

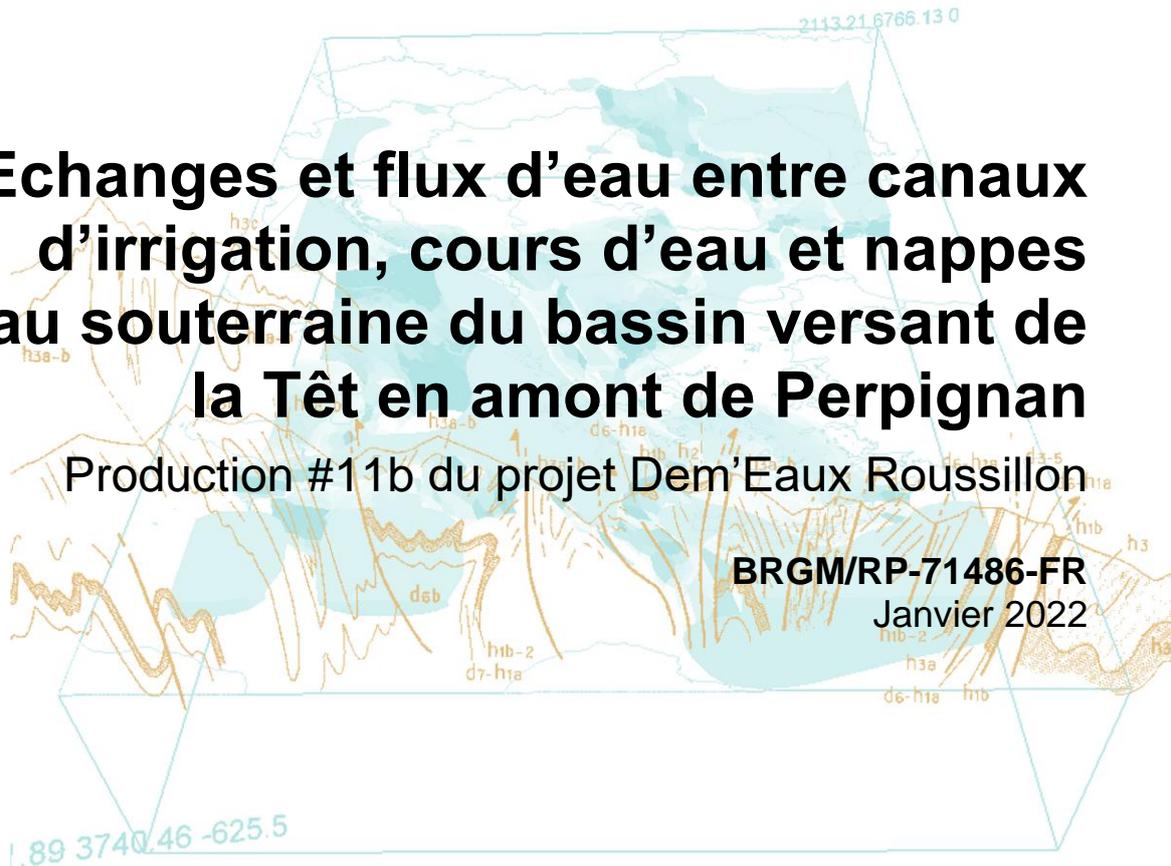


Echanges et flux d'eau entre canaux d'irrigation, cours d'eau et nappes d'eau souterraine du bassin versant de la Têt en amont de Perpignan

Production #11b du projet Dem'Eaux Roussillon

BRGM/RP-71486-FR

Janvier 2022



Echanges et flux d'eau entre canaux d'irrigation, cours d'eau et nappes d'eau souterraine du bassin versant de la Têt en amont de Perpignan

Production #11b du projet Dem'Eaux Roussillon

BRGM/RP-71486-FR
Janvier 2022

Réalisée avec le concours financier de l'Etat et de la Région Occitanie (dans le cadre du Contrat de Plan Etat-Région 2015-2020), du FEDER, de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, de Perpignan Méditerranée Métropole et de Conseil Départemental des Pyrénées Orientales



B. Ladouche ; Y. Caballero

Vérificateur :

Nom : J.-C. Maréchal
Fonction : Responsable Unité DEPA/NRE
Date : 26/01/2022

Signature :

Approbateur :

Nom : A. Blum
Fonction : Directrice Régionale DAT/OCC
Date : 03/02/2022

Signature :

Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.
Contact : qualite@brgm.fr



Mots-clés : Irrigation ; Bilan Eau ; Relation nappe-rivière ; Canaux ; Pyrénées Orientales ; Plaine du Roussillon

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Ladouche B., Caballero, Y (2022) – Echanges et flux d'eau entre canaux d'irrigation, cours d'eau et nappes d'eau souterraine du bassin versant de la Têt en amont de Perpignan. Production #11b du projet Dem'Eaux Roussillon, Rapport final. BRGM/RP-71486-FR, 37 p., ill., 15 fig., 2 tabl., 1 ann (18 figs.).

Synthèse

La caractérisation des échanges et flux d'eau entre les canaux d'irrigation, les cours d'eau et les nappes d'eau souterraine de l'aquifère Plio-Quaternaire du Roussillon est nécessaire si l'on veut pouvoir comprendre et simuler correctement le comportement des eaux souterraines sur le territoire de la plaine du Roussillon.

Ce rapport présente les résultats d'une campagne de mesures différentielles de débit et d'analyses géochimiques réalisée en septembre 2017, dans le cadre du projet Dem'Eaux Roussillon, sur le bassin versant de la Têt entre le barrage de Vinça et Perpignan. L'objectif de cette campagne était de quantifier le plus précisément possible les flux (dans les canaux d'irrigation, les cours d'eau et les nappes d'eau souterraine) que l'on peut observer sur ce secteur et tenter de compléter le bilan moyen (2000-2009) des flux d'irrigation en période estivale proposée par Chauveau et al. (2021).

L'interprétation des analyses chimiques et isotopiques a tout d'abord permis d'identifier les signatures chimiques des différents types d'eaux que l'on rencontre dans le système et d'en déduire, au travers des pourcentages de mélanges obtenus, les échanges entre les eaux souterraines qui circulent au sein du Quaternaire et celles de la Têt. Les eaux souterraines qui circulent dans la Quaternaire sont ainsi fortement influencées par les apports d'eau des canaux et, dans une moindre mesure, par les eaux des affluents (Boulès), en particulier dans le secteur des alluvions récentes. Les formations plus anciennes du Quaternaire ne semblent pas influencées par les apports d'eau des canaux et reçoivent une recharge plus classique, apportée par les pluies. Les signatures géochimiques et isotopiques des eaux échantillonnées permettent de mettre en évidence et de quantifier les retours d'eau souterraine à la Têt entre Rodès et Perpignan. Elles permettent également de caractériser le processus de drainance descendante, qui se traduit par la mise en place d'un flux d'eau du Quaternaire vers le Pliocène, lié aux pompages dans le Pliocène.

Le bilan hydrogéologique combinant l'analyse des résultats de débits sur le secteur irrigué grâce aux canaux, via les « Agouilles », puis sur le cours de la Têt, aux résultats des analyses géochimiques a permis de préciser de manière ponctuelle (septembre 2017) le bilan moyen proposé par Chauveau et al. (2021). En particulier, les retours d'eau souterraine à la Têt seraient un peu plus importants qu'envisagé, à cause du drainage des eaux du Quaternaire récent par la Basse, affluent qui se jette dans la Têt au niveau de Perpignan. Ainsi, entre 60 et 70% de l'eau apportée par les canaux dans le secteur reviendrait à la Têt en amont de Perpignan, en s'écoulant au sein des alluvions du Quaternaire ou bien drainée par le Boulès et la Basse. Ceci a pour conséquence de mieux contraindre la part d'eau souterraine qui s'infiltrerait vers le Pliocène par drainance descendante, qui représenterait de l'ordre de 8 à 10% du flux amené par l'ensemble des canaux dans le système, du moins, au moment de la réalisation de la campagne de mesures.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Moyens mis en œuvre.....	11
2.1. CAMPAGNE DE JAUGEAGES DIFFERENTIELS SUR LES CANAUX ET LA TET 12	
2.2. PRELEVEMENTS ET ANALYSES GEOCHIMIQUES REALISES SUR LES EAUX DE SURFACE ET LES EAUX SOUTERRAINES	13
3. Informations apportées par les analyses chimiques et isotopiques ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ et $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$).....	15
3.1. RESULTATS DE LA CAMPAGNE SPATIALE D'ECHANTILLONNAGE.....	15
3.2. MISE EN PERSPECTIVE DES RESULTATS DANS LE CONTEXTE GEOCHIMIQUE ET ISOTOPIQUE DU SECTEUR D'ETUDE	19
3.3. CARACTERISATION DES PROCESSUS AU SEIN DES NAPPES DU QUATERNAIRE 23	
3.4. CARACTERISATION DES ECHANGES NAPPE-RIVIERE	25
4. Quantification des flux et bilans	27
4.1. BILAN HYDROLOGIQUE SUR LE SYSTEME « CANAUX »	29
4.2. BILAN HYDROLOGIQUE SUR LE SYSTEME « FLEUVE TET ».....	29
4.3. BILAN HYDROGEOLOGIQUE SUR LE SYSTEME « AQUIFERES DU QUATERNAIRE »	31
5. Synthèse et conclusion	35
6. Bibliographie	37

Liste des figures

Figure 1. Contexte hydrologique et hydrogéologique de la zone d'étude lors de la «Campagne canaux des 11-12-13 septembre 2017.....	11
Figure 2. Carte de localisation des points de prélèvements pour analyses chimiques et localisation des points jaugés.	12
Figure 3. Evolution des teneurs en chlorures des eaux en fonction de la conductivité électrique mesurée in situ.....	16

Figure 4. Evolution des teneurs en chlorures en fonction de la signature isotopique de l'oxygène 18 des eaux échantillonnées	17
Figure 5. Evolution du rapport isotopique du strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) en fonction du rapport 1/Sr des eaux échantillonnées en septembre 2017.	18
Figure 6. Evolution de la signature en deutérium en fonction de la isotopique en oxygène 18 des eaux.	20
Figure 7. Report des teneurs en silice et de la signature isotopique en oxygène 18 des eaux échantillonnées en 2017 dans le contexte géochimique du secteur d'étude (modifié d'après, Ladouche et Dewandel, 2016).	22
Figure 8. Carte simplifiée de la zone d'étude.	27
Figure 9. Synoptique de synthèse des flux différentiels mesurés en Septembre 2017 sur la Têt et les canaux.	28
Figure 10. Report des bilans hydrologiques par tronçons (vue de la Têt) sur la carte de localisation de la zone d'étude.	30
Figure 11. Evolution des débits mesurés le long du lineaire de la Têt depuis la Station de Rodès (Y0464030) suivant la méthode proposée par Chauveau et al. (2021). Les débits de prise d'eau sont reportés ainsi que les retours directs jaugés. La courbe des débits de la Têt en supposant aucun apport est reporté à titre indicatif (Débit initial à Rodès-Prélèvement Brute des Canaux).	30
Figure 12. Eléments connus et inconnus du bilan hydrogéologique des formations Quaternaires de la zone d'étude.	31
Figure 13. Evolution des débits de La Basse (Banque Hydro)	32
Figure 14. Evolution des débits moyens des mois de septembre sur la période 1970-2014 (Banque Hydro)	32
Figure 15. Bilan hydrogéologique des formations Quaternaires de la zone d'étude (mois de septembre 2017).	33

Liste des tableaux

Tableau 1 : Quantification de la contribution relative des différents poles de mélange (cf. texte).24	
Tableau 2 : Contribution relative des pôles de référence définis aux signatures des eaux de la Têt sur le tronçon Rodès-Perpignan et du flux d'apport des eaux souterraines au débit de la Têt. Les Pôles P1, P2 et P3 sont définis dans le Tableau 1.	26

Liste des annexes

Annexe 1 Elements complémentaires du chapitre « <i>Etude des échanges et flux d'eau entre les canaux d'irrigation, les cours d'eau et les niveaux aquifères</i> »	39
---	----

Liste des figures en annexe

Figure A- 1. Quelques photos des jaugeages de la campagne canaux (11 au 13 septembre 2017).	41
Figure A- 2. Mesures de débit et paramètres physico-chimiques des eaux des canaux et des affluents jaugés.....	42
Figure A- 3. Mesures de débit et paramètres physico-chimiques des eaux de la Têt	43
Figure A- 4. Resultats des analyses chimiques sur les eaux de surface	44
Figure A- 5. Resultats des analyses chimiques sur les eaux de surface (suite).....	45
Figure A- 6. Résultats des analyses isotopiques sur les eaux de surface	46
Figure A- 7. Resultats des analyses chimiques sur les eaux souterraines	47
Figure A- 8. Resultats des analyses chimiques sur les eaux souterraines (suite).....	48
Figure A- 9. Résultats des analyses isotopiques sur les eaux souterraines.....	49
Figure A- 10. Gradient isotopique des pluies de la zone d'étude (d'après Salvayre et Olive, 1994)	49
Figure A- 11. Informations sur les teneurs en chlorure et nitrate des alluvions anciennes (entité hydrogéologique 671AB02) dans le secteur de St-Feliu d'Amont et du champ captant du Mas Conte.....	50
Figure A- 12. Quantification des proportions de mélange au sein de l'aquifère des formations récentes du Quaternaire (Pole Irrigation, Pole Recharge Boules, Pole Nappe) 51	51
Figure A- 13. Bilan détaillé des flux (vue de la Têt) sur le tronçon [A-D]	52
Figure A- 14. Bilan détaillé des flux (vue de la Têt) sur le tronçon [D-E]	52
Figure A- 15. Bilan détaillé des flux (vue de la Têt) sur le tronçon [E-G]	53
Figure A- 16. Bilan détaillé des flux (vue de la Têt) sur le tronçon [G-H].....	53
Figure A- 17. Bilan détaillé des flux (vue de la Têt) sur le tronçon [H-I].....	54
Figure A- 18. Bilan détaillé des flux (vue de la Têt) sur le tronçon [I-J]	54

1. Introduction

La caractérisation des échanges et flux d'eau entre les canaux d'irrigation, les cours d'eau et les nappes d'eau souterraine de l'aquifère Plio-Quaternaire du Roussillon est nécessaire si l'on veut pouvoir comprendre et simuler correctement le comportement des eaux souterraines sur le territoire de la plaine du Roussillon. Le bassin de la Têt, au sein duquel transitent 80% des flux d'irrigation par canaux de la plaine du Roussillon (Laurent et al., 2021), constitue un secteur à fort enjeu de ce point de vue et un hydrosystème particulièrement complexe.

Sur le bassin de la Têt, de nombreuses prises d'eau existent sur le fleuve, qui se traduisent par une diminution marquée des débits du fleuve notamment entre Rodès et Perpignan (Chauveau et al., (2021), Laurent et al., (2021)). Sur les secteurs irrigués par les canaux, l'eau est amenée aux parcelles via des réseaux gravitaires (« Agouilles »), mais peut également transiter d'un canal à l'autre. Une partie de l'eau amenée sur les parcelles est consommée pour les besoins des cultures. Cependant, si l'irrigation est excédentaire, l'excédent s'infiltré vers les nappes sous-jacentes. Ainsi, l'eau d'irrigation peut rejoindre les cours d'eau de manière localisée, par l'intermédiaire d'ouvrages de décharge placés sur les canaux, ou de manière diffuse, par le biais du drainage des nappes par les cours d'eau.

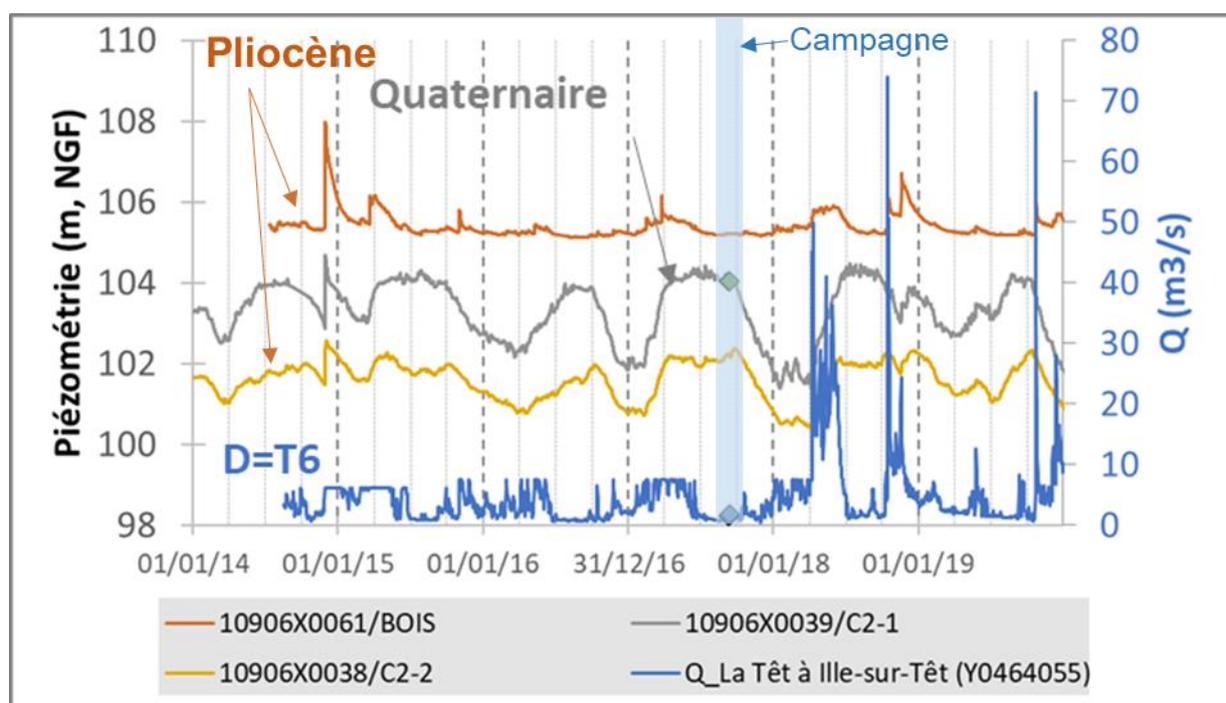
Les suivis piézométriques existants sur les nappes du Quaternaire sur le bassin de la Têt en amont de Perpignan montrent clairement un phénomène de recharge par l'irrigation via les canaux, pendant les périodes estivales. Cependant, l'importance de cette recharge n'est pas connue aujourd'hui. Ces suivis montrent également que le Quaternaire contribue par drainance descendante à recharger la formation Pliocène sous-jacente. Les eaux de la nappe du Quaternaire sont par ailleurs fortement sollicitées par pompage pour les usages d'irrigations et d'alimentation en eau potable. Les eaux des canaux sont aussi utilisées ponctuellement pour soutenir l'exploitation des forages AEP ou agricoles du secteur, lorsque le niveau de la nappe Quaternaire baisse trop et dénoie les pompes en place.

Les travaux de Chauveau et al., (2021) et Laurent et al., (2021) ont permis de fournir des ordres de grandeur des différents flux d'échange entre les différentes composantes de cet hydrosystème complexe. Dans le cadre du projet Dem'Eaux Roussillon, pour améliorer la compréhension de la nature des échanges entre les formations aquifères et les eaux de surface, une campagne de jaugeages différentiels et de prélèvements géochimiques a été réalisée sur la période du 11 au 13 septembre 2017 sur la Têt, ses affluents et les canaux d'irrigation. Les eaux souterraines du Quaternaire et du Pliocène ont également fait l'objet de prélèvements géochimiques. Ce rapport présente les résultats de cette expérimentation, en détaillant dans une première partie les résultats de l'approche géochimique, qui seront replacés ensuite dans le contexte de la connaissance des flux et du bilan en eau à l'échelle de la zone d'étude située entre Rodès et Perpignan, proposée par Laurent et al., (2021).

2. Moyens mis en œuvre

Une campagne de jaugeage différentiel sur la Têt et les canaux a été réalisée entre les 11 et 13 septembre 2017, en fin de période d'irrigation estivale (mars-septembre), pendant laquelle on observe chaque année une importante augmentation de la piézométrie au sein de l'aquifère Quaternaire et du Pliocène sous-jacent (Figure 1). La localisation des points jaugés est présentée sur la Figure 2.

Plusieurs binômes¹ ont été mobilisés pour réaliser dans un laps de temps le plus court possible les jaugeages sur la Têt et les canaux « principaux » : Corbère, Thuir, Ill, Las Canals, Millas, Corneilla, Pezilla, Vernet et Pia et 4 Cazals. Les résultats sont rassemblés en annexe (Figure A-2 et Figure A-3).



¹ Ce travail collaboratif de jaugeage et prélèvements d'eau a été réalisé par : Chaveau M. Laurent S. (BRLi) ; Jaffard S. (ACAV, canal Corbère) ; Lemoing F. (Syndicat Bassin de la Têt) ; Nadal G. (SMNPR) ; Bailly-Comte V. Gentet, V., Fleury P, Ladouche B., Maldan, F., Caballero Y. (BRGM).

