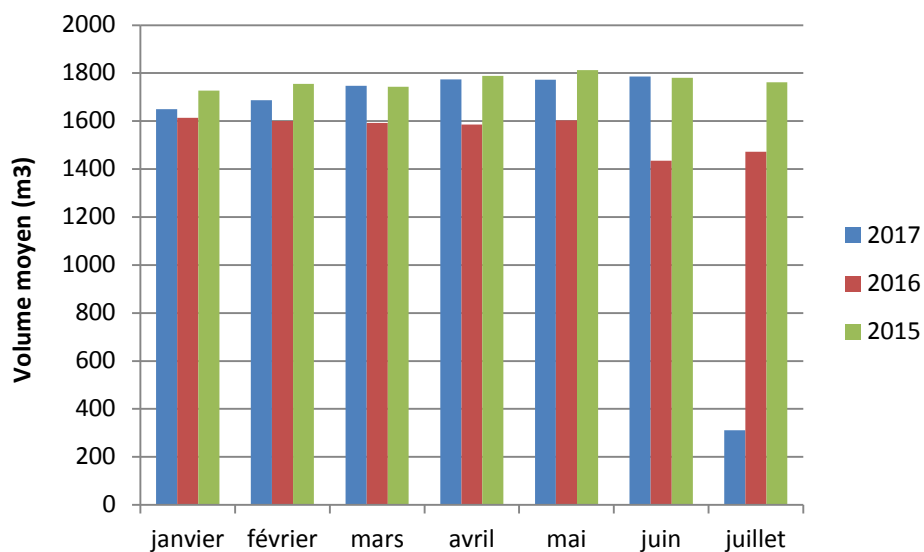


Figure 28 : Volumes moyens prélevés sur le forage AEP C1-2 du Pliocène

■ **Le forage C3.1 (Quaternaire) :**

En 2015, les volumes prélevés sur l'ouvrage AEP C3-1 de St Féliu (Quaternaire) de janvier à juillet étaient inférieurs à 30 m³ par mois. En janvier 2016, le prélèvement sur cet ouvrage était de 5 m³. Seuls les mois de février à juillet peuvent être comparés en 2016 et 2017.

Seulement en janvier 2017, il y a eu un prélèvement moyen sur l'ouvrage de 780 m³.

Les prélèvements sur l'ouvrage ne présentent pas d'augmentation significative due au lâcher.

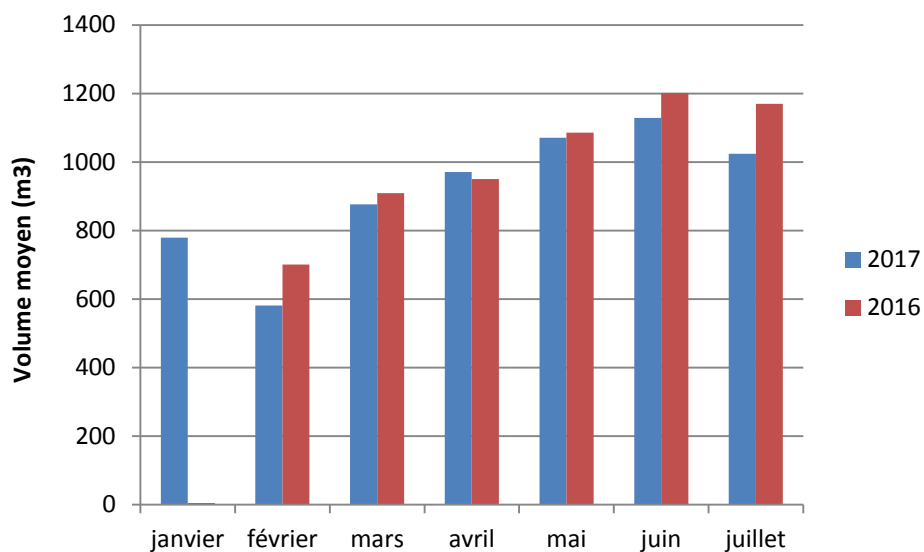


Figure 29 : Volumes moyens prélevés sur le forage AEP C3-1 du Quaternaire

▪ **Le forage C3.2 (Pliocène) :**

Les prélèvements sur l'ouvrage AEP C3-2 de St-Féliu se trouvant dans le Pliocène ont été plus conséquents de janvier à mars, comparé aux autres années où le forage n'était pas ou peu utilisé.

