

Document public

# Campagne de mesure des débits sur la Têt et conclusions sur les flux de surface et souterrains

Production #11a du projet Dem'Eaux Roussillon

Décembre 2021  
BRGM/RP-71406-FR

Sylvain Laurent, Mathilde Chauveau, Romain Digaud

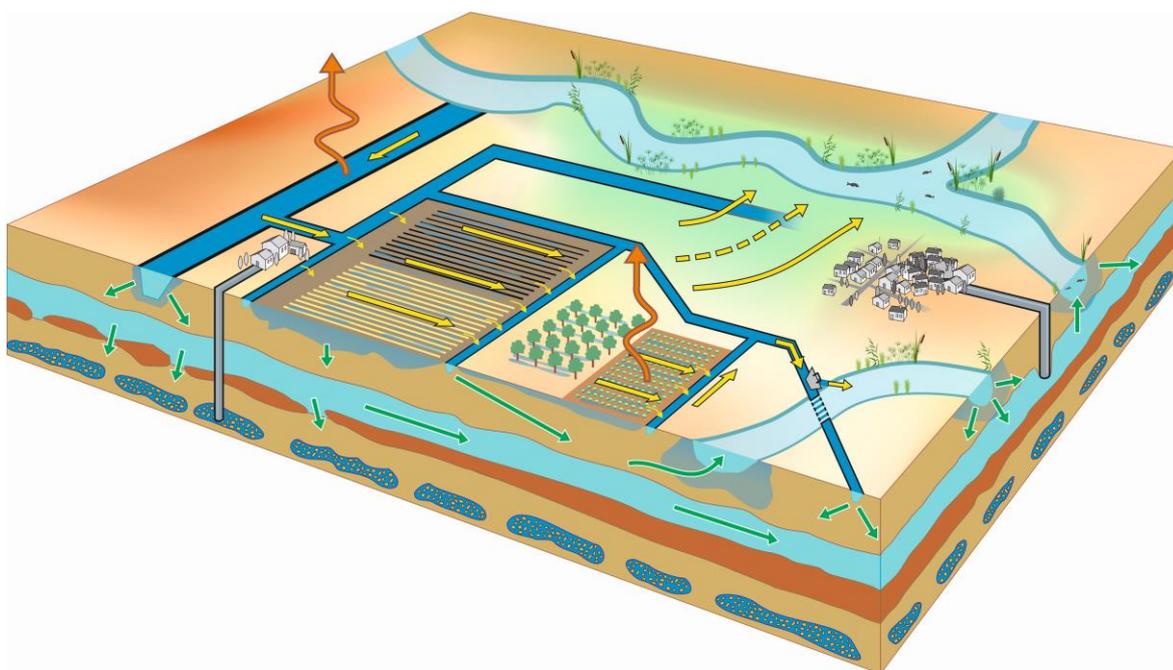
Réalisée avec le concours financier de l'Etat et de la Région Occitanie (dans le cadre du Contrat de Plan Etat-Région 2015-2020), du FEDER, de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, de Perpignan Méditerranée Métropole et de Conseil Départemental des Pyrénées Orientales



Projet cofinancé par le Fonds Européen de Développement Régional

# PROJET DEM'EAUX ROUSSILLON

***Rapport P11a - Campagne de mesure des débits sur la Têt et conclusions sur les flux de surface et souterrains.***



2021

	<p><b>BRL ingénierie</b></p> <p><b>1105 Av Pierre Mendès-France BP 94001</b>  <b>30001 NIMES CEDEX 5</b></p>

<p><b>Date de création du document</b></p>	<p><b>Novembre 2018</b></p>
<p><b>Contact</b></p>	<p><b>S. Chazot</b></p>

<p><b>Titre du document</b></p>	<p>P11a. Campagne de mesure des débits sur la Têt et conclusions sur les flux de surface et souterrains</p>
<p><b>Référence du document :</b></p>	
<p><b>Indice :</b></p>	<p><b>V1</b></p>

Date émission	Indice	Observation	Dressé par	Vérfié et Validé par
Novembre 2018	V1		S. Laurent, M. Chauveau, R. Digaud	S. Chazot
Décembre 2021	VDEF		S. Laurent, M. Chauveau, R. Digaud	S. Chazot