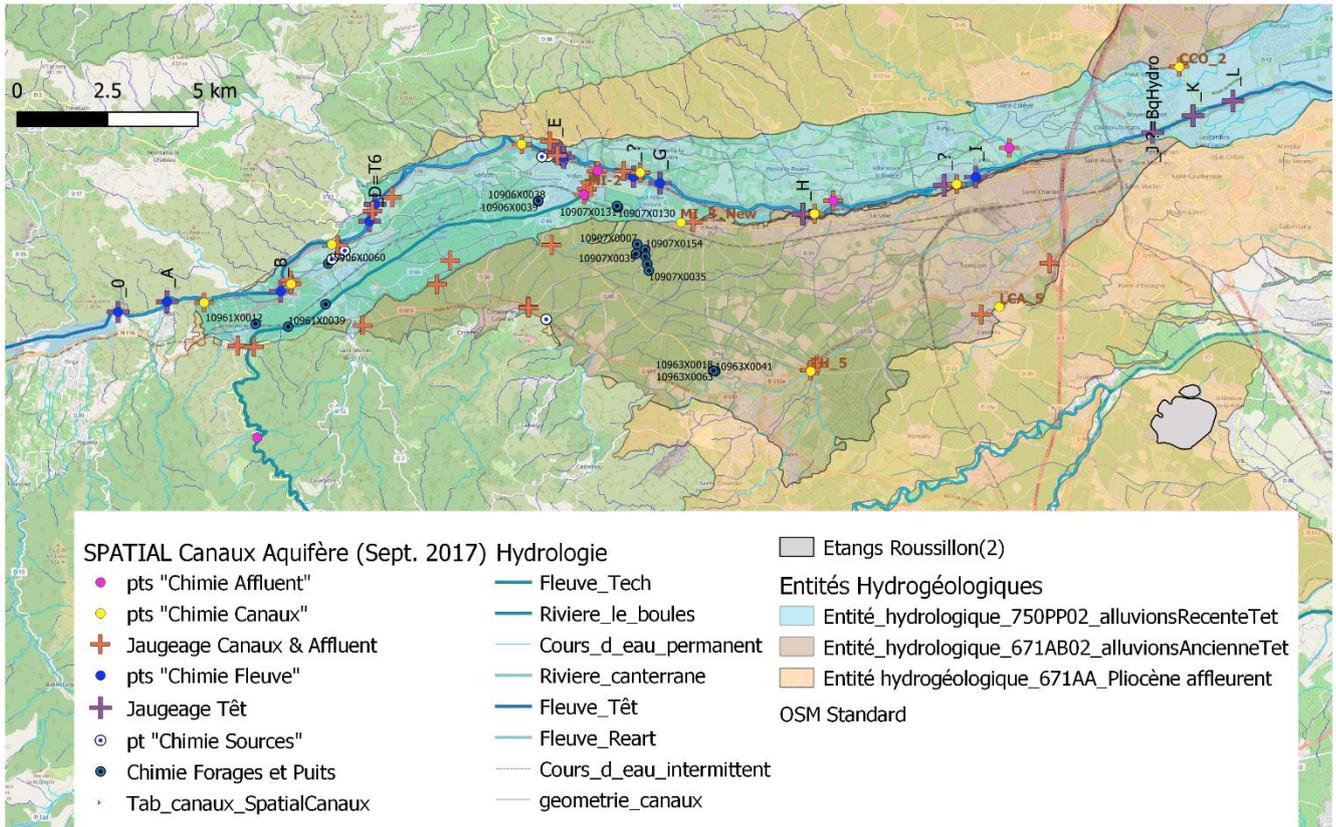


Figure 2. Localisation des points de prélèvements pour analyses chimiques et des points jaugés.

2.1. CAMPAGNE DE JAUGEAGES DIFFERENTIELS SUR LES CANAUX ET LA TÊT

La stratégie adoptée pour cette campagne de jaugeages différentiels sur les canaux était la suivante :

- Jaugeage des prises d'eau des canaux (PE + nom du canal dans le tableau en annexe).
- Jaugeage des canaux en limite d'entité hydrogéologique (750PP02/671AB02, cf. Figure 2) afin d'établir des bilans différenciés pour les 2 formations aquifères.
- Jaugeage en sortie de système (LCA5 ; CCO2). Le jaugeage en sortie du 4 Cazals n'a pas pu être réalisé.
- Jaugeage aux confluences de canaux (exemple : Corbère/Thuir).
- Jaugeage des retours d'eau des canaux à la Têt, quand c'était possible.
- Jaugeage des décharges des canaux dans les affluents, quand c'était possible (Boulès)

Pour la Têt, la stratégie adoptée pour cette campagne de jaugeage différentiel était la suivante :

- Jaugeage en amont et aval des prises d'eau des canaux
- Jaugeage des affluents (Boulès..., cf Figure A- 2), lorsque l'accès était possible

L'accessibilité à la Têt ou la profondeur excessive de sa section mouillée, notamment dans la partie amont entre Rodès et Ill-sur-Têt, n'a pas permis de réaliser certains des jaugeages programmés. Par ailleurs des problèmes de métrologie ont été rencontrés sur certains points. Les données des stations de jaugeages de la banque hydro entre Rodès et Perpignan

(Y0464030 ; Y0464055 et Y0474030) ont été également utilisées par la caractérisation des flux (cf. Figure A- 2).

2.2. PRELEVEMENTS ET ANALYSES GEOCHIMIQUES REALISES SUR LES EAUX DE SURFACE ET LES EAUX SOUTERRAINES

Les eaux de surface (Têt et Canaux) ont également fait l'objet de mesures physico-chimiques (température et conductivité électrique) au droit des sections de jaugeage. Les résultats sont rassemblés dans les tableaux en annexe (Figure A- 2 et Figure A- 3).

On n'observe pas de modification importante de la conductivité électrique de l'eau s'écoulant dans les canaux qui ont fait l'objet d'un cuvelage (Corbère par exemple). Ceci n'est pas contre pas le cas pour les canaux non cuvelés comme ceux de Las Canals et Corneilla par exemple, où l'on observe une augmentation de la minéralisation entre l'entrée et la sortie du canal, qui s'accompagne notamment d'un accroissement des concentrations en chlorures.

Pour les eaux de la Têt, on observe une augmentation progressive de la conductivité électrique entre l'amont (Rodès) et l'aval (Perpignan) ce qui permet de témoigner de l'existence d'échanges entre les eaux souterraines et le fleuve.

La localisation des points d'eau souterraine qui ont été échantillonnés entre le 11 septembre et le 29 septembre 2017 est reportée sur la Figure 2. Les points concernent des sources accessibles et des forages d'exploitation pour l'AEP, ainsi que les 2 piézomètres surveillés par le Syndicat Mixte des Nappes de la Plaine du Roussillon, à Millas (pzC2-1 et pzC2-2).

Les résultats des analyses chimiques et isotopiques des points qui ont été sélectionnés sont présentés en annexe (Figure A- 4 à Figure A- 9). Les analyses chimiques ont été réalisées au laboratoire de chimie de l'eau HSM (HydroSciences Montpellier). L'alcalinité totale a été mesurée par titrage acide avec HCl 0,1N. Les ions majeurs ont été analysés par chromatographie ionique (ICS 1000 Dionex®). L'erreur de précision est inférieure $\pm 5\%$. Les éléments traces ont été analysés avec Q-ICPMS (iCAP Q, Thermo Scientific® équipé d'un système en ligne de dilution de gaz argon) après acidification à 1% v / v HNO₃- à l'AETE -Plate-forme technique ISO de l'OSU OREME, Université de Montpellier. Les isotopes stables dans l'eau ont été mesurés sur un spectromètre de masse Isoprime au laboratoire LAMA d'HSM, avec une précision globale de $\pm 0,6 \text{ ‰}$. Les rapports ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ont été réalisés à l'aide d'un spectromètre de masse à ionisation thermique (TIMS) à l'Instituto di Geoscienze e Georisorse (IGG), Pise (Italie). La valeur moyenne de la norme NBS 987 était de $0,710262 \pm 0,000013$.

3. Informations apportées par les analyses chimiques et isotopiques ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ et $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)

3.1. RESULTATS DE LA CAMPAGNE SPATIALE D'ECHANTILLONNAGE

La Figure 3 présente l'évolution des teneurs en chlorures en fonction de la conductivité électrique des eaux échantillonnées. Les eaux des formations du Quaternaire présentent des concentrations en chlorures supérieures aux eaux de la Têt, ce qui traduit les influences anthropiques (les teneurs en chlorures sont corrélées aux concentrations en nitrates dans les eaux souterraines, cf. Figure A- 11). Les teneurs en chlorures et les conductivités électriques des eaux de la Têt présentent une tendance significative à l'augmentation entre l'amont (Rodès) et l'aval (Perpignan), qui s'accompagne également d'une modification significative de la signature isotopique des eaux (Figure 4 et Figure 5). Les prises d'eau des canaux sur la Têt suivent logiquement la même évolution. Ces résultats permettent de mettre en évidence l'existence de phénomènes de mélange d'eau de qualité différente : les eaux de la Têt entre Rodès (Têt-A) et Perpignan (Têt-I) voient leur minéralisation évoluer en lien avec la contribution d'eaux souterraines issues des formations aquifères du Quaternaire (drainage des nappes par le fleuve).

L'examen des teneurs et des rapports isotopiques du strontium (Figure 5) indique que les eaux des alluvions récentes (750PP02) présentent une signature très différente des eaux contenues au sein des alluvions anciennes (671AB02). Les eaux des alluvions récentes présentent globalement des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ plus élevés (>0.7185) que ceux mesurés dans les alluvions anciennes (à l'exception du point FC3-1). Par contre, les concentrations en Sr des alluvions récentes sont globalement plus faibles (compris entre 63 et 97 à $\mu\text{g/l}$) que celles des alluvions anciennes (compris entre 83 et 115 $\mu\text{g/l}$). Enfin, les eaux des alluvions anciennes (Figure 4) se caractérisent globalement par des teneurs en chlorures plus importantes (de l'ordre de 8 mg/l) et apparaissent également légèrement plus appauvries en isotopes lourds ($\delta^{18}\text{O} = -9.3 \text{ ‰}$, Figure 4).

Les eaux de la Têt sont radiogéniques², puisque le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ des eaux à Rodès (0.71910) est très significativement supérieur à ceux mesurés dans les aquifères (<0.71898) et que les concentrations en Sr (51 $\mu\text{g/l}$) dans l'eau du fleuve à Rodès sont plus faibles que celles des eaux souterraines (entre 63 et 115 $\mu\text{g/l}$). La signature isotopique des eaux du Boulès (amont) qui s'infiltrent totalement en période estivale (à un débit d'environ 20 l/s) dans la formation aquifère des alluvions récentes, se distingue à la fois par des teneurs importantes en Sr (128 $\mu\text{g/l}$) et des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ très élevés (0.71960). Les eaux du Boulès amont présentent une signature en oxygène 18 et deutérium très différentes des eaux des aquifères et de la Têt (enrichie en isotopes lourds) ce qui traduit une origine différente. Ces différenciations chimiques et isotopiques peuvent être mise à profit pour mieux comprendre les relations entre eaux souterraines et eaux de surface, suivant le transect amont-aval de la Têt (cf. §0 et §3.4). Au préalable, les informations de la campagne canaux sont mises en perspective dans le cadre géochimique et isotopique connu du secteur d'étude (cf. § 0)

² Au sens où elles contiennent des isotopes stables issus d'un élément radioactif en grande quantité.

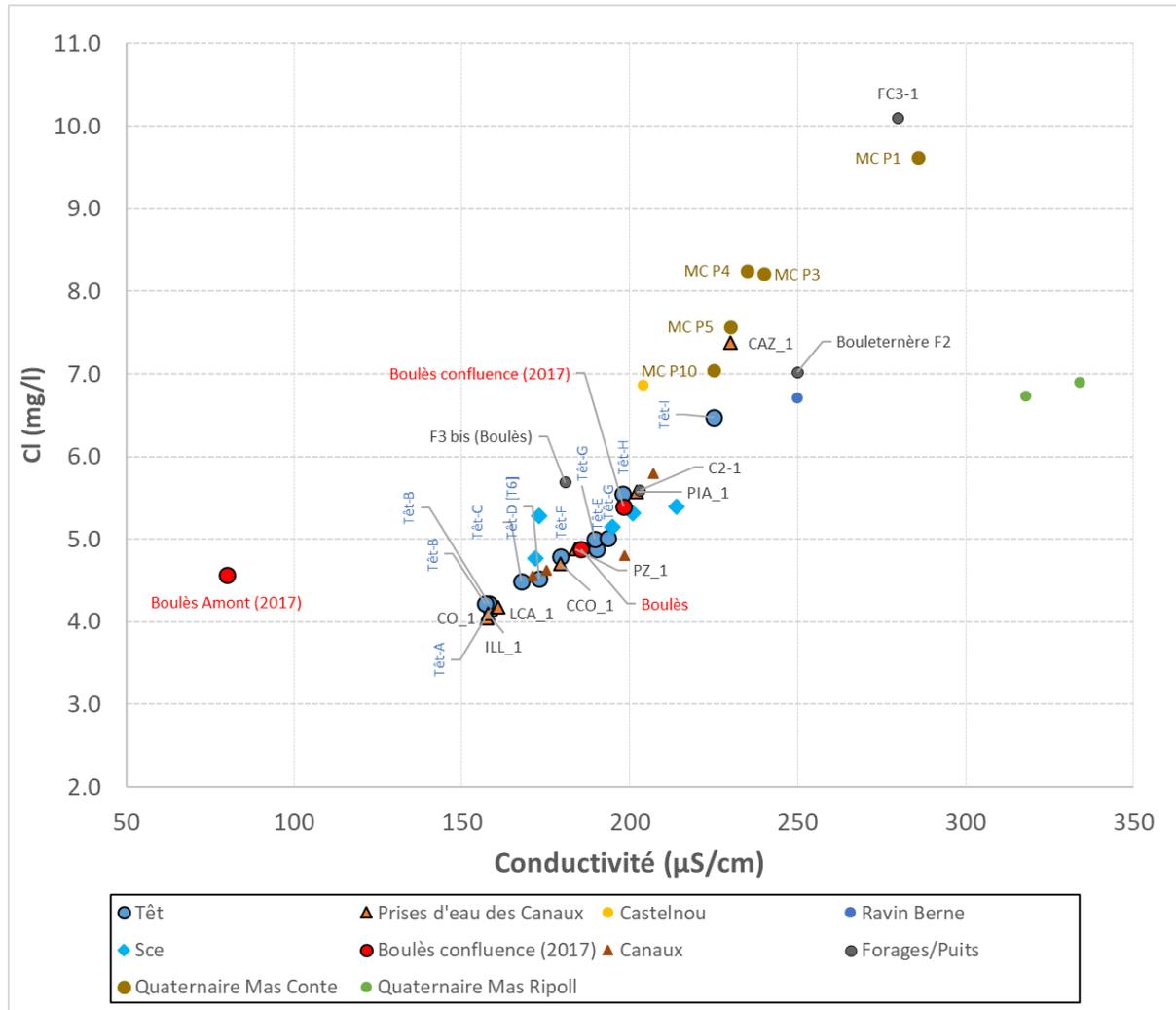


Figure 3. Evolution des teneurs en chlorures des eaux en fonction de la conductivité électrique mesurée in situ.

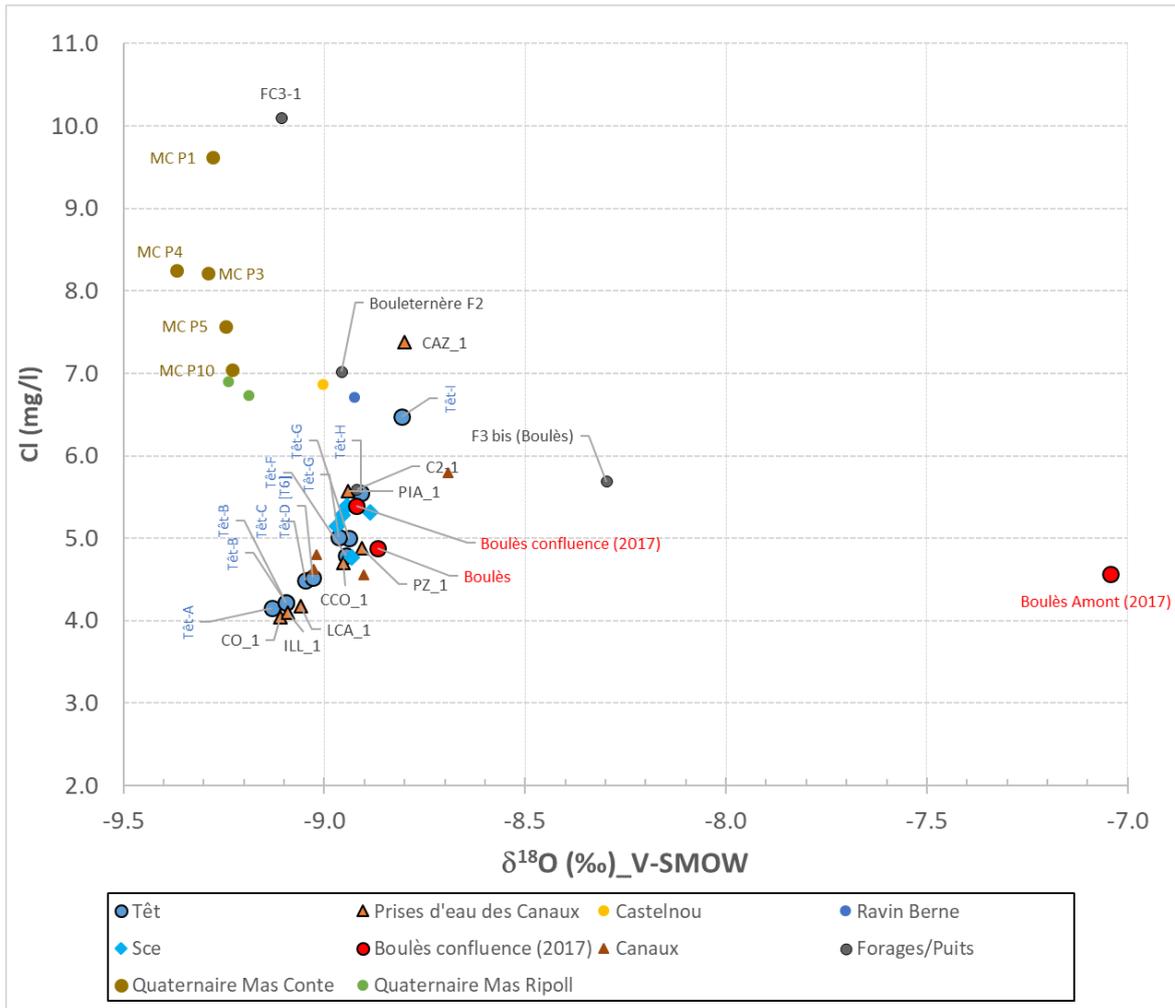


Figure 4. Evolution des teneurs en chlorures en fonction de la signature isotopique de l'oxygène 18 des eaux échantillonnées

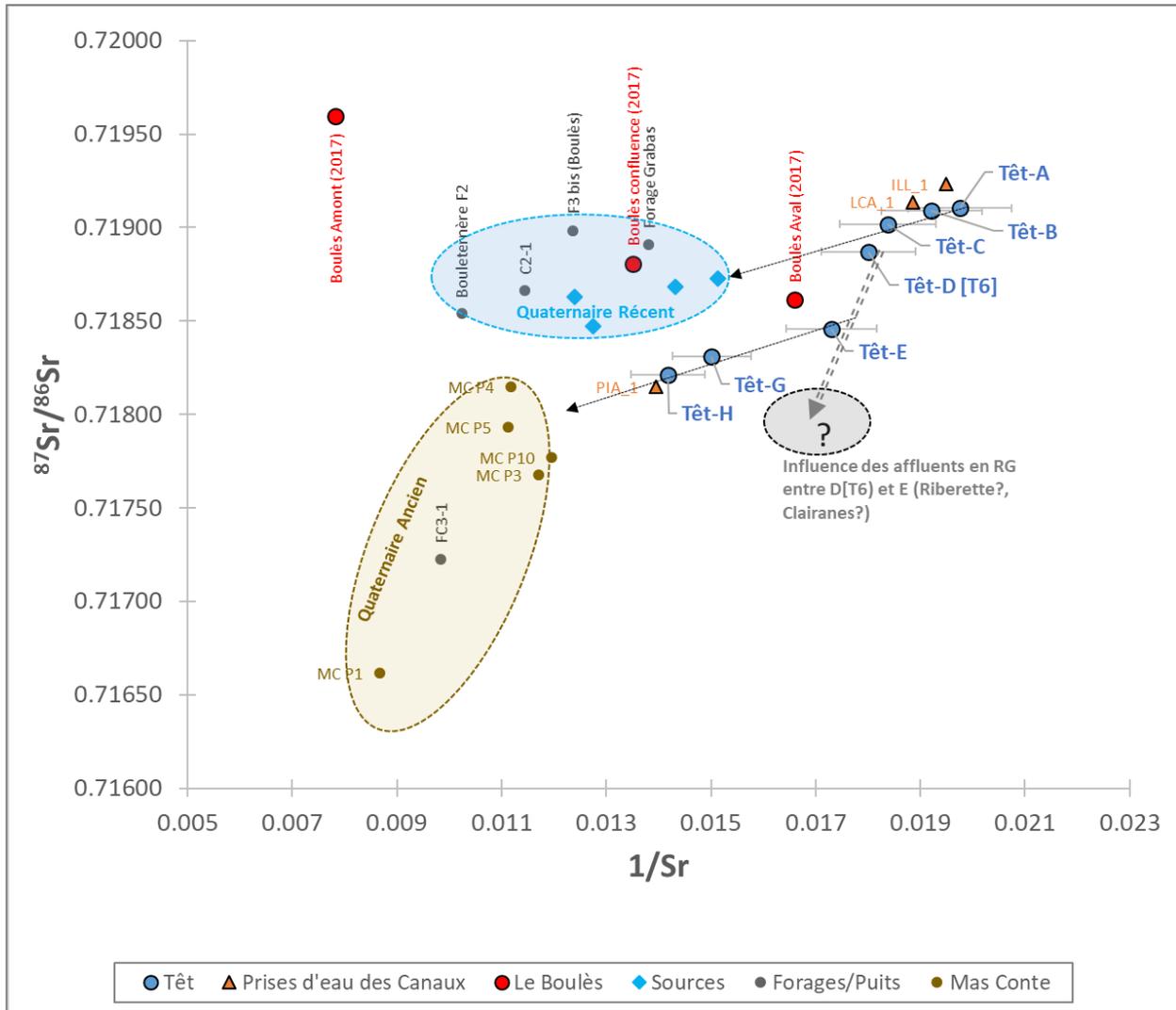


Figure 5. Evolution du rapport isotopique du strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) en fonction du rapport $1/\text{Sr}$ des eaux échantillonnées en septembre 2017.