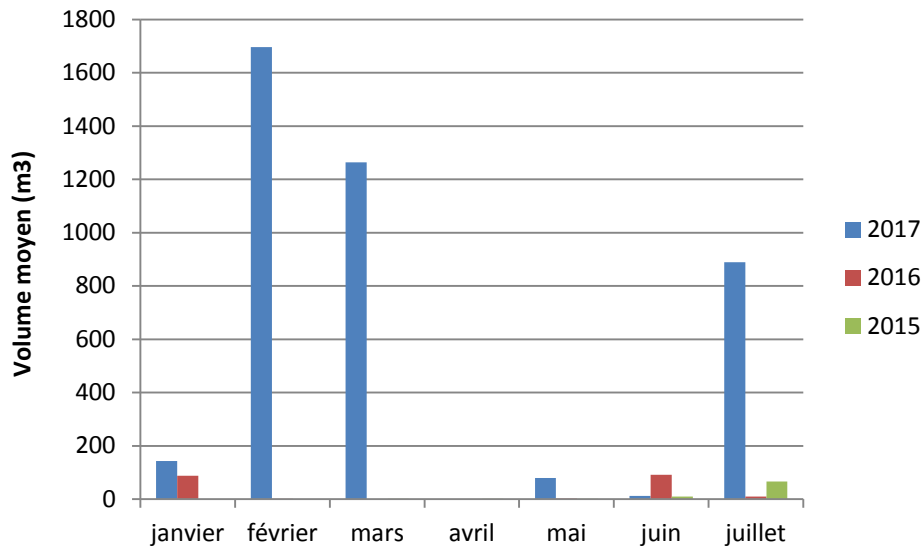


Figure 30 : Volumes moyens prélevés sur le forage AEP C3-2 du Pliocène

Sur le site C1, le Quaternaire a été plus sollicité cette année (2017) que les années précédentes. De janvier à juillet, c'est 3 430 m³ en plus que 2015 et 17 350 m³ que 2016.

Sur le site C3, il est difficile d'observer quelque chose, au vu de la position des forages qui se situent en limite du secteur d'étude.

VII. Bilan sur la recharge artificielle

1. Conclusion sur l'expérimentation

La recharge artificielle par le lâcher des eaux du canal de Perpignan dans le Boulès à :

- Un impact **quantitatif positif** sur la nappe du Quaternaire : le niveau piézométrique de la nappe quaternaire est remontée de + 3,6 mètres sur la zone de recharge ;
- N'entraîne **pas de dégradation de la qualité des eaux** ;
- L'influence de l'infiltration des eaux se fait ressentir sur 4 km le long du Boulès ;
- Influence piézométrique du Pliocène : augmentation de 1,4 à 2 m⁶ ;
- Une augmentation des prélèvements AEP par rapport à 2015 et 2016.

2. Les perspectives

Cet essai de recharge artificielle de nappe libre permet d'envisager et d'apporter une solution sur la gestion quantitative des nappes souterraines.

Toutefois, il conviendra :

- D'évaluer les coûts d'une telle expérimentation de recharge artificielle (équipements, quantification, etc) ;
- De répéter l'expérimentation selon un protocole à plus grande échelle (en débits et en donnée) et peut-être aussi dans d'autres secteurs hydrogéologiquement favorables.

⁶ Manque de piézomètre dans le Pliocène

VIII. Bibliographie

Fascicule de cours, Hydrogéologie, Université Hassan II Ain Chock, Faculté des sciences, Casablanca, département de géologie.

Dossier de demande d'autorisation temporaire pour l'essai de recharge artificielle de nappe d'eau souterraine par infiltration d'eau dans le Boulès, sur la commune d'Ille sur Têt, Syndicat Mixte des nappes de la plaine du Roussillon, 02/06/2016.

Chapitre B, les nappes Plio-quaternaire, extrait du SAGE des nappes Plio-quaternaire de la plaine du Roussillon.

Principes et méthodes de l'hydrogéologie, G. Castany, Dunod Université, 1982

Bulletin de situation des nappes souterraines de la plaine du Roussillon au 15 aout 2015 et 2016, Syndicat Mixte des Nappes de la Plaine du Roussillon).