3.2. MISE EN PERSPECTIVE DES RESULTATS DANS LE CONTEXTE GEOCHIMIQUE ET ISOTOPIQUE DU SECTEUR D'ETUDE

Les études sur le plio-Quaternaire (Chery et Marchal (1992,1994), Ladouche et al, (2003), Marc (2013) et Gillon et Marc (2014)), l'étude du forage profond du Rosaret (Ladouche et Dewandel 2016), ainsi que l'étude sur le karst d'Opoul et du Bas-agly (Ladouche et al, 2004) ont permis d'acquérir des données sur les isotopes de la molécule d'eau et les rapports isotopiques du strontium au droit de la zone d'étude et, plus globalement, sur les formations plio-Quaternaire de la plaine du Roussillon. Des données sur les isotopes de la molécule d'eau sur le bassin versant de la Têt sont également disponibles dans Salvayre et Olive (1994).

L'oxygène 18 et le deutérium sont des traceurs spécifiques à la molécule d'eau. La détermination des teneurs en oxygène 18 et deutérium des eaux permet la comparaison avec les caractéristiques isotopiques des eaux de recharge (fonction d'entrée dans le système), par l'intermédiaire de la droite des eaux météoriques³ (Figure 6). Les précipitations (pluie/neige) qui tombent sur la plaine du Roussillon sont enrichies en isotopes lourds par rapport aux précipitations des massifs environnants qui, en première approximation, peuvent être représentées, dans notre analyse, par les eaux de surface (Têt à Rodès et le Boulès Amont). L'étude de Salvayre et Olive (1994) a permis une caractérisation du gradient isotopique altitudinal de la zone d'étude par l'intermédiaire de prélèvements de sources et puits, étagés en altitude (gradient en oxygène 18 de -0.26 ‰/100 m cf. Figure A- 10 en annexe). La signature isotopique en oxygène 18 ($\delta^{18}\text{O}$) des précipitations au niveau de la mer est de l'ordre de -5.5 ‰ ($\pm 0.5\text{‰}$). Dans ce contexte isotopique, la signature isotopique ($\delta^{18}\text{O}$) des précipitations qui contribuent à recharger le Quaternaire et le Pliocène dans le secteur d'étude (de Rodès à Perpignan) devrait être comprise entre -6.5 et -5.5 ‰. la signature des pluies ponctuelles échantillonnées par Chery et Marchal (1994) sur la parcelle Médalus à Terrats est en accord avec ces estimations (cf. Figure 6).

Les eaux souterraines échantillonnées dans le secteur de Terrats/Ponteilla, qui n'est pas rechargée par les canaux, présentent des signatures très comparables aux signatures isotopiques supposées des précipitations (cf. Figure 6). Les eaux du Boulès (Amont) présentent une signature isotopique intermédiaire entre celles des précipitations sur la plaine du Roussillon et celles mesurées dans la Têt à Vinça et/ou Rodès ce qui témoigne globalement du fait que le bassin versant du Boulès présente une altitude moyenne de recharge inférieure à celle du bassin de la Têt, mais significativement supérieure à l'altitude de recharge de la plaine du Roussillon, ce qui apparaît cohérent.

Lors de la campagne de mesures de 2017, les eaux du Quaternaire prélevées dans les alluvions récentes et anciennes ont montré des signatures isotopiques très comparables à celles des eaux de la Têt. Ceci indique donc que, dans ce secteur, l'irrigation par les canaux recharge les aquifères et contrôle la signature en isotopes stables des eaux souterraines. Ainsi, la part de la recharge des eaux souterraines du Quaternaire par les précipitations apparaît globalement très faible, voire négligeable. A la fin de l'été 2013, les signatures isotopiques de l'eau d'irrigation (en provenance de la Têt) et des eaux du Quaternaire étaient plus contrastées, probablement en raison d'une contribution significative d'eau de recharge par les précipitations (comprise entre 20% et 30% selon Gillon et Marc, 2014). Ce résultat illustre l'influence de la variabilité hydroclimatique de la zone d'étude sur les caractéristiques isotopiques des eaux souterraines, l'année 2017 ayant été fortement déficitaire en précipitations.

³ A l'échelle mondiale, les teneurs en deutérium des pluies sont reliées aux teneurs en oxygène 18 par la relation suivante : $\delta^2\text{H} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 10$; couramment appelée droite mondiale des eaux météoriques (DMEM, Craig 1961). La droite des pluies locales (DLEM) définie pour la région est : $\delta^2\text{H} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 14$ (Ladouche et al, 2009).

Les caractérisations isotopiques de Gillon et Marc (2014) ont également permis de montrer que le Boulès contribuait à la recharge des formations récentes du Quaternaire notamment dans le secteur d'Ille-sur-Têt. Les résultats de 2017 confirment que le Boulès joue un rôle non négligeable dans la recharge de la nappe, ce point sera discuté plus longuement dans le § 0.

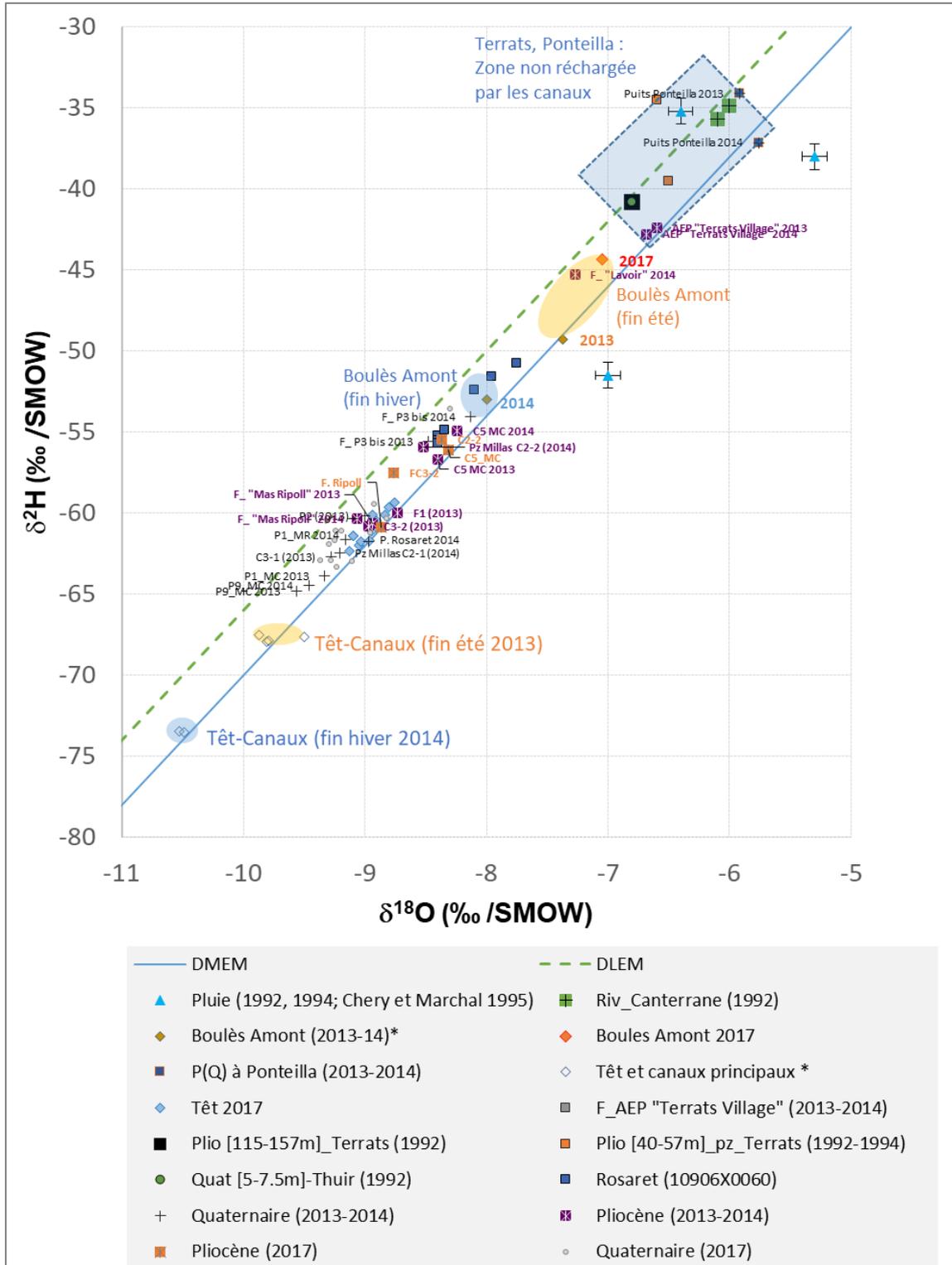


Figure 6. Evolution de la signature en deutérium en fonction de la isotopique en oxygène 18 des eaux.

La confrontation des concentrations en silice mesurées dans les eaux échantillonnées aux signatures isotopiques de la molécule d'eau (Figure 7) permet de montrer le rôle des interactions eau-roche au sein des aquifères, qui conduisent à des augmentations de la concentration en silice des eaux souterraines. Les eaux prélevées dans les formations du Pliocène présentent globalement des concentrations en silice très nettement supérieures aux valeurs mesurées dans le Quaternaire et la Têt, ce qui témoigne de temps d'interaction plus importants de l'eau présente au sein de l'aquifère Pliocène. Les datations tritium réalisées par Gillon et Marc (2014), ainsi que les datations par les CFC/SF6 sur le forage du Rosaret (Ladouche et Dewandel, 2016), indiquent que les eaux sont anciennes, l'âge apparent estimé à l'aide de ces traceurs étant globalement de plusieurs dizaines d'années.

La Figure 7 permet de montrer que certains points situés dans l'aquifère du Pliocène présentent des signatures isotopiques en isotopes stables de l'eau très comparables aux valeurs mesurées dans le Quaternaire (Forage profond du mas Ripoll). La mise en exploitation récente de l'ouvrage profond du Mas Conte (C5-MC : 10907X0157) semble également se traduire par une modification de la signature des eaux pompées. En effet, la signature isotopique en isotopes stables des eaux pompées entre 2013 et 2017 tend à se rapprocher de celle des eaux prélevées dans le Quaternaire sus-jacent. Ces résultats illustrent l'existence du phénomène de mélange d'eau entre le Pliocène et le Quaternaire, où les eaux du Quaternaire s'infiltreraient dans l'aquifère du Pliocène par effet de drainance verticale descendante, sous l'effet des pompages. Les eaux de l'ouvrage AEP FC3-2 (10907X0131) ainsi que celles du piézomètre profond (pz-C2-2 : 10906X0038) sont également affectées par ce phénomène de drainance entre 2013 et 2017 ce qui, pour ce dernier, est en accord avec les évolutions saisonnières observables sur les suivis piézométriques (cf. Figure 1).

Les eaux du Quaternaire rechargé par les précipitations et/ou par la Canterrane (dans le secteur de Pollestres) présentent des signatures plus enrichies en isotopes de l'eau, en lien avec des altitudes de recharge plus faibles (en comparaison avec les eaux de la Têt et/ou des canaux). Les concentrations en silice apparaissent légèrement plus importantes ce qui pourrait traduire des temps d'interaction eau-roche plus longs au sein des réservoirs. La gamme de variation des signatures isotopiques et des teneurs en silice est cependant globalement mal contrainte en raison du faible nombre d'observations (schématisé par les flèches sur les contours du rectangle en pointillés noirs sur la Figure 7).

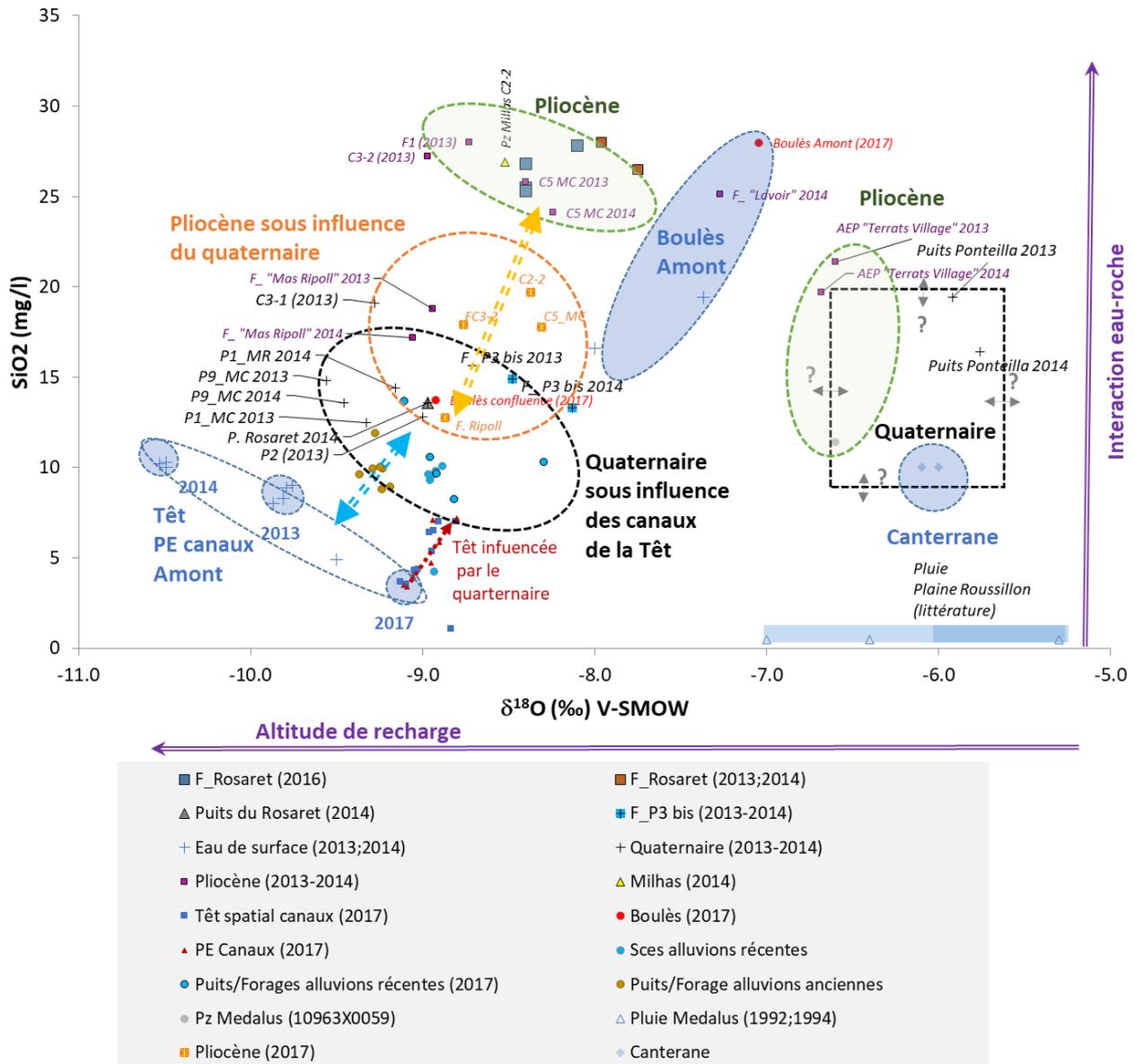


Figure 7. Report des teneurs en silice et de la signature isotopique en oxygène 18 des eaux échantillonnées en 2017 dans le contexte géochimique du secteur d'étude (modifié d'après, Ladouche et Dewandel, 2016).

3.3. CARACTERISATION DES PROCESSUS AU SEIN DES NAPPES DU QUATERNAIRE

L'examen détaillé des signatures isotopiques des eaux prélevées au sein des formations récentes et anciennes du Quaternaire et la confrontation aux valeurs mesurées dans les canaux et/ou la Têt à Rodès permettent de démontrer l'influence prépondérante des eaux de recharge par les canaux dans le fonctionnement global de ces ressources. La quantification des proportions de mélange n'est cependant pas aisée, car les résultats sont fortement dépendants des valeurs de signature isotopique jugées comme étant représentatives des pôles contributeurs considérés.

Le pôle « eau de recharge par l'irrigation » du cycle hydrologique 2017 peut être défini à partir des signatures mesurées dans les prises d'eau des canaux et/ou la Têt à Rodès,

La recharge par le Boulès se traduit par un enrichissement en oxygène 18 et deutérium et par une augmentation du rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ des eaux souterraines présentes dans la formation des alluvions récentes (750PP02). A ce titre, l'ouvrage F3Bis (10962X0029) apparaît comme étant le plus influencé par la recharge apportée par le Boulès parmi les ouvrages échantillonnés (Figure 4 et Figure 5). Le pôle « recharge par le Boulès » peut être caractérisé par les valeurs mesurées au point Boulès Amont.

L'ouvrage C3-1(10907X0130) se distingue des autres ouvrages implantés dans les alluvions récentes par un rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ bien plus faible (0.71722) en comparaison des valeurs mesurées sur les autres points ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} > 0.71850$) (cf. Figure 5). Les signatures mesurées sur le C3-1 se situent dans la gamme de valeurs obtenues pour les signatures des eaux de la formation du Quaternaire ancien, échantillonnées dans des ouvrages situés plus au sud. Deux explications peuvent être avancées pour expliquer cette situation : (1) il existe des échanges entre les deux formations aquifères dans ce secteur, ce qui implique que la nappe des alluvions récentes serait rechargée par les eaux des alluvions anciennes, dans la zone située entre Millas et St-Féliu d'Avall ; (2) dans le secteur de l'ouvrage C3-1, la nappe des alluvions récentes n'est pas influencée par la recharge du Boulès. L'examen des cartes piézométriques dans ce secteur (Figure 4 dans Ladouche et al., 2022) ne permet pas de montrer que la nappe des alluvions récentes serait rechargée par l'aquifère des alluvions anciennes, situé plus au sud et qui apparaît déconnecté hydrauliquement des formations récentes (même si l'on ne dispose pas de points de mesure de la piézométrie dans ce secteur). Si l'on accepte l'hypothèse que, dans ce secteur, les eaux souterraines ne sont pas influencées par la recharge apportée par le Boulès, alors les eaux de l'ouvrage C3-1 permettraient de qualifier la signature isotopique du pôle « eau souterraine » des alluvions récentes, non rechargées par le Boulès. Cette hypothèse semble renforcée par le fait que les teneurs en oxygène 18 ($\delta^{18}\text{O} = -9.1 \text{ ‰}$) indiquent que l'origine de l'eau de cet ouvrage proviendrait de la recharge par les canaux, la part de la recharge par la pluie étant négligeable (Figure 7). De plus, les teneurs en silice (13.7 mg/l, Figure 7) et strontium (101.7 $\mu\text{g/l}$, Figure 5) apparaissent élevées en comparaison des autres eaux échantillonnées au sein des alluvions récentes, ce qui suggère des temps d'interaction eau-roche plus importants, de l'ordre de plusieurs semaines à plusieurs mois. Ce critère de minéralisation élevée nous permet donc finalement de considérer que les eaux échantillonnées sur l'ouvrage C3-1 sont représentatives du pôle d' « eaux anciennes du Quaternaire, non influencées par le Boulès », infiltrées dans l'aquifère quelques semaines à quelques mois avant la prise d'échantillon et qui ont évolué chimiquement par interaction eaux-roche.

A partir des pôles définis, la quantification des proportions de mélange au sein des eaux du Quaternaire échantillonnées peut être réalisée à l'aide des informations des différents traceurs ($\delta^{18}\text{O}$ vs (Cl, Si), $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs 1/Sr, cf. Figure A- 12 en annexe). Les résultats (Tableau 1) sont données à titre indicatif car le pôle « recharge par le Boulès » semble très variable dans le temps (cf. Figure 7).

Pour déterminer les proportions respectives des pôles de mélange pour chaque ouvrage échantillonné, il est nécessaire de résoudre le système d'équations de bilan massique suivant:

- $f_1 + f_2 + f_3 = 1$
- $f_{ech} C_{ech} = f_1 * C_{p1} + f_2 * C_{p2} + f_3 * C_{p3}$
- $\delta^{18}O_{ech} = f_1 * \delta^{18}O_{p1} + f_2 * \delta^{18}O_{p2} + f_3 * \delta^{18}O_{p3}$ ou
 $^{87}Sr/^{86}Sr * [Sr]_{ech} = f_1 * (^{87}Sr/^{86}Sr) * [Sr]_{p1} + f_2 * (^{87}Sr/^{86}Sr) * [Sr]_{p2} + f_3 * (^{87}Sr/^{86}Sr) * [Sr]_{p3}$ selon que l'on considère les isotopes de l'eau ou les isotopes du strontium

Avec f les fractions de mélange des pôles 1, 2 et 3 ; C les concentrations du traceur considéré (Cl, ou SiO2 ou Sr) des pôles (p1, p2 et p3) et de l'échantillon (ech). Les calculs d'erreurs ont été réalisés en considérant une erreur de 5 % sur les concentrations, de 0.1 ‰ pour l'oxygène 18 et de 0.0001 pour le ratio $^{87}Sr/^{86}Sr$, soit 10 fois la résolution analytique, afin d'intégrer les incertitudes sur la détermination des pôles de mélange.

Nom ouvrage	% du P1 (Pôle « eaux anciennes du Quaternaire, non influencées par le Boulès » : FC3-1)	% du P2 (Pôle « recharge par le Boulès » : Boulès Amont)	% du P3 (Pôle « recharge par l'irrigation » : Tet [A])
Forage P3Bis (10962X0029)	16.6 ± 5.5	37.2 ± 4.0	46.3 ± 8.1
Forage Grabas (10961X0030)	18.9 ± 4.6	15.9 ± 3.8	65.2 ± 7.0
Forage F2Boult. (10961X0012)	57.6 ± 6.4	14.3 ± 4.0	28.1 ± 9.6
Source La Villa	36.0 ± 5.0	12.4 ± 3.9	51.6 ± 8.0
Piézomètre C2-1 (10906X0039)	40.3 ± 5.4	14.3 ± 4.1	45.4 ± 8.4
Source Font del Mille	25.4 ± 4.9	8.4 ± 3.5	66.3 ± 7.0
Boules Millas (radier)	9.4 ± 4.4	9.8 ± 3.3	80.8 ± 6.0
Boules (confluence)	25.0 ± 4.9	11.9 ± 3.8	63.1 ± 7.2

Tableau 1 : Quantification de la contribution relative des différents pôles de mélange (cf. texte).

La contribution du pôle « eau de recharge par l'irrigation » du cycle hydrologique 2017 à la recharge de l'aquifère est globalement supérieure à 50 % pour tous les points, à l'exception du secteur situé à l'amont hydraulique de la nappe (secteur de l'ouvrage F2 à Boulternère), où la recharge par les eaux d'irrigation du cycle hydrologique apparaît plus faible (28 % ± 10 %).

La contribution de la recharge par le Boulès est estimée au maximum à 37 % (± 4 %) au niveau du champ captant d'Ille-sur-Têt (10962X0030), la contribution de ce pôle est plus faible (entre 10 et 15 %) sur les autres points échantillonnés.

La partie aval du Boulès constitue le principal cours dans le secteur de Millas et draine les eaux souterraines qui s'écoulent au sein de l'aquifère quaternaire. Ainsi, en croisant les proportions de

mélange obtenues au niveau des différents ouvrages échantillonnés (Tableau 1) avec la mesure du débit du Boulès à sa confluence avec la Têt ($0.85 \text{ m}^3/\text{s} \pm 0.1 \text{ m}^3/\text{s}$), une quantification des différents flux peut être réalisée pour chaque ouvrage échantillonné. Ainsi, la contribution du pôle « recharge par l'irrigation » ($63 \% \pm 7 \%$) au débit à l'exutoire du Boulès est de $0.53 \text{ m}^3/\text{s} \pm 0.07 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.4. CARACTERISATION DES ECHANGES NAPPE-RIVIERE

La signature des eaux de la Têt entre Rodès [Têt-A] (point de référence amont, non impacté par les eaux souterraines du Quaternaire) et le point T6⁴=[Têt-D] évolue vers des signatures du type de celles que l'on obtient pour les échantillons d'eau souterraine des alluvions récentes (cf. Figure 3, Figure 4 et Figure 5) ce qui témoigne d'un drainage de l'aquifère par le fleuve sur ce tronçon. Le tronçon du fleuve situé à l'aval de la prise d'eau de Corneilla et jusqu'à Perpignan apparaît de plus en plus influencé par le pôle des alluvions anciennes le long du transect, ce qui indique, là encore, une contribution significative des eaux souterraines au débit du fleuve.

Sur le tronçon de fleuve situé entre Rodès [Têt A] et le point Têt [I], les différents échantillons prélevés sur le fleuve permettent de caractériser et quantifier les proportions de mélange tout au long du tronçon, pour évaluer l'importance des flux d'échanges entre les eaux souterraines et le fleuve. La quantification des flux repose sur l'estimation des proportions de mélange entre les pôles de mélange précédemment définis (cf. §3.3) et la valeur du débit à Rodès [Tet A]. Les résultats sont rassemblés dans le Tableau 2.

⁴ L'EVP Têt (BRLi, 2011) a identifié le point « T6 » sur la Têt, en aval de la prise du canal de Millas, comme point « bas » des débits du fleuve : il se situe en aval des principaux prélèvements des canaux, et en amont des principaux retours.

Nom	% P1	% P2	% P3	Flux de contribution « eaux souterraines » (P1+P2)	Remarque
Têt A	0%	0%	100%	0 m ³ /s	
Têt B	-0.3 ± 4.5	1.6 ± 3.2	98.7 ± 4.8	0.06 m ³ /s	Non significatif
Têt C	3.1 ± 4.5	3.6 ± 3.3	93.3 ± 5.2	0.32 ± 0.08 m ³ /s	
Têt D=T6	4.4 ± 4.5	4.0 ± 3.3	91.6 ± 5.3	0.39 ± 0.08 m ³ /s	Contribution des eaux souterraine entre A et D = 0.4 m ³ /s
Têt F	9.8 ± 5.6	8.7 ± 2.3	82.3 ± 6.2	0.83 ± 0.05 m ³ /s	Contribution des eaux souterraine entre D et F = 0.4 m ³ /s
Têt G	20.5 ± 4.5	6.3 ± 3.4	73.2 ± 6.5	1.26 ± 0.16 m ³ /s	Contribution des eaux souterraine entre F et G = 0.4 m ³ /s
Têt H	25.9 ± 4.6	8.6 ± 3.5	65.5 ± 7.0	1.62 ± 0.09 m ³ /s	Contribution des eaux souterraine entre G et H = 0.4 m ³ /s
Têt I	26.6 ± 6.5	15.2 ± 2.3	58.2 ± 7.8	1.96 ± 0.46 m ³ /s	Contribution des eaux souterraine entre H et I = 0.3 m ³ /s

Tableau 2 : Contribution relative des pôles de référence définis aux signatures des eaux de la Têt sur le tronçon Rodès-Perpignan et du flux d'apport des eaux souterraines au débit de la Têt. Les Pôles P1, P2 et P3 sont définis dans le Tableau 1.

Ces résultats indiquent que la contribution des eaux souterraines sur le tronçon Têt-A (Rodès) et le point Têt-I situé à l'aval de la prise d'eau de 4 Cazals est d'environ 2 m³/s ± 0.5 m³/s. Les quantifications différentielles réalisées entre Têt-A (Rodès) et Têt-I indiquent que le flux d'eau souterraine est globalement homogène (+0.4 m³/s) sur les différents biefs caractérisés. Le flux moyen par kilomètre de cours d'eau est évalué à 0.080 m³/s/km (± 0.025). Cette valeur élevée témoigne de l'influence de la recharge par l'irrigation par les canaux, qui contribue globalement à plus de 50 % à la recharge des aquifères (Tableau 1).

4. Quantification des flux et bilans

Des cartes simplifiées de la zone d'étude sont présentées ci-après (Figure 8 et Figure 9) afin de faciliter la description des résultats des jaugeages différentiels effectués sur les canaux et le fleuve.

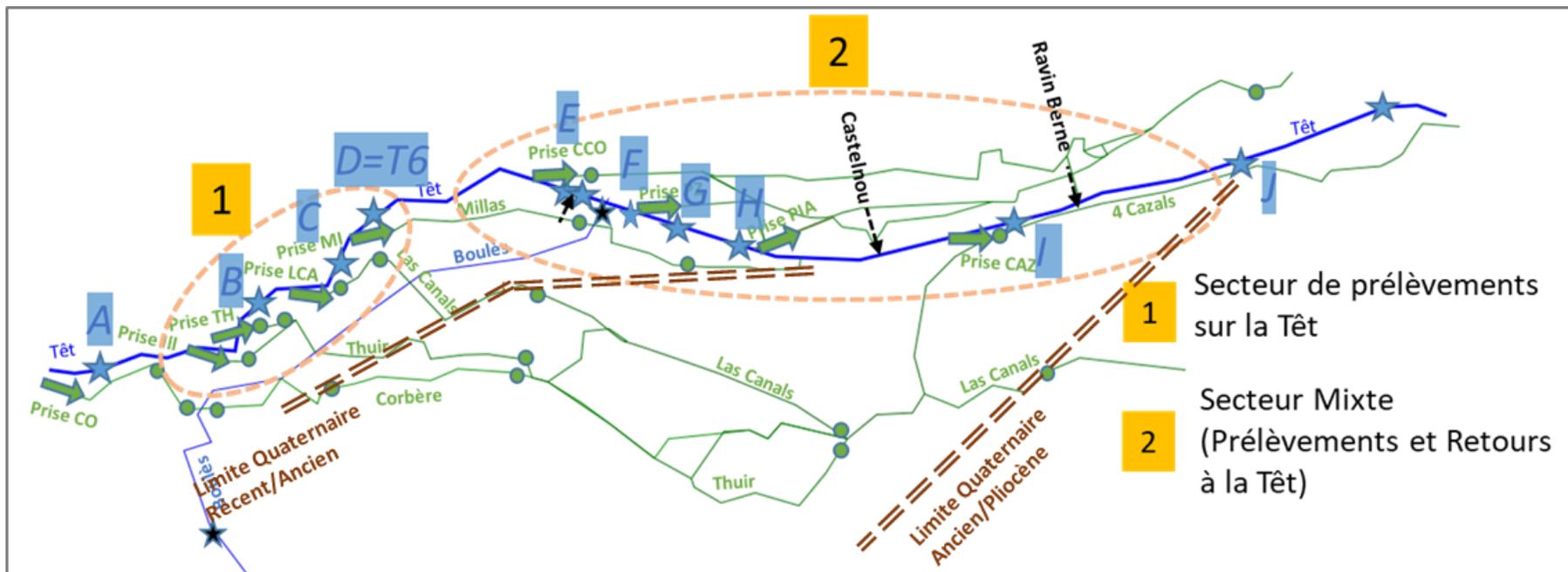


Figure 8. Carte simplifiée de l'organisation hydraulique de la zone d'étude.

4.1. BILAN HYDROLOGIQUE SUR LE SYSTEME « CANAUX »

Sur la Figure 9, les débits des prises d'eau des canaux sont reportés ainsi que les débits mesurés à la limite entre les alluvions récentes et anciennes du Quaternaire et les débits de sortie vers les autres systèmes. Pour chaque canal majeur (Corbère, Ill, Thuir, Las Canals, Millas, Corneilla, Pezilla, Pia, Vernet et 4 Cazals) les variations de débit (ΔQ) ont été calculées. Les valeurs négatives indiquent une « perte » et les valeurs positives un « gain ». Les flux de décharge des canaux à la Têt, au Boules et à la Comelade sont également reportés ainsi que les flux des différents contributeurs jaugés (Boulès confluence, Castelnou et Ravin Berne)

Le débit cumulé des prises d'eau entre le point Têt-A [Rodès] et le point Têt-I situé à l'aval de la prise d'eau de 4 Cazals est de $5.5 \text{ m}^3/\text{s}$ auquel il faut rajouter le débit du canal de Corbère prélevé au pied du barrage de Vinça ($1 \text{ m}^3/\text{s}$). Le flux de sortie des canaux vers les autres systèmes (en rive droite et en rive gauche) est évalué à $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$, soit environ 10% du cumul des flux des prises d'eau des canaux ($6.5 \text{ m}^3/\text{s}$). Pour le Quaternaire pris dans sa globalité, près de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ contribuent donc à alimenter les réseaux gravitaires (Agouilles), les parcelles irriguées et les nappes de la zone d'étude. Une partie de ce flux est utilisé par les cultures pour ses besoins évapo-transpiratoires et pour l'AEP (pompage). Les différents terme du bilan seront synthétisés dans le § 4.3.

Pour les alluvions récentes du Quaternaire situées en rive droite de la Têt, le cumul des « pertes » de débit des canaux principaux est évalué à $1.7 \text{ m}^3/\text{s}$. En rive gauche, le cumul des pertes de débit est évalué à $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$. Pour les alluvions anciennes du Quaternaire situées en rive droite de la Têt, le cumul des pertes de débit des canaux principaux est évalué à $1.9 \text{ m}^3/\text{s}$, valeur comparable au flux des alluvions récentes ($1.7 \text{ m}^3/\text{s}$).

4.2. BILAN HYDROLOGIQUE SUR LE SYSTEME « FLEUVE TET »

Sur la Figure 9, on observe que le débits du fleuve diminuent fortement (de 4.7 à $1.6 \text{ m}^3/\text{s}$) sur le tronçon Têt-A et Têt-D=T6 ce qui témoigne de l'effet des prises d'eau des canaux de Ille sur Têt, Thuir, Las Canals et Millas. Le bilan détaillé des flux sur ce tronçon (cf. Figure A- 13 en annexe) permet de montrer un retour de flux non-jaugé qui indique une contribution de la nappe évaluée à $+0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figure 10). En aval de Rodès, la Figure 11 permet de visualiser que les débits mesurés sont supérieurs au bilan brut calculé à partir du débit à Rodès (Têt A) et des prélèvements bruts des canaux. Pour les différents tronçons, le calcul du bilan détaillé des flux a été réalisé (cf. Figure A- 13 à Figure A- 18 en annexe), les résultats sont synthétisés sur la Figure 10.

La synthèse des bilan des Flux (vue de la Têt) permet d'identifier 2 secteurs différents pour les échanges (Nappe (N) + retours Canaux Non Jaugés (rCNJ))/Têt :

- Secteur de Rodès (Tet-A) jusqu'à Perpignan (Têt-J) => Gain de débit = apports à la Têt
 - Contribution (N + rCNJ) = $2.1 \text{ m}^3/\text{s}$ (± 0.2)
 - Contribution (Boulès) = $0.85 \text{ m}^3/\text{s}$ (± 0.1)
 - Retours canaux jaugés = $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ (± 0.05)

- Secteur Le Soler (Têt-I) – (Têt-J) Perpignan (Y0474030) => pertes de débit estimée à -0.15 m³/s => effet du drainage de la Basse. L'effet du drainage de la basse sera discuté dans le § 4.3.

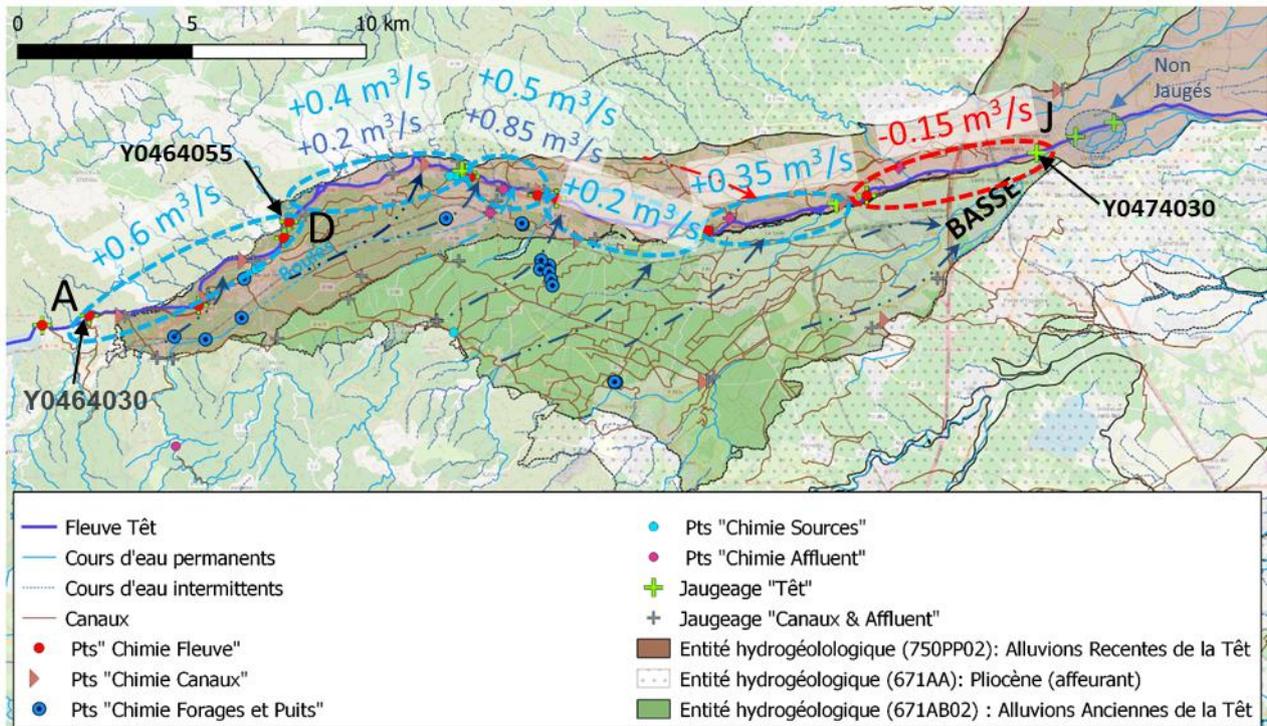


Figure 10. Report des bilans hydrologiques par tronçons (vue de la Têt) sur la carte de localisation de la zone d'étude.

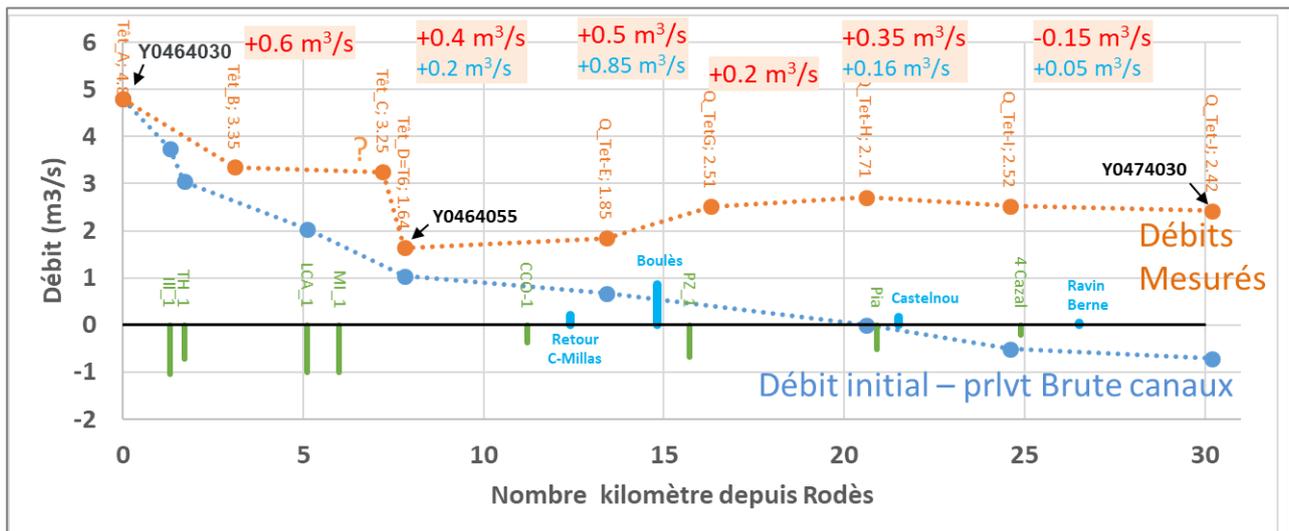


Figure 11. Evolution des débits mesurés le long du lineaire de la Têt depuis la Station de Rodès (Y0464030) suivant la méthode proposée par Chauveau et al. (2021). Les débits de prise d'eau sont reportés ainsi que les retours directs jaugés. La courbe des débits de la Têt en supposant aucun apport est reporté à titre indicatif (Débit initial à Rodès-Prélèvement Brute des Canaux).

4.3. BILAN HYDROGEOLOGIQUE SUR LE SYSTEME « AQUIFERES DU QUATERNAIRE »

La Figure 12 synthétise les connaissances acquises dans cette étude et permet de présenter les différents termes du bilan hydrogéologique sur le Quaternaire et d'identifier les inconnues qui subsistent.

L'étude volume prélevable sur la Têt (BRLi, 2011) indique que les prélèvements pour l'AEP dans les aquifères Quaternaires représentent $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$. Par ailleurs, les besoins théoriques d'irrigation au mois de septembre évalués par BRLi sont estimés à $1 \text{ m}^3/\text{s}$ environ (pour moitié assuré par les prélèvements sur l'aquifère par pompage, le reste provenant des surfaces irriguées par les canaux, Laurent et al. 2021). L'apport par les pluies est négligeable en période estivale.

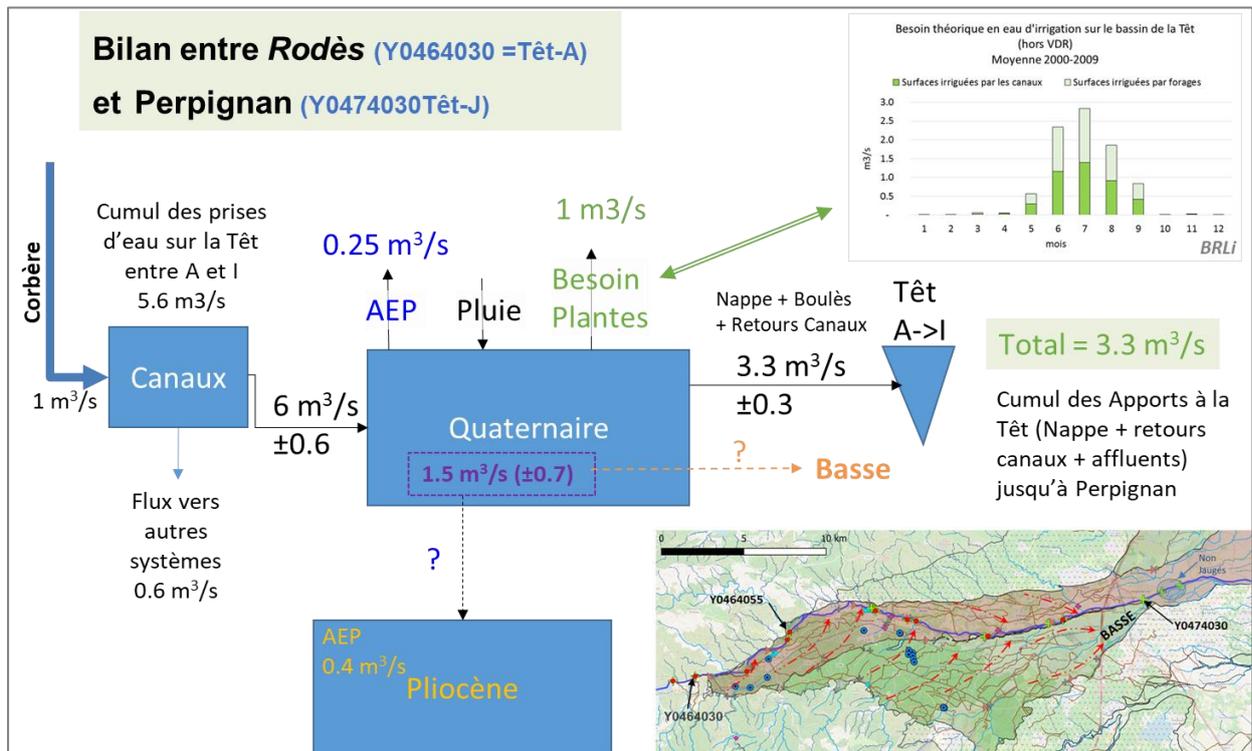


Figure 12. Eléments connus et inconnus du bilan hydrogéologique des formations Quaternaires de la zone d'étude.