IX. Liste des figures, tableaux et cartes

Liste des figures :

Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude.....	3
Figure 2 : Carte géologique schématisée des Pyrénées-Orientales	6
Figure 3 : Le Boulès au niveau du lâcher (source : ENGEO).....	9
Figure 4 : Localisation de la zone du lâcher.....	11
Figure 5 : Vue du lâcher dans le Boulès en eau dû aux pluies	12
Figure 6 : Echelle limnimétrique et sonde de pression	15
Figure 7 : Planning des campagnes de mesures.....	16
Figure 8 : Données pluviométriques journalières	17
Figure 9 : Volume lâcher dans le Boulès par phase de lâcher (m^3).....	19
Figure 10 : Variation du débit du Boulès au niveau du pont de Millas.....	21
Figure 11 : Evolution du débit de la fontaine de Millas durant l'étude	23
Figure 12 : Variations du niveau piézométrique sur les ouvrages mesurés en continu.....	26
Figure 13 : Variations du niveau piézométrique sur les ouvrages C2.2 et C2.1.....	27
Figure 14 : Niveau piézométrique sur le piézomètre C2.1 durant 2012 et 2013	28
Figure 15 : Niveau piézométrique sur le piézomètre C2.1 durant 2014 et 2015	28
Figure 16 : Niveau piézométrique sur le forage C2.1 de 2016 à 2017 au cours de laquelle les lâchers ont eu lieu.	29
Figure 17 : Mise en eau naturellement du Boulès après l'épisode pluvieux de février 2017.....	30
Figure 18 : Variation piézométrique en fonction de la distance au point du lâcher.....	31
Figure 19 : Variation du niveau piézométrique sur les ouvrages	32
Figure 20 : Variation de la température sur les ouvrages mesurés en continu.....	34
Figure 21 : Variation de la température sur les ouvrages	36
Figure 22 : Zoom des variations de la température sur les ouvrages.....	37
Figure 23 : Variation de la conductivité sur les ouvrages mesurés en continu.....	39
Figure 25 : Variation de la conductivité sur les ouvrages.....	42
Figure 24 : Comparaison de la variation de la conductivité sur les ouvrages 5089 et C2.1 (Quaternaire).....	43
Figure 26 : Schéma du calcul du gradient hydraulique par la méthode de la carte piézométrique	57
Figure 27 : Volumes moyens prélevés sur le forage AEP C1-1 du Quaternaire	64
Figure 28 : Volumes moyens prélevés sur le forage AEP C1-2 du Pliocène.....	65
Figure 29 : Volumes moyens prélevés sur le forage AEP C3-1 du Quaternaire	65
Figure 30 : Volumes moyens prélevés sur le forage AEP C3-2 du Pliocène.....	66

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Débit estimé du lâcher dans le Boulès	18
Tableau 3 : Arrêt et redémarrage du lâcher d'eau dans le Boulès	19
Tableau 4 : Débit du Boulès au niveau du pont de Millas	20
Tableau 5 : Débit de la fontaine de Millas (l/s)	22
Tableau 6 : Distance des piézomètres au point de lâcher et du Boulès.....	24
Tableau 8 : Variation piézométrique entre le 19/12/16 et le 03/01/17, et le 13/03/17 pour les ouvrages les plus éloignés du lâcher	30
Tableau 7 : Variation piézométrique entre le 19/12/16 et le 03/01/17, et le 13/03/17 pour les ouvrages les plus proches du lâcher	31
Tableau 8 : Variation de température durant l'étude	33
Tableau 9 : Gradient hydraulique calculé à 620 mètres de la zone du lâcher.....	57
Tableau 10 : Gradient hydraulique calculé à environ 1,7km de la zone du lâcher.....	57
Tableau 11 : Gradient hydraulique calculé à 2 600 mètres de la zone d'infiltration.....	63

Liste des cartes :

Carte 1 : Situation de la zone d'étude	3
Carte 2 : Extrait de la carte géologique.....	6
Carte 3 : Localisation des ouvrages.....	12
Carte 4 : Localisation des ouvrages AEP.....	12
Carte 5 : Variation de la conductivité dans les ouvrages entre le 23/12/16 et le 07/02/17	44
Carte 6 : Variation de la conductivité dans les ouvrages entre le 23/12/16 et le 13/03/17	44
Carte 7 : Variation de la conductivité dans les ouvrages entre le 23/12/16 et le 29/03/17	44
Carte 8 : Carte piézométrique du 19/12/2016.....	50
Carte 9 : Carte piézométrique du 03/01/2017.....	50
Carte 10 : Carte piézométrique du 25/01/2017	50
Carte 11 : Carte piézométrique du 24/02/2017	50
Carte 12 : Carte piézométrique du 13/03/2017	50
Carte 13 : Carte piézométrique du 29/03/2017	50
Carte 14 : Variation de la nappe entre l'état initial et le 03/01/2017.....	58
Carte 15 : Variation de la nappe entre l'état initial et le 25/01/2017.....	58
Carte 16 : Variation de la nappe entre l'état initial et le 24/02/2017.....	58
Carte 17 : Variation de la nappe entre l'état initial et le 13/03/2017.....	58