Le bilan entrées (apports canaux) - sorties (AEP + besoin plantes + retours Têt) des formations Quaternaires indique un solde de près de $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\pm 0.7 \text{ m}^3/\text{s}$) pour le Quaternaire. Ce flux contribue en partie à recharger le Pliocène sous-jacent par drainance et également à alimenter le cours d'eau de la Basse qui draine une partie non négligeable des alluvions anciennes du Quaternaire (cf. Figure 10).

La station de jaugeage de la Têt à Perpignan (Y0474030) est située en amont de la confluence avec La Basse et n'intègre donc pas son flux. Les suivis des débits de la Basse à Perpignan (Banque Hydro, Y0475610) s'arrêtent malheureusement en 2014 (Figure 13), les mesures anciennes vont néanmoins permettent d'évaluer les ordres de grandeur des flux au mois de septembre. Les statistiques des débits moyens journaliers de La Basse des mois de septembre de la période 1970-2014 sont présentés sur la Figure 14. Les débits moyens de La Basse au mois de septembre sont en moyenne de l'ordre de $0.9 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\pm 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$). L'importance du flux de drainage de la nappe par La Basse a pour conséquence de réduire la participation du flux de

drainage de la nappe en direction de la Têt en rive droite sur le tronçon Têt-I et Têt-J. Ce drainage de la nappe par La Basse semble se traduire par un déficit d'écoulement sur la Têt si l'on en juge par la baisse significative du débit entre ces 2 points (cf. Figure 9). Ainsi, le flux d'échange nappe – rivière pourrait s'inverser dans ce secteur, la Têt contribuant à alimenter les formations du Quaternaire.

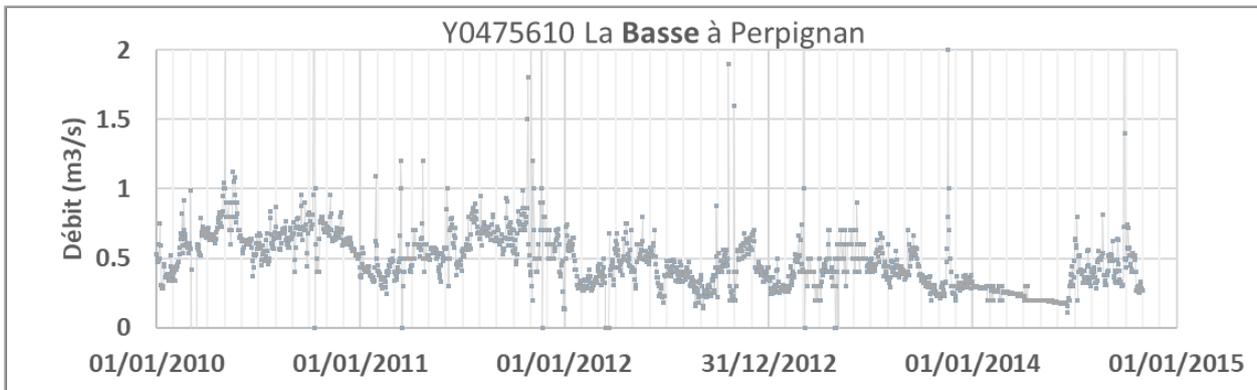


Figure 13. Evolution des débits de La Basse (Banque Hydro)

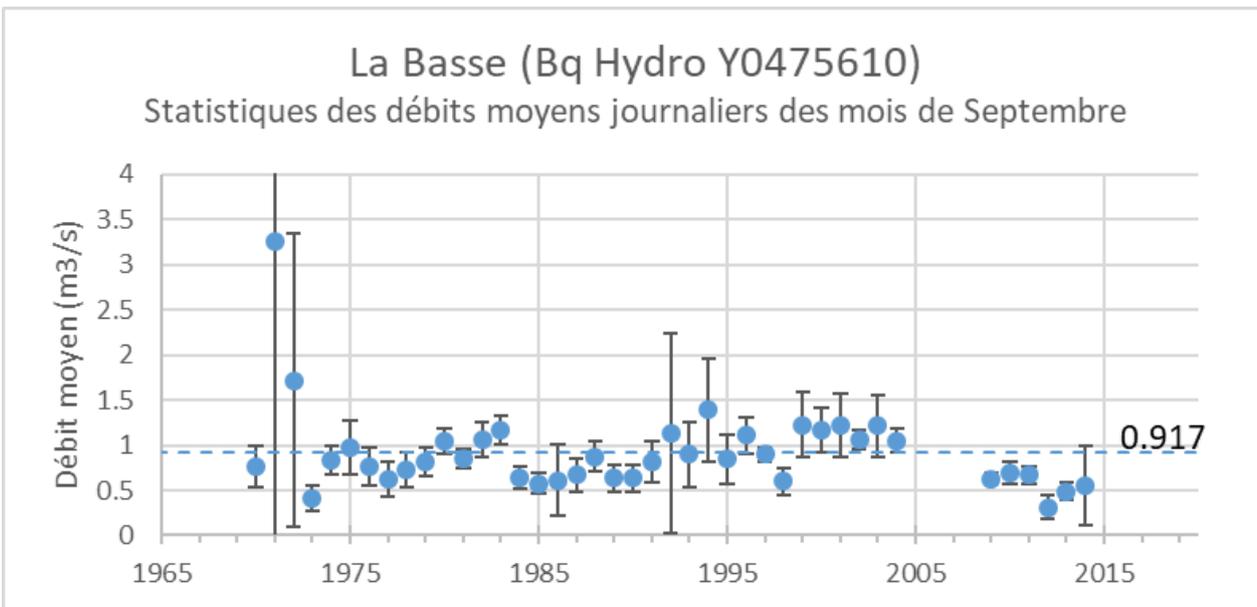


Figure 14. Evolution des débits moyens des mois de septembre sur la période 1970-2014 (Banque Hydro)

La Figure 15 permet de reporter les différents termes du bilan hydrogéologique, actualisé en intégrant les informations de La Basse. Par différence, le flux de drainance qui contribuerait à la recharge de l'aquifère du Pliocène sous-jacent serait donc de l'ordre de $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\pm 0.4 \text{ m}^3/\text{s}$). Le volume des prélèvements AEP sur le Pliocène dans le secteur est évaluée à $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ selon l'étude volume prélevable (Hydriad, 2014). Ainsi, l'ordre de grandeur estimé pour l'alimentation du Pliocène depuis le Quaternaire par drainance est plausible puisque Ladouche et Dewandel (2016) ont montré que les pompages dans le Pliocène sont susceptibles de mobiliser très fortement les eaux du Quaternaire dans le secteur (près de 100% au Mas Ripoll par exemple). L'ensemble de ces résultats permettent donc de compléter le bilan présenté sur la (Figure 15)

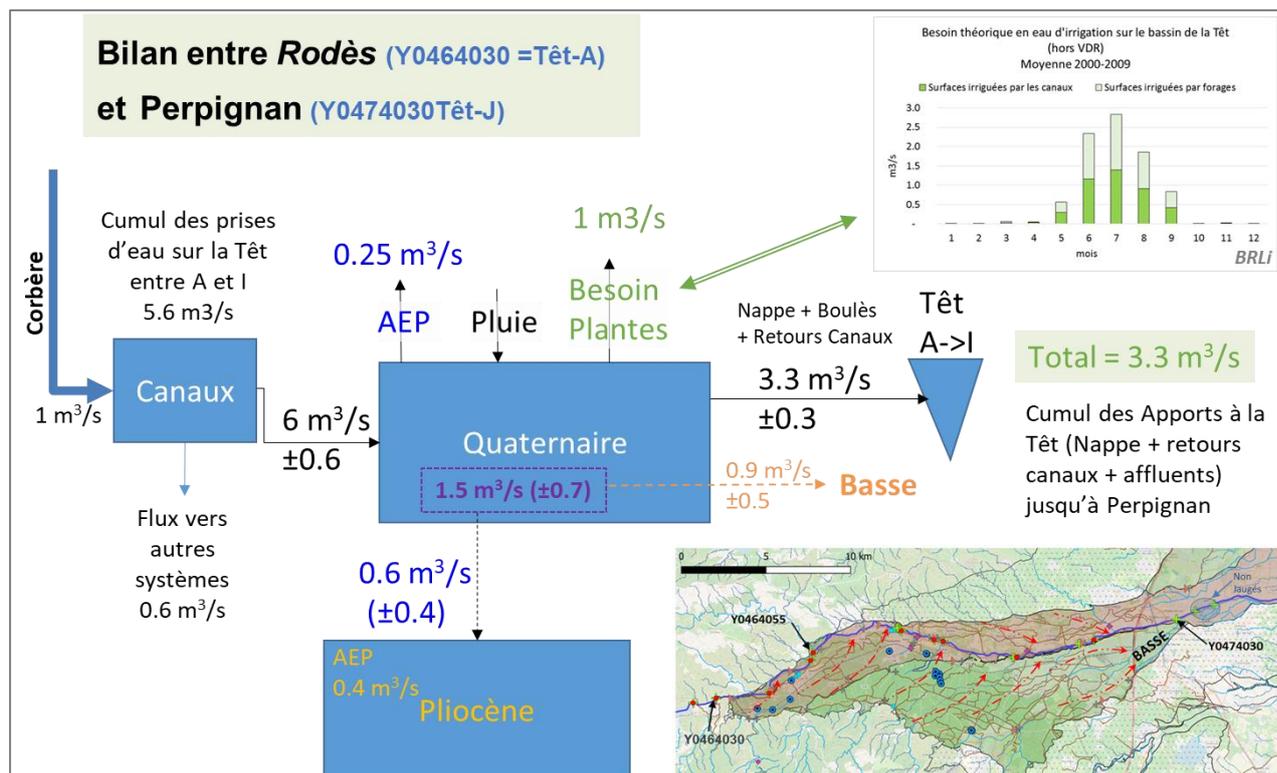


Figure 15. Bilan hydrogéologique des formations Quaternaires de la zone d'étude (mois de septembre 2017).

Si l'on compare ce bilan « ponctuel », correspondant à une situation ponctuelle (septembre 2017), avec le bilan « moyen » 2000 - 2009 établi sur la période juillet – septembre proposé par Laurent et al., (2021), on constate que :

- En termes d'apports par les canaux, le bilan ponctuel correspondrait à la fourchette basse du bilan moyen (7 à 9 m³/s) ;
- Les ordres de grandeur de la fourchette basse du bilan moyen pour les retours à la rivière (~2 m³/s) seraient alors un peu sous-estimés par rapport à ceux obtenus avec le bilan ponctuel (~3 m³/s) ;
- Les ordres de grandeur de la fourchette basse du bilan moyen (~2 m³/s) pour les retours vers la nappe seraient un peu surestimés par rapport à ceux obtenus avec le bilan ponctuel (1,5 m³/s), ou, pour le dire autrement, une part non négligeable des retours à la nappe estimé grâce au bilan moyen pourrait finalement retourner au cours d'eau, en aval de la station hydrométrique de la Têt à Perpignan.

Ces petites différences mettent en lumière le rôle important que joue probablement la Basse en termes de drainage des eaux souterraines des eaux qui s'écoulent dans le Quaternaire en amont de Perpignan.

5. Synthèse et conclusion

Les flux d'irrigation sur la Plaine du Roussillon ont des dynamiques complexes et variables dans le temps et au sein du territoire. Ils contribuent probablement aux importantes interconnexions qui existent entre eaux de surface et eaux souterraines. Pour améliorer la connaissance sur la nature des échanges entre zones irriguées, formations aquifères et eaux de surface, une campagne de mesure des flux dans les canaux et les cours d'eau et de caractérisation géochimique du secteur de la Têt en amont de Perpignan a été mise en œuvre dans le cadre du projet DEM'EAUX Roussillon. Les jaugeages et les prélèvements géochimiques ont été réalisés sur la Têt, ses affluents et les canaux principaux sur la période du 11 au 13 septembre 2017, en fin de période d'irrigation estivale. Une campagne de prélèvement géochimique a également été réalisée sur les formations aquifères du Quaternaire et du Pliocène de la zone d'étude, ce qui a permis d'apporter un éclairage nouveau sur la nature des échanges tout au long du tronçon du fleuve situé entre Rodès et Perpignan et de préciser la contribution des eaux souterraines aux écoulements de surface.

En fin de période d'irrigation estivale, le débit de la Têt à Perpignan est inférieur au débit mesuré à l'amont (Rodès) ce qui témoigne globalement de l'impact des prises d'eau des canaux pour les besoins d'irrigation de la zone d'étude, qui sont de l'ordre de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ au mois de septembre selon les estimations réalisées (Chauveau et al., 2021). Les prélèvements des prises d'eau des canaux situées entre Rodès et Perpignan (cumul = $5.6 \text{ m}^3/\text{s}$) sont supérieurs au débit de la Têt Amont mesuré à Rodès ($4.7 \text{ m}^3/\text{s}$) ce qui conduirait à des débits nuls de la Têt à Perpignan en absence d'échange avec les eaux souterraines et de retours à la Têt.

L'examen détaillé des flux différentiels sur la Têt permet de montrer que la contribution des aquifères et des affluents non jaugés à la Têt entre Rodès et Perpignan est de $2.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\pm 0.2 \text{ m}^3/\text{s}$), le Boulès est l'affluent majeur ($0.85 \text{ m}^3/\text{s} \pm 0.1 \text{ m}^3/\text{s}$) en période estivale, les autres affluents et retours canaux jaugés sont de l'ordre de $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\pm 0.05 \text{ m}^3/\text{s}$). De plus, la minéralisation de l'eau du fleuve augmente significativement sur ce tronçon et s'accompagne d'une modification de la signature isotopique des eaux ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) ce qui témoigne de l'existence de phénomène de mélange d'eaux de qualité différente. La qualité des eaux de la Têt entre Rodès et Perpignan est donc influencée par la contribution d'eau souterraine issue des formations aquifères du Quaternaire, le flux d'eau souterraine drainé par le fleuve est estimé à $2 \text{ m}^3/\text{s} \pm 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ sur le tronçon Têt-A (Rodes) et le point Têt-I situé à l'aval de la prise d'eau de 4 Cazals (ordre de grandeur cohérent avec le flux de contribution estimé à partir des stations hydrométriques). L'examen détaillé des flux permet également de montrer que le flux d'eau souterraine est globalement homogène ($+0.4 \text{ m}^3/\text{s}$) sur chacun des différents tronçons caractérisés sur la Têt. Le flux moyen par kilomètre de cours d'eau est important ($0.080 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km} \pm 0.025$), ce qui s'explique par une importante recharge des aquifères du Quaternaire par les canaux d'irrigation. En effet, les décompositions géochimiques permettent de montrer que plus de 50 % (de $46 \pm 8\%$ à $66 \pm 7\%$) des eaux de la nappe des alluvions récentes échantillonnées en septembre 2017 provient de la recharge apportée par la part des flux estivaux des canaux qui ont transité pendant la période d'irrigation (mars à septembre) et qui n'ont pas été consommés par les cultures. Sur la base des résultats des décompositions géochimiques et de la mesure du débit du Boulès à la confluence ($0.85 \text{ m}^3/\text{s} \pm 0.1 \text{ m}^3/\text{s}$), la contribution du pôle « canaux » ($63\% \pm 7\%$) qui représente la part de la recharge par les canaux dans le débit mesuré du Boulès est de $0.53 \text{ m}^3/\text{s} \pm 0.07 \text{ m}^3/\text{s}$ pour cet affluent majeur de la Têt en période estivale.

Les mesures différentielles réalisées sur les canaux indiquent que le flux d'irrigation des alluvions récentes situées en rive droite de la Têt ($1.7 \text{ m}^3/\text{s}$) est comparable au flux d'irrigation des alluvions anciennes ($1.9 \text{ m}^3/\text{s}$). En rive gauche, le flux d'irrigation des alluvions récentes est de $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ en

septembre 2017. Les flux de sortie des canaux vers d'autres secteurs sont estimés à $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ce qui représente environ 10% du cumul des prises d'eau sur la Têt, en incluant la prise d'eau du canal de Corbère ($1 \text{ m}^3/\text{s}$) au niveau du barrage de Vinça.

Les mesures différentielles réalisées sur la Têt montrent par ailleurs que les aquifères ne contribuent pas ou peu sur le dernier tronçon de la Têt situé à l'aval des prises d'eau des canaux des 4 Cazals et de Perpignan (station Y0474030 située à l'amont de la confluence avec La Basse). Sur ce tronçon, le drainage de la nappe des alluvions anciennes par La Basse a pour conséquence de réduire le flux d'eau souterraine qui alimente la Têt sur ce dernier tronçon de la Têt étudié. Les flux de La Basse n'ont pas été mesurés lors de la campagne de septembre 2017, mais un ordre de grandeur a pu être estimé pour ce débit sur la base des données historiques disponibles en Banque Hydro ($0.9 \text{ m}^3/\text{s} \pm 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$). La connaissance de ce flux a permis d'estimer, en considérant les autres termes du bilan hydrogéologique, un ordre de grandeur pour les flux d'échange par drainance avec le Pliocène sous-jacent. En fin de période d'irrigation par les canaux (septembre 2017) ce flux serait de $0.6 \text{ m}^3/\text{s} \pm 0.4 \text{ m}^3/\text{s}$.

Les suivis piézométriques du Quaternaire et du Pliocène attestent de l'existence d'échanges importants entre les 2 aquifères dans la zone d'étude. Les informations géochimiques permettent également de confirmer l'existence d'un transfert d'eau entre ces deux systèmes aquifères sous l'effet du phénomène de drainance provoqué par les pompages dans le Pliocène. Localement, les flux d'échanges sont très importants (au Mas Rippol notamment), la qualité des eaux du Pliocène évoluant vers celle du Quaternaire sous l'effet des pompages dans le Pliocène. L'ordre de grandeur des flux d'échanges entre le Quaternaire et le Pliocène en fin de période d'irrigation ($0.6 \text{ m}^3/\text{s} \pm 0.4 \text{ m}^3/\text{s}$) est à rapprocher de celui estimé pour le prélèvement dans le Pliocène pour les usages d'eau potable (évalué à $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ pour le secteur d'étude, selon l'étude volume prélevable, Hydriad, 2014) et également à rapprocher des flux de drainance évalués à l'échelle de la plaine du Roussillon (Dewandel et al., 2022) pour lesquels on observe que plus de 50% de l'eau pompée tout au long de l'année dans les formations profondes du Pliocène serait apportée par drainance verticale de l'eau contenue dans les formations Quaternaires.

Les flux d'échange entre le Quaternaire et le Pliocène ne sont probablement pas constants au cours du cycle hydrologique et notamment entre les périodes hivernales et les périodes d'irrigation, comme le suggèrent les suivis piézométriques. Par ailleurs, au cours de la période d'irrigation, ce flux doit probablement évoluer aussi selon l'importance de la demande évapotranspiratoire des cultures (besoins des plantes), qui peut atteindre $2.8 \text{ m}^3/\text{s}$ en juillet selon les estimations de BRLi (Chauveau et al., 2021). Cette forte demande en eau par la végétation en juillet doit probablement entraîner une diminution du flux d'échange entre le Quaternaire et le Pliocène en juillet par rapport au mois de septembre (même si on peut penser qu'elle est anticipée par les irrigants, qui doivent probablement augmenter les débits au niveau des prises d'eau des canaux sur la Têt). Dans l'état actuel de nos connaissances, l'évaluation de flux d'échange entre le Quaternaire et le Pliocène tout au long du cycle hydrologique ne peut pas être envisagée car d'une part, les débits des prises d'eau des canaux ne sont pas (plus) mesurés en continu et d'autre part, en raison de l'absence de mesure de débit sur La Basse (depuis 2014) qui doit être impérativement mesuré si l'on désire contraindre le bilan hydrogéologique de la zone d'étude.

6. Bibliographie

- BRLi (2011), Etude de détermination des volumes prélevables du bassin de la Têt, Phase 3 – Ressources, 77 p.
- Chauveau, M., Bosio, C., Digaud, R. (2021) – Analyse détaillée de l'usage irrigation sur la plaine du Roussillon. Production#9 du projet Dem'Eaux Roussillon, RP-71476-FR, 104 p., 49 fig., 1 ann.
- Chéry Laurence (1992). Interprétation des résultats des analyses isotopiques des eaux du multicouche du Roussillon. BRGM/R36094 GCH-TIE-92
- Marchal J.P. et Chéry L. (1995). Contamination marine de l'aquifère plio-Quaternaire du Roussillon (Pyrénées Orientales). Rapport BRGM R 38604
- Craig, H. (1961). Standart for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural waters. Sciences, 133, 1833-1834.
- Craig, H., et Gordon, L. (1965). Deuterium and oxygen-18 variations in the ocean and the marine atmosphere. In : E. Tongiorgi. Stable isotopes in oceanographic studies and paleotemperatures , C.N.R, Lab. Geol. Nucl., Pisa, p. 9-130.
- Dewandel B., Ladouche B., Caballero Y. (2022) – Synthèse et valorisation des données d'essai par pompage réalisés sur les sites Dem'Mer et Dem'Ter dans le cadre du projet Dem'Eaux Roussillon. Production #22b du projet Dem'Eaux Roussillon. BRGM/RP 71514 FR, 81 p., 69 fig., 4 ann.
- Gillon et Marc 2014. Rapport Université d'Avignon. Etude des interactions entre les eaux de surface et les nappes de la plaine du Roussillon par traçage chimique et isotopique. Résultats après la campagne de prélèvement du 19 et 20 mars 2014
- Hydriad (2014), Etude des volumes prélevables des nappes plio-quaternaires de la plaine du Roussillon. Synthèse de la Phase 2 : Estimation des volumes prélevables, 22p
- Ladouche.B., Duvail.C., Marchal.J.P., Le.Strat.P., Chery.L., (2003). - Détermination de l'origine des nitrates dans l'aquifère du Roussillon par le traçage isotopique des sources d'azote (commune de Pia, Pyrénées Orientales). BRGM/RP-52745-FR
- Ladouche.B., Dorfliger.N., Izac.J.L., Cubizolles.J., Le.Strat.P., Du.Couedic.C., Aunay.B., Thomson.P., (2004) - Evaluation des ressources en eau des Corbières. Phase 1 : Synthèse de la caractérisation des systèmes karstiques des Corbières Orientales. . Vol. 2 - Caractérisation géologique et hydrogéologique du système karstique du "synclinal du Bas-Agly" Rapport final. BRGM/RP-52919-FR
- Ladouche B, Aquilina L. , Dorfliger N., 2009. Chemical and isotopic investigation of rainwater in Southern France (1996-2002): Potential use as input signal for karst functioning investigation. J.Hydrol.;367(1-2):150-64.

Ladouche B. et Dewandel B. (2016) – Apport de la datation (CFC/SF6/Tritium) à la compréhension du fonctionnement de l'aquifère du pliocène mobilisé par le forage Rosaret (commune d'Ille-sur-Têt). Rapport final. BRGM/RP-66432-FR, 67p

Laurent, S., Chauveau, M., Digaud, R. (2021) – Campagne de mesure des débits sur la Têt et conclusions sur les flux de surface et souterrains. Production#11a du projet Dem'Eaux Roussillon, BRGM/RP-71406-FR, 64 p., 37 fig., 1 tabl

Marc (2013). Rapport Université d'Avignon. Etude des interactions entre les eaux de surface et les nappes de la plaine du Roussillon par traçage chimique et isotopique. Résultats préliminaires après la campagne de prélèvement du 11 et 12 septembre 2013

Salvayre H. et Olive P. (1994). Datation par le carbone 14 des eaux souterraines profondes de la plaine du Roussillon. *Vie Milieu*, 1994, 44 (3/4): 191-197

Annexe 1

Elements complémentaires du chapitre « *Etude des échanges et flux d'eau entre les canaux d'irrigation, les cours d'eau et les niveaux aquifères* »



Figure A- 1. Quelques photos des jaugeages de la campagne canaux (11 au 13 septembre 2017).

Code	COURS_EAU	Type	CoordX_Lo2	CoordY_Lo2	Date	h	Débit (m3/s)	C (µS/cm) à 25°C	T° (°C)	Clabo (µS/cm)	Prélevement*	Commentaires
CO_1	CANAL CORBERE	PE canaux	664956	6173466	11/09/2017	13:50	1.110	157.4	18.9		oui	CORBERE ENTREE NAPPE
CO_2	CANAL CORBERE	Canaux	665884	6172267	11/09/2017	15:20	0.966	157.4	18.9	158.9	oui	CANAL CORBERE AMONT CROISEMENT BOULES
CO_3	CANAL CORBERE	Canaux	669335	6172832	12/09/2017	17:13	1.007	156.7	18.8	159.9	oui	CORBERE ALL. ANCIENNES
CO_4	CANAL CORBERE	Canaux	673919	6173319	12/09/2017	14:00	0.327	155.8	19	159	oui	FIN CANAL CORBERE
CO_4_bis	CANAL CORBERE	Canaux	673915	6173356	12/09/2017	16:15	0.077	156.5	19.8	160.5	oui	CO_4 bis
ILL_1_NEW	CANAL ILL	Canaux	667361	6173984	11/09/2017	16:40	1.053	157.8	18.9		oui	ILLE_1_NEW
TH_1_NEW	Canal Thuir	PE canaux	667333	6174088	11/09/2017	15:40	0.738				oui	PE CANAL THUIR (TH_1_NEW)
TH_2	Canal Thuir	Canaux	688314	6174565	11/09/2017	13:50	0.713	158	18.7	160.8	oui	Confluence C. Thuir et Ille
TH_3	Canal Thuir	Canaux	671387	6173976	12/09/2017	11:00	0.796	158.5	17.5	160.8	oui	THUIR FIN ALL. RECENTES
TH_4	Canal Thuir	Canaux	673923	6173323	12/09/2017	14:00	0.872	158	18	160.6	oui	Thuir avant la confluence avec Canal Corbère
TH_5	Canal Thuir	Canaux	681701	6171590	13/09/2017	9:30	0.187	198.4	16.1	204	oui	Canal de Thuir avant déverse dans la Basse
LCA_1	LAS CANALS	PE canaux	668646	6175061	12/09/2017	11:00	0.991	160.9	17.6	162.3	oui	Prise_las_canaux
LCA_2	LAS CANALS	Canaux	671760	6174633	12/09/2017	11:50	1.000	161.7	17.4	163.5	oui	Las Canals avant de passer sur la terrasse des alluvions moy
LCA_3	LAS CANALS	Canaux	674553	6175066	12/09/2017	13:00	0.942	161.8	17	163.2	oui	LAS CANALS DEBUT ALL. ANCIENNES
LCA_4	LAS CANALS	Canaux	681888	6171725	12/09/2017	16:15	0.378	161.5	17.6	163.6	oui	Las Canals avant de sortir des alluvions
LCA_5	LAS CANALS	Canaux	686422	6173140	12/09/2017	15:20	0.413	171	17.2	174.2	oui	LAS CANALS FIN ALL. ANCIENNES
MI_1	Canal Millas	PE canaux	669605	6176015	11/09/2017	14:00					non	PE MILLAS NEFIACH
MI_1_NEW	Canal Millas	Canaux	670146	6176393	11/09/2017	14:45	1.065	173.9	19.6		oui	MI_1_NEW
MI_2_BOUL	Canal Millas	Canaux	675535	6176622	11/09/2017	15:50	0.193	0.385			non	Canal Millas avant confluence Boulés
MI_3b	Canal Millas	Canaux	652225	6146149	11/09/2017	16:30	0.385	172.6	18.6	175.8	oui	Canal Millas
retour Canal Millas	Canal Millas	Affluent pr Têt										
CCO_1	CANAL CORNEILLA	PE canaux	653831	6145537	13/09/2017	13:15	0.113	175.3	17.4	176.4	oui	FIN CANAL MILLAS MOULINS ST FELIU
CCO_2	CANAL CORNEILLA	Canaux	673732	6177871	13/09/2017	11:15	0.369	179.2	17.7	181.3	oui	PE CORNEILLA
CCO_3	CANAL CORNEILLA	Canaux	674512	6177949			0.369	179.2	17.7		non	Canal de Corneilla
CO2_2	CANAL CORBERE	Canaux	691900	6180019	13/09/2017	11:30	0.207	207	17.2	210	oui	Corneilla avant de sortir des alluvions
PEZ_1	CANAL PEZILLA	PE canaux	666331	6172234	11/09/2017	16:25	1.007	157	18.7		non	CO2_2 "Aval" Bouleternère
PEZ_2	CANAL PEZILLA	Canaux	675550	6177123			0.666				non	PE PEZILLA
PIA_1	Canal VERNET ET PIA	PE canaux	677008	6177080	13/09/2017	15:30	0.666	183.9	20.4	185.5	oui	Canal Pezilla
CAZ_1	CANAL 4 CAZALS	PE canaux	681818	6175937	13/09/2017	11:16	0.511	202	17.2	205	oui	PRISE CANAL VERNET ET PIA
MI_2	Canal Millas	Canaux	685749	6176759	13/09/2017	14:40	0.183	230	18.5	232	oui	PE 4 CAZALS
Boules Amont	LE BOULES	Affluent pr Têt					0.162				non	RETOUR MILLAS DANS TET (2 canaux qui se joignent (1 jaugé et 1 estimé 20 l/s) puis sous 4 voies
Boules Aval	LE BOULES	Affluent pr Têt	646783	6141957	13/09/2017		0.028	234	15.2		oui	Boules GPS 228
Boules confluence	LE BOULES	Affluent pr Têt	675454	6176462	11/09/2017	17:05	0.800	185.3	18.5	185.5	oui	Boules Millas radier
Castelnou	Castelnou	Affluent pr Têt	675833	6177135	11/09/2017	17:20	0.850	198.1	18.01		oui	Boules confluence
Ravin Berne	Ravin Berne	Affluent pr Têt	682337	6176303	13/09/2017	10:30	0.124	204	17.9	212	oui	Castelnou
		Affluent pr Têt	687202	6177768	13/09/2017	17:00	0.052	250	19.8	249	oui	Ravin Berne

Figure A-2. Mesures de débit et paramètres physico-chimiques des eaux des canaux et des affluents jaugés

Localisation	Nom&indice	CoordX_L93	CoordY_L93	Date	C (µS/cm)	T° (°C)	C labo (µS/cm)	Prélèvement	Débit (m3/s)	Remarques
Têt Vinca	TET_O	662579	6173208	11/09/2017	159.6	17	160.1	oui et filtré		
Têt Station Rodés	TET_A => BqHydro Y0464030	663932	6173491	11/09/2017	158.5	19.2	159.3	oui et filtré	4.68	Débit moy Journalier BqHydro
Têt Station Rodés	TET_A => BqHydro Y0464030			12/09/2017					4.88	Débit moy Journalier BqHydro
Têt Station Rodés	TET_A => BqHydro Y0464030			13/09/2017					4.92	Débit moy Journalier BqHydro
Têt Aval des PE canaux d'Ill Et Thuir	TET_B	667073	6173785	12/09/2017	185	18.4	162.3	oui et filtré	3.35	
Têt Aval des PE canaux d'Ill Et Thuir	TET_B	667073	6173785	13/09/2017	157	18.2	162.6	oui et filtré	3.35	
Têt Aval PE Las Canals	TET_C	669527	6175729	12/09/2017	167.8	18.7	174.1	oui et filtré	3.25	
Têt Aval PE Canal Millas	TET_D=T6 => BqHydro Y0664055	669675	6176196	11/09/2017	173.1	18		oui et filtré	??	Problème Jaugeage (QMI BqHydro=1.52 m3/s)
Têt Aval PE Canal Millas	TET_D=T6 => BqHydro Y0664055	669675	6176196	12/09/2017	179.3	20		non	1.69	QMI BqHydro=1.71 m3/s
Têt Aval PE Canal Millas	TET_D=T6 => BqHydro Y0664055	669675	6176196	13/09/2017				non		QMI BqHydro=1.77 m3/s
Têt Aval PE Canal Corneilla	TET_E	674644	6177673	11/09/2017	190.1	17.9		oui et filtré	??	1.81
Têt Aval Confluence Bouliès	TET_F	674889	6177509	11/09/2017	193.4	18.1		oui et filtré	2.51	Problème Jaugeage
Têt Aval PE Canal Pezilla et apport Coumelade(RD)	TET_G	677548	6176789	11/09/2017	185	20.46	189.7	oui et filtré	2.51	
Têt Aval PE Canal Pezilla et apport Coumelade(RD)	TET_G	677548	6176789	13/09/2017	197.8	19	201	oui et filtré	2.66	
Têt Amont PE Canal Pia et Vermet	TET_H	681498	6175928	13/09/2017	225	20.2	212	oui et filtré	2.46	
Têt Aval PE 4-Cazal	TET_I	686276	6176958	13/09/2017						Pas jaugé, pas prélevé
Têt Pont Joffre Amont Basse	TET_J => BqHydro Y0474030	691160	6178191	11/09/2017				non	2.37	Débit moy Journalier BqHydro
Têt Pont Joffre Amont Basse	TET_J => BqHydro Y0474030	691160	6178191	12/09/2017				non	2.44	Pas jaugé, pas prélevé
Têt Pont Joffre Amont Basse	TET_J => BqHydro Y0474030	691160	6178191	13/09/2017				non	2.39	Débit moy Journalier BqHydro
Têt Aval Basse	TET_K	692280	6178661					non		Pas jaugé, pas prélevé
Têt Exutoire Step ?	TET_L	693381	6179073					non		Pas jaugé, pas prélevé
Têt Aval Radier De Villelongue Aval Canal Moulin	TET_M	698628	6179395					non		Pas jaugé, pas prélevé

Figure A- 3. Mesures de débit et paramètres physico-chimiques des eaux de la Têt

nom dans Graph	heure	X_RGF93_L93	Y_RGF93_L93	C In Situ (µS/cm à 25°C)	Temp (°C)	C_Labo (µS/cm à 25°C)	Ca_(mg/l)_LQ=0.5	Mg_(mg/l)_LQ=0.5	Na_(mg/l)_LQ=0.5	K_(mg/l)_LQ=0.5	HCO3_(mg/l)_LQ=10	Cl_(mg/l)_LQ=0.5	SO4_(mg/l)_LQ=0.5	NO3_(mg/l)_LQ=0.3	SiO2_(µg/l)_LQ=0.5
Têt_Vinca		662579	6173208	159.6	17	160.1	22.3	3.5	5.6	1.3	86.1	4.2	4.2	8.8	1.1
Têt-A		663932	6173491	158.5	19.2	159.3	22.0	3.4	5.8	1.3	85.4	4.2	4.2	8.8	3.7
Têt-B	11:00	667073	6173785	158	18.4	162.3	22.4	3.5	5.8	1.3	85.9	4.2	4.2	8.9	3.5
Têt-B		667073	6173785	157	18.2	162.6	22.4	3.5	5.8	1.3	85.9	4.2	4.2	8.9	3.5
Têt-C	15:00	669527	6175729	167.8	18.7	174.1	24.1	3.8	6.1	1.3	92.8	4.5	4.5	9.3	4.3
Têt-D [T6]	13:05	669675	6176196	173.1	18	23.7	23.7	3.7	6.6	1.3	93.0	4.5	4.5	9.8	4.4
Têt-E	15:55	674889	6177509	190.1	17.9	26.0	26.0	4.2	6.7	1.2	98.5	4.9	4.9	11.5	2.8
Têt-F	13:30	676820	6176966	179.3	20	184.6	25.6	4.1	6.3	1.3	96.8	4.8	4.8	10.8	5.4
Têt-G	17:30	677362	6176870	193.4	18.1	25.8	25.8	4.2	6.4	1.2	97.1	5.0	5.0	11.9	6.4
Têt-G	16:00	677362	6176870	189.7	20.46	250	25.8	4.3	6.4	1.3	99.0	5.0	5.0	11.8	6.5
Têt-H	12:24	681728	6175942	197.8	19	201	27.9	4.6	7.2	1.2	101.0	5.6	5.6	13.8	7.0
Têt-I	15:30	686276	6176958	225	20.2	212	29.1	5.0	7.5	1.3	104.6	6.5	6.5	15.1	7.0
Boulès	17:05	675458	6176471	185.3	18.5	185.5	25.7	4.1	6.2	1.5	97.9	4.9	4.9	11.4	5.9
Boulès Amont (2017)	15:00	666422	6169713	80		234	29.3	7.0	8.0	0.5	88.2	4.6	4.6	40.1	12.9
Boulès Aval (2017)	17:05	675458	6176471	185.3	18.5	185.5	25.7	4.1	6.2	1.5	97.9	4.9	4.9	11.4	5.9
Boulès confluence (2017)	17:20	675826	6177121	198.1	18.01	26.9	26.9	4.6	6.7	1.2	94.5	5.4	5.4	16.6	7.7
Ravin Berne	17:00	687202	6177768	250	19.8	249	34.8	5.4	8.7	1.3	120.7	6.7	6.7	17.8	10.4
Castelnou	10:30	682337	6176303	204	17.9	212	27.2	5.6	7.8	1.0	96.7	6.9	6.9	17.7	9.3
CO_1	13:50	664956	6173466	157.4	18.9	22.2	22.2	3.4	6.0	1.2	90.3	4.0	4.0	9.0	3.5
ILL_1	16:40	667361	6173984	157.8	18.9	22.2	22.2	3.4	5.7	1.3	87.3	4.1	4.1	8.7	3.4
LCA_1	11:00	668486	6175086	160.9	17.6	162.3	22.6	3.5	5.8	1.3	87.6	4.2	4.2	8.8	4.0
CCO_1	11:15	672658	6177595	179.2	17.7	181.3	25.3	4.1	6.7	1.3	95.8	4.7	4.7	10.9	4.7
PZ_1	15:30	677008	6177080	183.9	20.4	185.5	25.8	4.2	6.7	1.2	98.6	4.9	4.9	11.7	5.9
PIA_1	11:16	681818	6175937	202	17.2	205	29.5	5.1	7.4	1.3	105.2	5.6	5.6	13.8	7.1
CAZ_1	14:40	685749	6176759	230	18.5	232	31.5	5.5	8.3	1.5	117.0	7.4	7.4	17.4	7.2
LCA_5	15:20	686932	6173349	171	17.2	174.2	24.4	3.7	6.2	1.5	93.6	4.6	4.6	9.3	4.1
CCO_2	11:30	691900	6180019	207	17.2	210	28.9	4.8	7.3	1.4	105.5	5.8	5.8	14.2	6.5
MI-2	16:50	675565	6176633	172.6	18.6	175.8	23.5	3.7	6.9	1.1	91.9	4.5	4.5	10.2	4.2
MI_3_New	13:15	678106	6175706	175.3	17.4	176.4	24.3	3.9	6.0	1.3	91.8	4.6	4.6	10.4	4.7
TH_5	9:30	681713	6171559	198.4	16.1	204	28.9	3.9	6.2	1.3	108.2	4.8	4.8	10.0	4.0

Figure A- 4. Resultats des analyses chimiques sur les eaux de surface

nom dans Graph	Groupe	Date	Rb_(µg/l)_LQ=0.01	Al_(µg/l)_LQ=0.5	As_(µg/l)_LQ=0.05	Ba_(µg/l)_LQ=0.5	Ba_(µg/l)_LQ=0.05	Y_(µg/l)_LQ=0.01	Cd_(µg/l)_LQ=0.001	Co_(µg/l)_LQ=0.005	Cr_(µg/l)_LQ=0.01	Cu_(µg/l)_LQ=0.1	Fe_(µg/l)_LQ=1	Mn_(µg/l)_LQ=0.1	NH4_(mg/l)_LQ=0.001	NO2_(mg/l)_LQ=0.01	Ni_(µg/l)_LQ=0.1	PO4_(mg/l)_LQ=0.05	Pb_(µg/l)_LQ=0.05	Zn_(µg/l)_LQ=0.5
Têt_Vinca	Têt	11/09/2017	0.75	4.4	2.46	26.8	92.0	0.02	0.004	0.05	0.036	0.87	24.2	1.0	0.004	0.95	0.24	0.47	0.08	33.3
Têt-A	Têt	11/09/2017	0.77	2.1	2.38	31.4	103.1	0.02	0.003	0.03	0.030	0.82	37.3	0.3	0.005	0.92	0.25	0.49	0.08	24.7
Têt-B	Têt	12/09/2017	0.80	2.0	2.41	30.1	98.0	0.02	0.003	0.03	0.031	0.87	45.4	0.3	0.005	0.99	0.24	0.48	0.09	32.3
Têt-B	Têt	13/09/2017	0.80	2.0	2.41	30.1	98.0	0.02	0.003	0.03	0.031	0.87	45.4	0.3	0.005	0.99	0.24	0.48	0.09	32.3
Têt-C	Têt	12/09/2017	0.81	1.7	2.25	29.7	97.2	0.02	0.005	0.03	0.034	0.78	32.5	0.3	0.005	0.98	0.23	0.45	0.07	33.7
Têt-D [T6]	Têt	11/09/2017	0.62	0.9	1.99	19.3	138.1	0.01	0.004	0.04	0.033	0.66	14.2	1.4	0.003	0.96	0.20	0.46	0.02	137.4
Têt-E	Têt	11/09/2017	0.27	2.2	0.85	6.9	47.9	0.01	0.027	0.02	0.021	0.32	20.6	3.1	0.002	0.28	0.11	0.17	0.03	71.2
Têt-F	Têt	13/09/2017	0.98	1.8	1.84	11.8	13.1	0.02	0.003	0.02	0.025	0.64	34.4	0.4	0.011	0.56	0.20	0.39	0.07	1.5
Têt-G	Têt	11/09/2017	0.65	1.5	1.92	29.6	94.2	0.02	0.003	0.03	0.033	0.80	36.1	0.6	0.004	0.59	0.18	0.37	0.07	26.7
Têt-G	Têt	13/09/2017	0.78	1.5	1.89	16.0	82.6	0.02	0.003	0.03	0.033	0.71	39.8	3.6	0.006	0.63	0.19	0.37	0.07	117.5
Têt-H	Têt	13/09/2017	0.61	0.9	1.79	28.7	93.2	0.02	0.003	0.03	0.035	0.68	26.1	0.5	0.003	0.52	0.18	0.35	0.05	24.8
Têt-I	Têt	13/09/2017	0.56	4.6	2.02	28.7	83.0	0.02	0.003	0.03	0.039	0.61	27.0	1.0	0.002	0.53	0.17	0.34	0.05	13.2
Boulès	Boulès	11/09/2017	0.61	3.0	1.84	28.7	89.5	0.02	0.007	0.03	0.036	1.46	28.7	0.4	0.002	0.46	0.27	0.38	0.05	34.0
Boulès Amont (2017)	Boulès	11/09/2017	0.30	0.8	1.09	2.9	7.0	0.00	0.031	0.01	0.027	0.82	3.9	0.2	0.003	0.09	0.38	0.36	0.05	2.7
Boulès Aval (2017)	Boulès	11/09/2017	0.61	3.0	1.84	28.7	89.5	0.02	0.007	0.03	0.036	1.46	28.7	0.4	0.002	0.46	0.27	0.38	0.05	34.0
Boulès confluence (2017)	Boulès	11/09/2017	0.52	2.2	1.28	13.0	30.1	0.02	0.004	0.04	0.041	0.64	30.3	3.9	0.003	0.37	0.22	0.29	0.06	96.3
Ravin Berne	Ravin Berne	13/09/2017	0.35	3.2	1.53	68.2	162.3	0.04	0.003	0.03	0.034	0.82	14.3	1.6	0.002	0.71	0.29	0.38	0.10	84.9
Castelnou	Castelnou	13/09/2017	0.32	3.3	0.78	32.3	90.2	0.04	0.004	0.02	0.030	0.59	29.8	0.9	0.001	0.13	0.18	0.19	0.05	33.9
CO_1	PE des Canaux	11/09/2017	1.08	6.1	2.63	11.2	45.4	0.04	0.004	0.04	0.031	0.68	130.9	1.1	0.010	1.09	0.27	0.49	0.26	126.9
ILL_1	PE des Canaux	11/09/2017	1.02	4.3	2.57	10.6	45.0	0.03	0.004	0.05	0.028	0.68	101.7	1.7	0.009	1.09	0.23	0.48	0.20	7.5
LCA_1	PE des Canaux	12/09/2017	0.78	2.0	2.22	28.0	100.5	0.02	0.003	0.03	0.047	0.66	49.0	0.3	0.005	1.02	0.20	0.46	0.19	29.8
CCO_1	PE des Canaux	13/09/2017	0.74	2.4	1.77	31.8	105.1	0.02	0.004	0.03	0.039	0.68	34.2	0.4	0.005	0.59	0.19	0.37	0.06	33.6
PZ_1	PE des Canaux	13/09/2017	0.92	1.5	1.85	10.4	12.6	0.02	0.003	0.03	0.025	0.58	34.0	0.5	0.010	0.59	0.17	0.38	0.06	0.8
PIA_1	PE des Canaux	13/09/2017	0.57	1.3	1.94	30.4	94.7	0.02	0.003	0.02	0.040	0.65	27.5	0.6	0.002	0.48	0.18	0.35	0.08	31.7
CAZ_1	PE des Canaux	13/09/2017	0.75	1.5	1.84	12.3	13.8	0.03	0.003	0.03	0.029	0.67	27.5	0.6	0.002	0.53	0.20	0.35	0.07	1.2
LCA_5	Canal Las Cazals	13/09/2017	0.88	4.7	2.25	28.9	92.0	0.03	0.010	0.03	0.046	2.08	57.2	0.4	0.003	0.84	0.54	0.49	0.16	32.6
CCO_2	Canal Cornella	13/09/2017	0.62	3.8	1.78	31.3	97.9	0.03	0.003	0.03	0.036	1.02	39.0	0.7	0.002	0.57	0.19	0.36	0.15	28.2
MI-2	Canal Millas	11/09/2017	0.92	3.2	2.60	13.9	72.3	0.03	0.006	0.04	0.035	0.74	82.5	0.8	0.006	1.03	0.22	0.45	0.14	16.4
MI_3 New	Canal Millas	13/09/2017	0.69	3.4	2.04	28.3	90.8	0.03	0.006	0.03	0.034	1.35	53.1	0.4	0.002	0.62	0.33	0.40	0.11	28.8
TH_5	Canal Thuir	13/09/2017	0.79	11.8	1.96	30.4	96.2	0.03	0.032	0.04	0.046	1.06	86.6	0.7	0.004	0.86	0.31	0.54	0.16	32.9

Figure A- 5. Resultats des analyses chimiques sur les eaux de surface (suite)

nom dans Graph	Groupe	Date	Sr_(µg/l) _LQ=0.1	87Sr/86Sr	2s(m)	dD ‰ vs SMOW (± 0.8‰)	d18O ‰ vs SMOW (± 0.1‰)
Têt_Vinca	Têt	11/09/2017	52.1	0.719054	0.000006	-60.1	-8.8
Têt-A	Têt	11/09/2017	50.6	0.719104	0.000005	-62.3	-9.1
Têt-B	Têt	12/09/2017	52.0	0.719089	0.000006	-61.4	-9.1
Têt-B	Têt	13/09/2017	52.0			-61.4	-9.1
Têt-C	Têt	12/09/2017	54.4	0.719018	0.000005	-62.0	-9.0
Têt-D [T6]	Têt	11/09/2017	55.5	0.718871	0.000006	-61.8	-9.0
Têt-E	Têt	11/09/2017	57.8	0.718459	0.000004	-59.3	
Têt-F	Têt	13/09/2017	61.5			-61.1	-8.9
Têt-G	Têt	11/09/2017	66.6	0.718311	0.000007	-61.7	-9.0
Têt-G	Têt	13/09/2017	66.1			-60.1	-8.9
Têt-H	Têt	13/09/2017	70.5	0.718214	0.000005	-60.5	-8.9
Têt-I	Têt	13/09/2017	74.0			-59.6	-8.8
Boulès	Boulès	11/09/2017	60.2	0.718615	0.000006	-60.7	-8.9
Boulès Amont (2017)	Boulès	11/09/2017	127.7	0.719597	0.000008	-44.3	-7.0
Boulès Aval (2017)	Boulès	11/09/2017	60.2	0.718615	0.000006	-60.7	-8.9
Boulès confluence (2017)	Boulès	11/09/2017	74.0	0.718806	0.000006	-59.5	-8.9
Ravin Berne	Ravin Berne	13/09/2017	86.1			-60.0	-8.9
Castelnou	Canal Castelnou	13/09/2017	79.2			-62.0	-9.0
CO_1	PE des Canaux	11/09/2017	50.8			-63.9	-9.1
ILL_1	PE des Canaux	11/09/2017	51.3	0.719233	0.000011	-64.3	-9.1
LCA_1	PE des Canaux	12/09/2017	53.0	0.719136	0.000005	-62.7	-9.1
CCO_1	PE des Canaux	13/09/2017	61.9			-62.4	-9.0
PZ_1	PE des Canaux	13/09/2017	63.6			-60.6	-8.9
PIA_1	PE des Canaux	13/09/2017	71.7	0.718146	0.000004	-60.3	-8.9
CAZ_1	PE des Canaux	13/09/2017	79.5			-62.5	-8.8
LCA_5	Canal Las Cazals	12/09/2017	55.9	0.718590	0.000009	-61.9	-8.9
CCO_2	Canal Corneilla	13/09/2017	74.2	0.717943	0.000007	-60.9	-8.7
MI-2	Canal Millas	11/09/2017	53.7			-61.9	-9.0
MI_3_New	Canal Millas	13/09/2017	57.9			-61.4	-9.0
TH_5	Canal Thuir	13/09/2017	61.7			-62.0	-9.0

Figure A- 6. Résultats des analyses isotopiques sur les eaux de surface

IndiceBSS	nom dans Graph	heure	X_RGF93 _L93	Y_RGF93 _L93	C In Situ (µS cm à 25°C)	Temp (°C)	C_Labo (µS/cm à 25°C)	Ca_(mg/l) _LQ=0.5	Mg_(mg/l) _LQ=0.5	Na_(mg/l) _LQ=0.5	K_(mg/l) _LQ=0.5	HCO3_(mg/l) _LQ=10	Cl_(mg/l) _LQ=0.5	SO4_(mg/l) _LQ=0.5	NO3_(mg/l) _LQ=0.5	SiO2_(µg/l) _LQ=0.5	
	Font del Mille	15:00	675013	6177382	173	18.8	172.3	22.9	4.0	6.3	1.0	81.1	5.3	15.4	15.4	1.2	9.3
	see Lac	13:30	674306	6177548	214	17.5	32.0	32.0	4.3	6.0	1.1	105.5	5.4	15.1	15.1	2.3	9.5
	GPS 214 (mélange?)	15:13	672722	6177479	172	18.6	172.7	23.4	3.7	6.6	1.6	97.3	4.8	9.6	<LQ	4.2	4.2
	See Gresala	13:00	668494	6174678	194.9	15.5		25.7	4.7	6.8	1.3	87.1	5.1	19.0	19.0	3.5	9.6
	See la Villa	13:15	668719	6174833	198.1	15.9		26.1	4.7	6.7	1.9	87.9	5.4	18.7	18.7	4.0	9.8
	Font d'en Ribalte	13:50	668843	6174909	201	16.1		26.1	4.7	7.1	2.3	94.2	5.3	19.6	19.6	4.8	10.0
10963X0018	P1_Ripoll	10:15	679019	6171574	334	18	329	57.1	5.0	6.3	0.7	172.3	6.9	16.9	16.9	5.9	8.8
10963X0063	P2_Ripoll	10:30	679030	6171573	318	17.8	316	55.1	4.8	6.3	0.5	166.8	6.7	16.3	16.3	7.9	8.9
10906X0039	C2-1	12:17	674184	6176281	203			27.4	5.0	6.9	1.0	90.0	5.6	20.9	20.9	5.1	9.7
10962X0029	F3 bis (Boulès)	11:25	668308	6173439	180.8	15.1		22.6	5.0	6.7	2.5	73.6	5.7	24.5	24.5	2.5	10.3
10961X0012	Bouleternère F2	14:10	666377	6172878	250	16		32.6	6.7	8.3	1.5	104.6	7.0	27.1	27.1	7.0	10.5
10907X0130	FC3-1	10:50	676389	6176117	280	16.9		36.3	8.6	8.6	1.9	126.4	10.1	30.5	30.5	10.8	13.7
10961X0030	Forage Grabas	9:45	667259	6172813	175.4	18.4		22.6	4.4	6.2	1.2	82.2	4.8	15.2	15.2	1.3	8.2
10907X0007	MC P1	10:35	676921	6175089	286	15.6	281	36.0	8.9	9.1	0.9	106.6	9.6	34.1	34.1	14.6	11.9
10907X0039	MC P10	10:10	676889	6174824	225	15.7	209	27.0	5.9	7.2	0.8	83.1	7.0	21.0	21.0	9.2	9.9
10907X0033	MC P3	8:30	677149	6174751	240	15.4	223	30.0	7.1	7.7	1.0	85.4	8.2	23.5	23.5	12.6	9.9
10907X0034	MC P4	8:55	677202	6174541	235	15.9	219	27.7	5.9	7.4	0.9	81.3	8.2	23.4	23.4	11.3	9.6
10907X0035	MC P5	9:15	677246	6174355	230	15.8	222	27.6	6.5	8.0	1.0	90.5	7.6	24.6	24.6	12.3	10.0
10907X0131	FC3-2	11:05	676367	6176154	241	16.5		28.1	7.3	12.1	1.0	120.0	5.3	18.7	18.7	5.6	17.9
10963X0041	F. Ripoll (profond)	10:40	679080	6171562	431	16.9		74.4	6.7	8.5	0.8	229.4	8.5	28.6	28.6	8.7	12.8
10907X0154	MC C5 (profond)	9:40	677151	6174938	316	16.7		40.6	8.0	13.7	1.3	154.9	6.3	28.6	<LQ	17.8	17.8
10906X0038	Millas C2-2	12:35	674189	6176300	279			32.4	7.2	15.7	1.3	140.7	6.8	22.5	22.5	9.3	19.7

Figure A- 7. Resultats des analyses chimiques sur les eaux souterraines

nom dans Graph	Groupe	Date	Rb_(µg/l)_ LQ=0.01	Al_(µg/l)_ LQ=0.5	As_(µg/l)_ LQ=0.05	Ba_(µg/l)_ LQ=0.5	Ba_(µg/l)_ LQ=0.05	Ba_(µg/l)_ LQ=0.5	Ba_(µg/l)_ LQ=0.05	Y_(µg/l)_ LQ=0.01	Cd_(µg/l)_ LQ=0.001	Co_(µg/l)_ LQ=0.005	Cr_(µg/l)_ LQ=0.01	Cu_(µg/l)_ LQ=0.1	Fe_(µg/l)_ LQ=1	Mn_(µg/l)_ LQ=0.1	NH4_(mg/l)_ LQ=0.001	NO2_(mg/l)_ LQ=0.01	Ni_(µg/l)_ LQ=0.1	PO4_(mg/l)_ LQ=0.05	Pb_(µg/l)_ LQ=0.05	Zn_(µg/l)_ LQ=0.5
Font del Milie	ESO_Q	11/09/2017	0.15	1.1	0.78	31.1	100.5	0.01	0.013	0.016	0.049	0.49	0.7	1.1	0.001	0.25	0.18	0.28	0.01	38.7		
see Lac	ESO_Q	11/09/2017	0.24	1.9	0.66	10.4	28.5	0.02	0.004	0.025	0.044	0.29	5.4	6.7	0.003	0.44	0.17	0.26	0.02	99.8		
GPS 214 (mélange?)	ESO_Q	11/09/2017	1.02	2.4	2.33	31.4	101.0	0.02	0.010	0.032	0.038	1.35	33.1	0.4	0.005	0.91	0.30	0.47	0.10	33.9		
See Gresala	ESO_Q	12/09/2017	0.13	1.0	0.74	17.7	90.3	0.06	0.009	0.023	0.067	0.29	1.0	0.1	0.001	0.17	0.11	0.32	0.02	120.0		
See la Villa	ESO_Q	12/09/2017	0.47	0.9	1.09	14.9	73.6	0.03	0.007	0.019	0.075	0.27	0.9	0.1	0.001	0.23	0.10	0.39	0.02	122.2		
Font d'en Ribalte	ESO_Q	12/09/2017	0.97	0.6	1.14	14.7	32.7	0.02	0.006	0.018	0.076	0.23	1.6	0.0	0.001	0.23	0.09	0.33	0.05	106.3		
P1_Ripoll	ESO_Q	28/09/2017	0.17	1.5	0.32	17.5	42.3	0.04	0.008	0.019	0.057	3.41	1.7	0.1	0.001	0.48	0.19	0.32	0.32	13.1		
P2_Ripoll	ESO_Q	28/09/2017	0.17	1.6	0.25	19.4	54.6	0.03	0.008	0.018	0.054	1.56	1.6	0.1	0.001	0.43	0.61	0.29	0.15	12.8		
C2-1	ESO_Q	14/09/2017	0.14	0.9	0.57	16.2	37.1	0.02	0.009	0.018	0.051	0.22	0.7	0.3	0.001	0.12	0.16	0.22	0.02	116.1		
F3 bis (Boulès)	ESO_Q	12/09/2017	0.16	4.4	1.15	9.5	39.7	0.02	0.023	0.018	0.062	3.41	6.9	0.7	0.002	0.06	0.47	0.42	0.03	169.4		
Bouleternère F2	ESO_Q	12/09/2017	0.09	1.6	0.43	13.1	39.8	0.05	0.009	0.012	0.065	0.89	2.6	0.1	0.001	0.18	0.11	0.24	0.12	9.8		
FC3-1	ESO_Q	29/09/2017	0.21	4.1	0.41	33.1	79.8	0.04	0.048	0.023	0.073	3.47	5.8	0.4	0.002	0.33	0.40	0.11	0.10	61.4		
Forage Grabas	ESO_Q	12/09/2017	0.25	0.8	1.29	27.2	90.7	0.02	0.063	0.019	0.111	0.80	1.6	0.3	0.001	0.12	0.21	0.37	0.03	73.8		
MC P1	ESO_Q	29/09/2017	0.13	0.6	0.18	32.5	87.1	0.02	0.029	0.012	0.080	2.19	1.0	0.4	0.002	0.20	3.13	0.04	0.03	59.9		
MC P10	ESO_Q	29/09/2017	0.13	1.9	0.30	55.3	164.4	0.04	0.011	0.013	0.055	1.13	0.9	0.1	0.001	0.11	0.09	0.07	0.03	73.9		
MC P3	ESO_Q	29/09/2017	0.12	0.6	0.27	30.6	74.6	0.05	0.015	0.020	0.040	2.80	1.8	0.4	0.001	0.09	1.24	0.06	0.02	63.6		
MC P4	ESO_Q	29/09/2017	0.11	1.1	0.26	34.0	81.5	0.06	0.016	0.030	0.046	3.80	2.6	0.2	0.001	0.08	1.17	0.04	0.07	67.1		
MC P5	ESO_Q	29/09/2017	0.09	0.7	0.27	20.8	43.2	0.08	0.009	0.018	0.037	1.52	0.6	0.1	0.001	0.07	1.65	0.06	0.01	21.1		
FC3-2	ESO_P	29/09/2017	0.30	2.1	0.61	23.0	83.4	0.01	0.016	0.005	0.084	1.66	3.3	0.4	0.001	0.35	0.16	0.39	0.08	33.3		
F. Ripoll (profond)	ESO_P	28/09/2017	0.72	2.1	0.52	15.5	69.3	0.03	0.010	0.005	0.062	2.70	0.9	0.3	0.018	1.71	0.08	0.58	0.07	23.9		
MC C5 (profond)	ESO_P	29/09/2017	0.81	1.7	0.35	14.7	68.8	0.00	0.003	0.003	0.015	0.97	22.0	40.7	0.003	0.02	0.80	0.73	0.03	8.6		
Millas C2-2	ESO_P	15/09/2017	0.32	1.2	0.80	19.5	49.6	0.00	0.013	0.004	0.113	0.16	2.3	0.1	0.007	0.58	0.23	0.68	0.01	124.0		

Figure A- 8. Resultats des analyses chimiques sur les eaux souterraines (suite)

nom dans Graph	Groupe	Date	Sr_(µg/l) _LQ=0.1	87Sr/86Sr	Zs(m)	dD ‰ vs SMOW (± 0.8‰)	d18O ‰ vs SMOW (± 0.1‰)
Font del Mille	ESO_Q	11/09/2017	66.1	0.718726	0.000004	-60.4	-9.0
sce Lac	ESO_Q	11/09/2017	69.8	0.718685	0.000010	-61.3	-8.9
GPS 214 (mélange?)	ESO_Q	11/09/2017	56.4			-61.3	-8.9
Sce Gresala	ESO_Q	12/09/2017	77.9			-60.0	-9.0
Sce la Villa	ESO_Q	12/09/2017	80.7	0.718631	0.000009	-60.2	-8.9
Font d'en Ribalte	ESO_Q	12/09/2017	78.5	0.718470	0.000007	-59.6	-8.9
P1_Ripoll	ESO_Q	28/09/2017	58.6	0.714642	0.000006	-61.1	-9.2
P2_Ripoll	ESO_Q	28/09/2017	56.8	0.714747	0.000007	-61.1	-9.2
C2-1	ESO_Q	14/09/2017	87.3	0.718663	0.000007	-59.5	-8.9
F3 bis (Boulès)	ESO_Q	12/09/2017	80.8	0.718983	0.000006	-53.6	-8.3
Bouleternère F2	ESO_Q	12/09/2017	97.7	0.718540	0.000006	-61.2	-9.0
FC3-1	ESO_Q	29/09/2017	101.7	0.717223	0.000009	-63.0	-9.1
Forage Grabas	ESO_Q	12/09/2017	72.4	0.718908	0.000007	-60.3	-8.8
MC P1	ESO_Q	29/09/2017	115.4	0.716615	0.000004	-62.9	-9.3
MC P10	ESO_Q	29/09/2017	83.7	0.717770	0.000004	-63.3	-9.2
MC P3	ESO_Q	29/09/2017	85.5	0.717676	0.000009	-61.9	-9.3
MC P4	ESO_Q	29/09/2017	89.4	0.718146	0.000006	-62.9	-9.4
MC P5	ESO_Q	29/09/2017	89.9	0.717932	0.000005	-61.7	-9.2
FC3-2	ESO_P	29/09/2017	86.9	0.718953	0.000008	-57.5	-8.8
F. Ripoll (profond)	ESO_P	28/09/2017	88.3	0.713027	0.000008	-60.9	-8.9
MC C5 (profond)	ESO_P	29/09/2017	126.1	0.716306	0.000005	-56.1	-8.3
Millas C2-2	ESO_P	15/09/2017	116.8	0.718996	0.000005	-55.5	-8.4

Figure A- 9. Résultats des analyses isotopiques sur les eaux souterraines

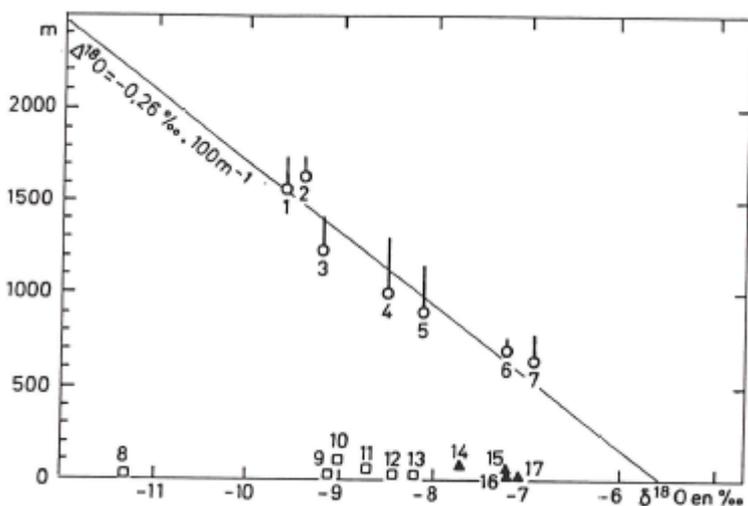


Figure A- 10. Gradient isotopique des pluies de la zone d'étude (d'après Salvayre et Olive, 1994)

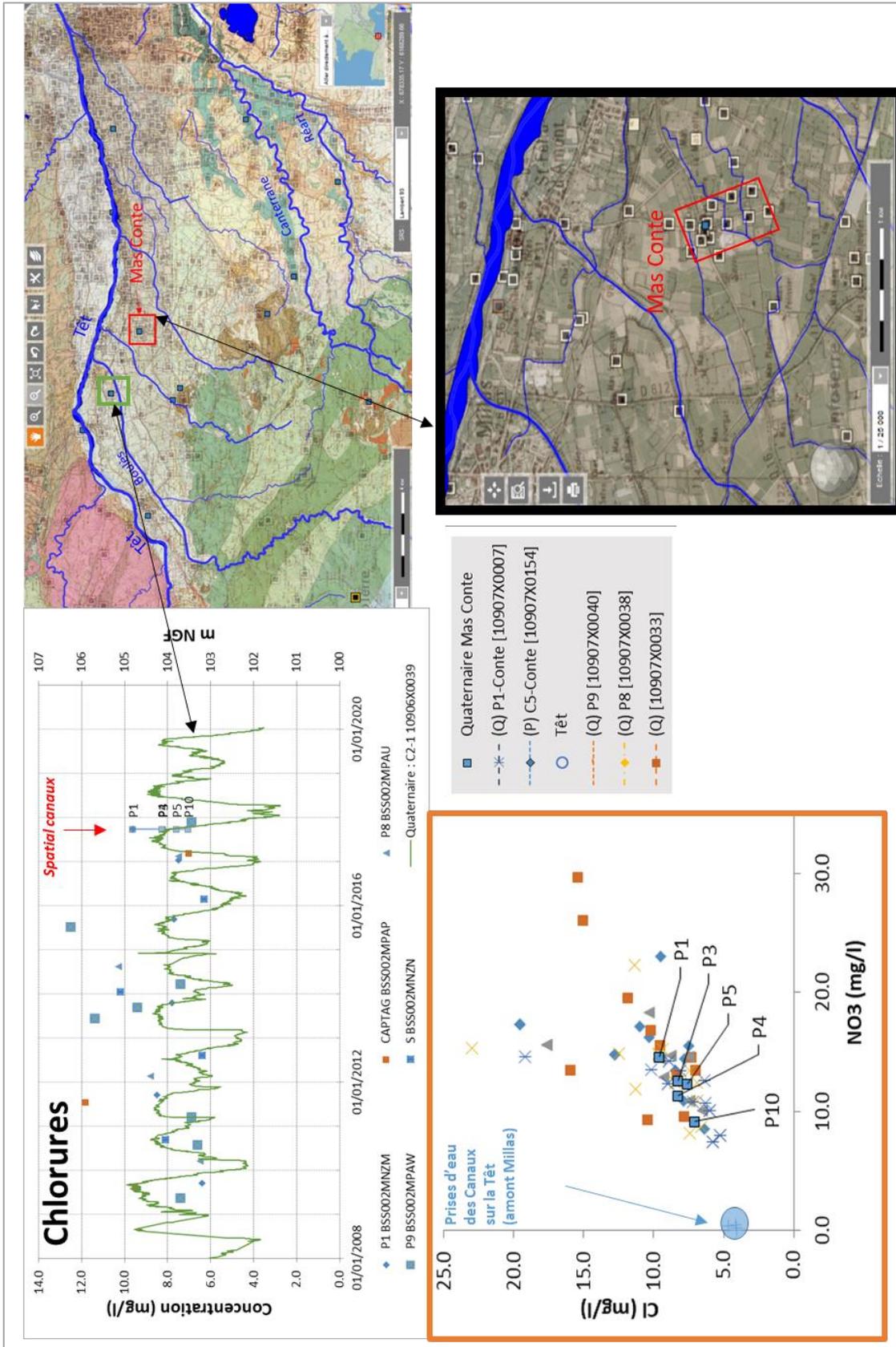


Figure A- 11. Informations sur les teneurs en chlorure et nitrate des alluvions anciennes (entité hydrogéologique 671AB02) dans le secteur de St-Feliu d'Amont et du champ captant du Mas Conte.

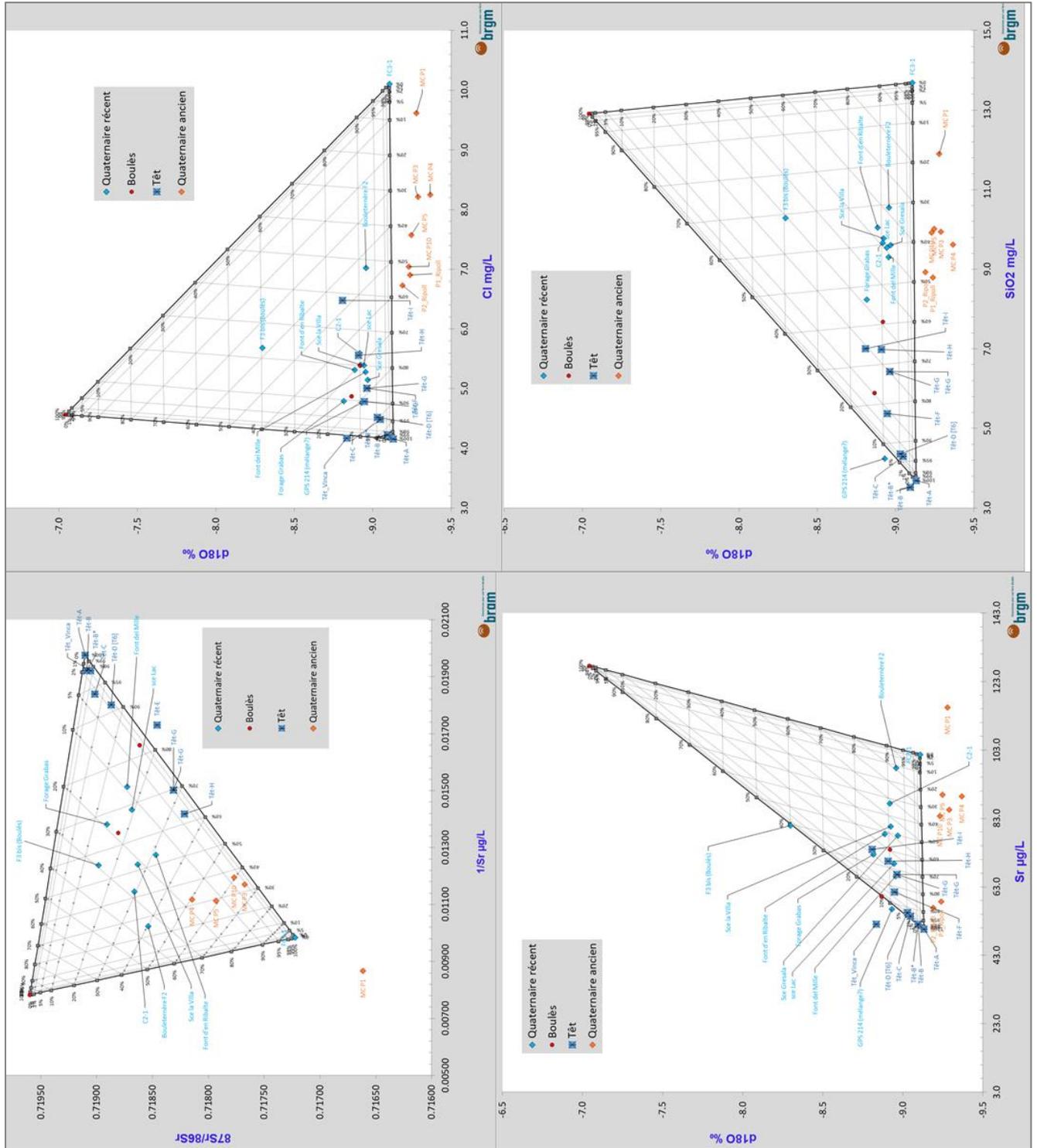


Figure A- 12. Quantification des proportions de mélange au sein de l'aquifère des formations récentes du Quaternaire (Pole Irrigation, Pole Recharge Boules, Pole Nappe)

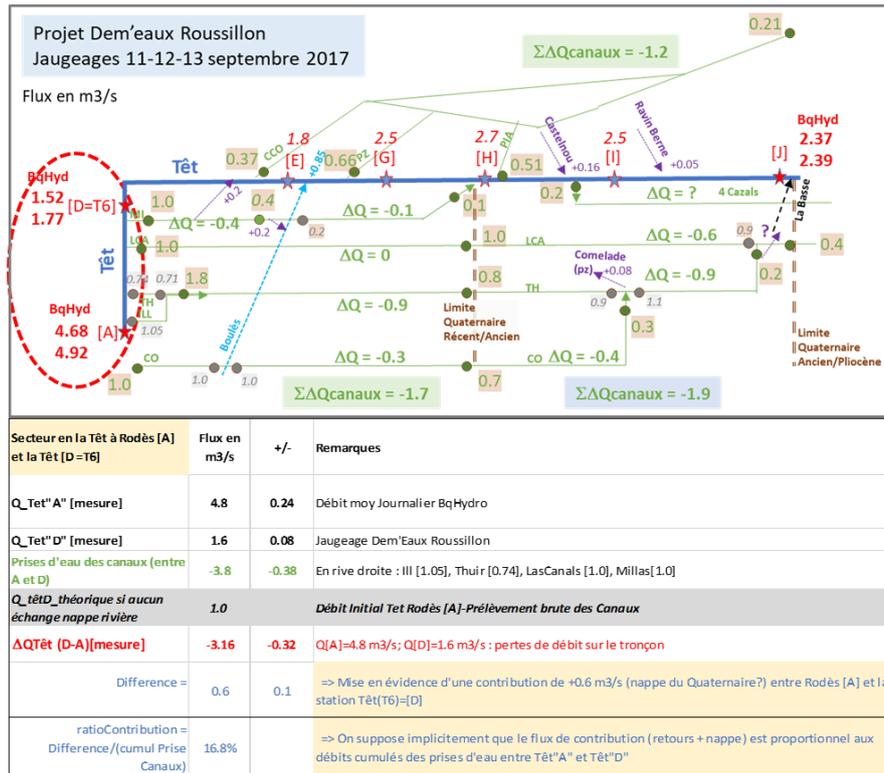


Figure A- 13. Bilan détaillé des flux (vue de la Têt) sur le tronçon [A-D]

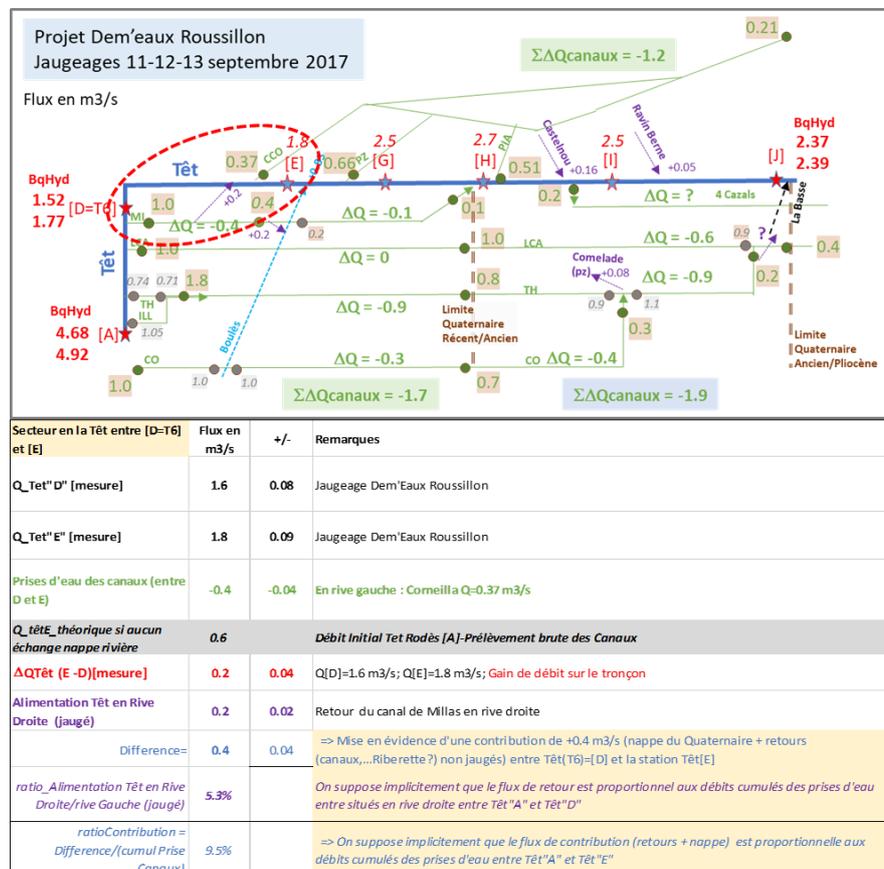


Figure A- 14. Bilan détaillé des flux (vue de la Têt) sur le tronçon [D-E]

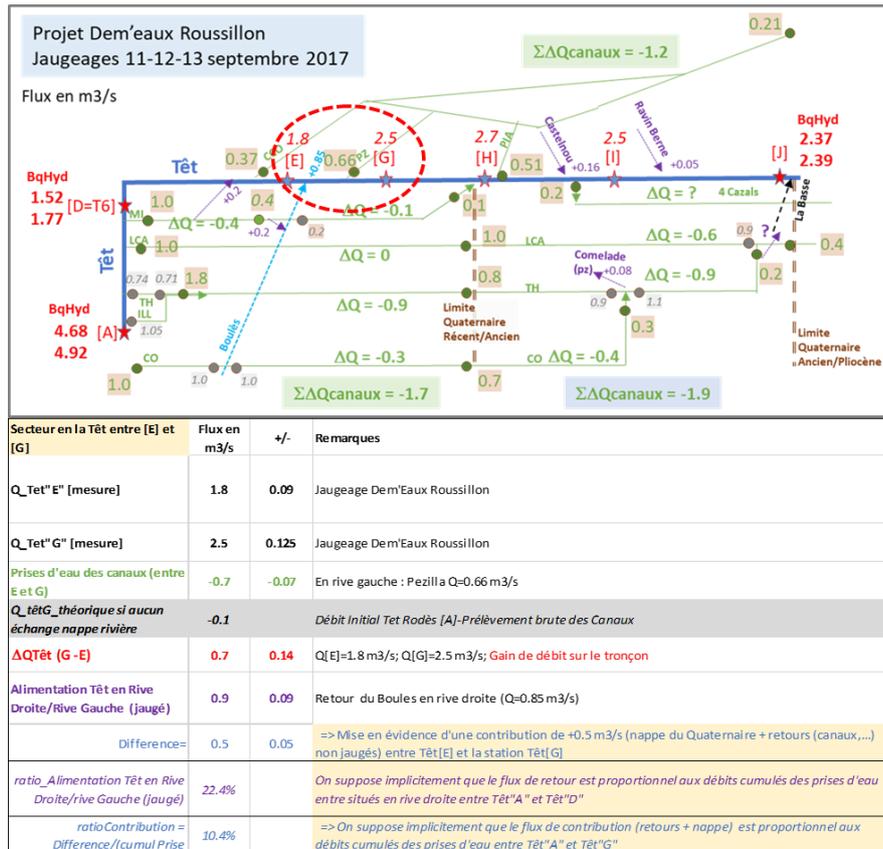


Figure A- 15. Bilan détaillé des flux (vue de la Têt) sur le tronçon [E-G]

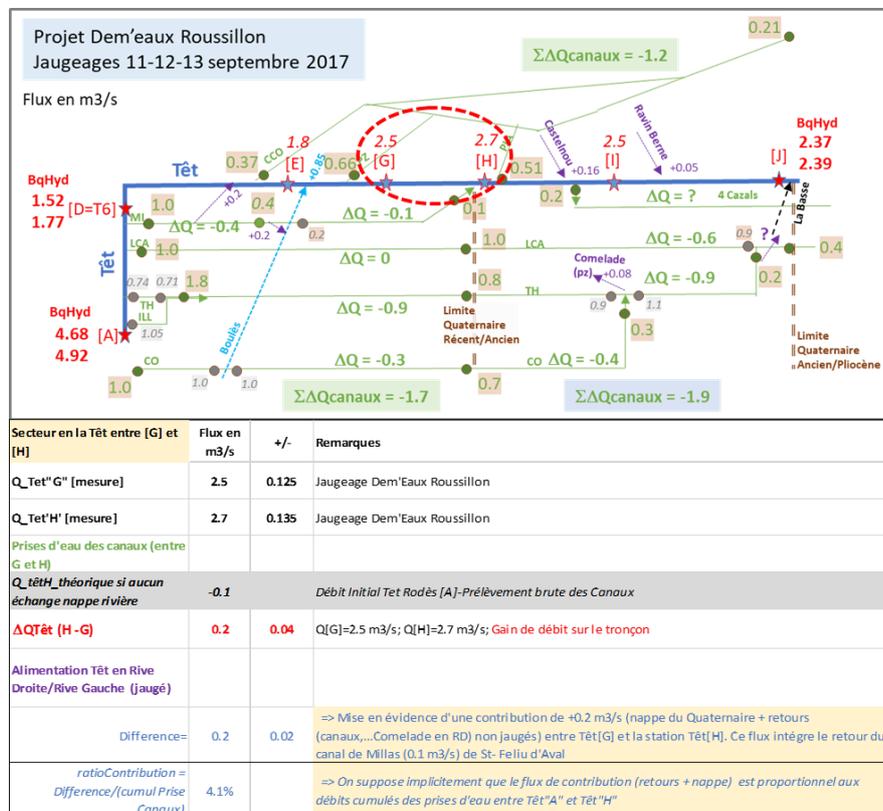


Figure A- 16. Bilan détaillé des flux (vue de la Têt) sur le tronçon [G-H]

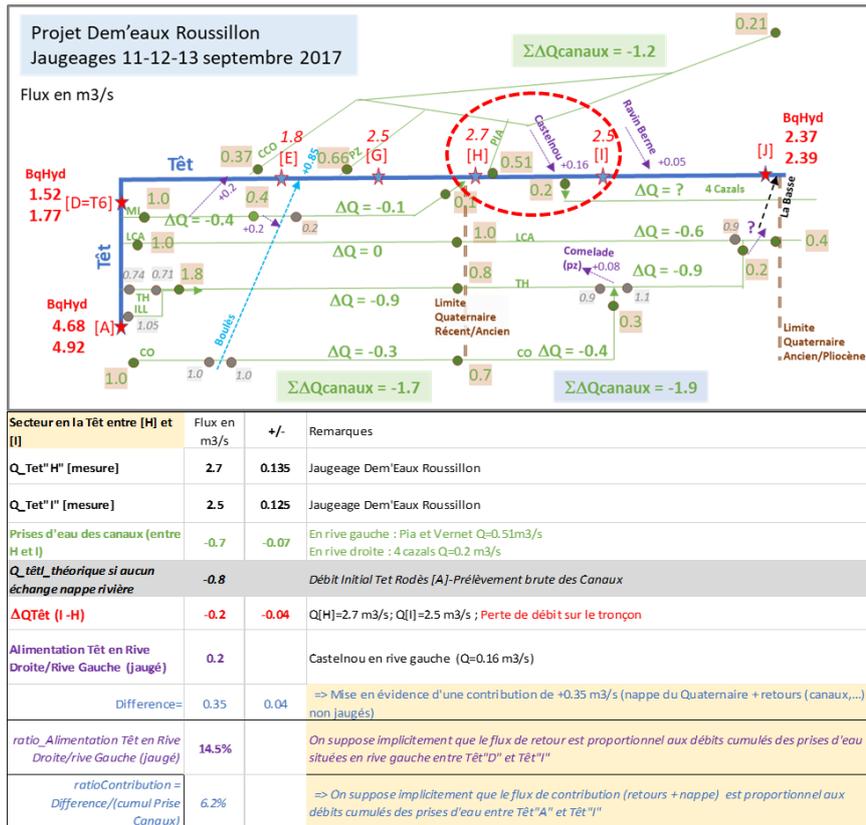


Figure A- 17. Bilan détaillé des flux (vue de la Têt) sur le tronçon [H-I]

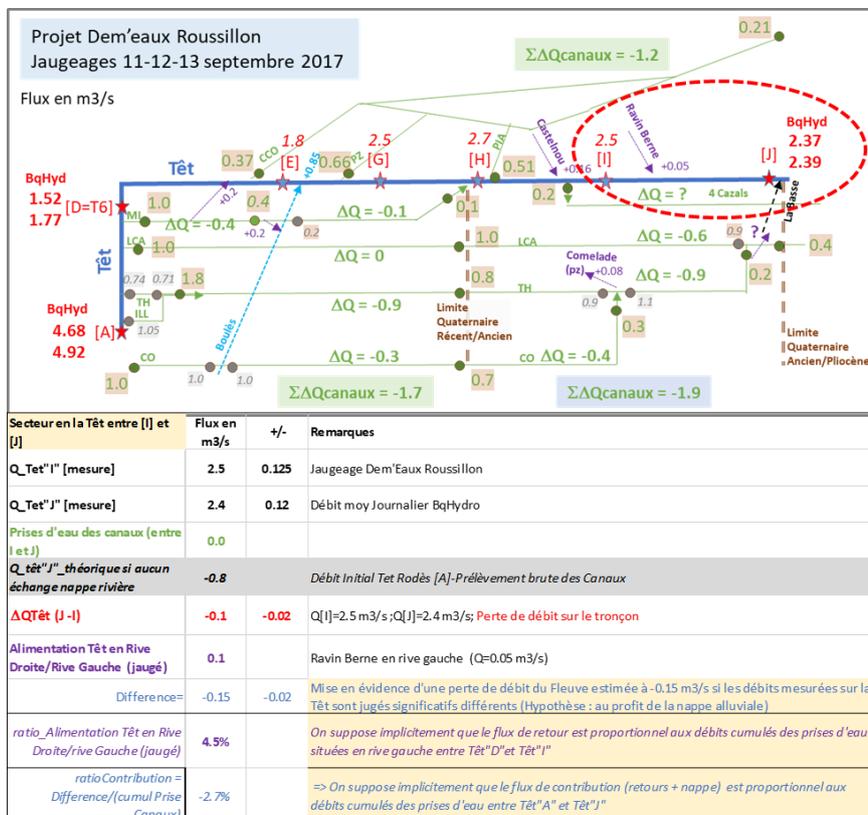


Figure A- 18. Bilan détaillé des flux (vue de la Têt) sur le tronçon [I-J]



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Occitanie
1039 rue de Pinville
34000 – Montpellier – France
Tél. : 04 67 15 79 80