**Mots-clés** : Canaux ; besoins en eau ; irrigation ; nappe-rivière ; Têt ; Roussillon , Pyrénées Orientales

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

**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

# **P11. RAPPORT DE CAMPAGNE DE MESURE SUR LA TET ET CONCLUSION SUR LES FLUX DE SURFACES ET SOUTERRAINS**

<b>1. RESUME .....</b>	<b>1</b>
<b>2. PRESENTATION DE LA DEMARCHE .....</b>	<b>7</b>
2.1 Contexte et objectifs	7
2.2 Démarches et échelles d'étude	9
2.4 Organisation des rapports	13
<b>3. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE : LES FLUX D'EAU ENTRE L'IRRIGATION, LES COURS D'EAU ET LES AQUIFERES PLIOQUATERNAIRES.....</b>	<b>14</b>
3.1 Ressources et usages de l'eau sur la Plaine du Roussillon – en quelques ordres de grandeur	14
3.2 Que sait-on des flux rivières-canaux-nappes – Synthèse des approches antérieures ?	21
3.2.1 Que sait-on des flux de surface et que nous indiquent-ils ?	22
3.2.2 Quels échanges entre les rivières et les nappes ?	24
3.2.3 Comment évoluent les aquifères de la plaine et que nous indiquent ces dynamiques ?	24
3.2.4 De quels indices dispose-t-on sur la contribution des canaux à la recharge de l'aquifère ?	27
<b>4. ESTIMATION DES RETOURS D'EAU D'IRRIGATION AU FLEUVE TET A PARTIR DES DONNEES HYDROLOGIQUES.....</b>	<b>34</b>
4.1 Démarche proposée	34
4.2 Les eaux du surface sur le bassin de la Têt	35
4.3 Analyse comparée des campagnes des jaugeages	38
4.3.1 Rappel des études antérieures (EVP Têt 2010 ; Etude CG66 2011)	38
4.3.2 Cadre d'analyse	42
4.3.3 Précisions sur les termes du bilan et sources d'incertitude	45
4.3.4 Résultats	46

4.4	Peut-on estimer des chroniques de retour à la rivière ?	51
4.4.1	Analyse en période estivale	51
4.4.2	Analyse sur les années complètes – Incertitudes	53
5.	<b>RESULTATS SUR LES BILANS DES FLUX DES CANAUX DE LA TET.....</b>	<b>57</b>
6.	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>61</b>

## Table des Figures

Figure 1 : Surfaces de vergers et maraichages estimées par le RGA sur le département et par les différentes études citées sur la Plaine du Roussillon (ha) .....	3
Figure 2 : Estimation des surfaces irriguées sur la Plaine du Roussillon par mode d'adduction primaire (ha) - 2016 .....	4
Figure 3 : Proposition de bilan des flux sur la période estivale juin-septembre et en moyenne sur la période 2000-2009 sur le bassin de la Têt de Vinça à Perpignan .....	5
Figure 4 : Illustration des flux associés à l'irrigation sur la Plaine du Roussillon .....	8
Figure 5 : Echelles d'étude .....	10
Figure 6 : Structure simplifiée de l'aquifère plioQuaternaire (adapté de Aunay, 2007) .....	15
Figure 7 : Les formations Quaternaires et Pliocène sur la plaine du Roussillon et les massifs adjacents (source : Aunay, 2007) .....	16
Figure 8 : Régimes hydrologiques des fleuves majeurs de la plaine du Roussillon et répartition des pluies sur la plaine et sur une année (données banque hydro : 1967 - 2017 et VULCAIN : 1970 - 2006) .....	17
Figure 9 : Prélèvements nets des usages par ressource (sources : études volumes prélevables BV Têt, Tech, Agly et nappes du Roussillon ; schéma BRLi) .....	20
Figure 10 : Schéma de principe des flux d'eau irrigation-nappes-rivières .....	21
Figure 11 : Illustration des retours sur le BV de la Têt (données études volumes prélevables BV Têt, BRLi ; Schéma BRLi) .....	23
Figure 12 : Evolution de la charge hydraulique dans le Pliocène sur 32 ans (source : Aunay, 2007) .....	25
Figure 13 : Accélération de la baisse du niveau piézométrique dans le Pliocène à Bompas (source : SMNPR, 2012a) .....	25
Figure 14 : Lien entre évolution de la charge hydraulique dans le Pliocène et prélèvements AEP ; illustration sur le piézomètre du Barcarès (source : Aunay, 2007) .....	26
Figure 15 : La charge hydraulique du Quaternaire suit les précipitations (source : Aunay, 2007) .....	26
Figure 16 : Drainances entre le Quaternaire et le Pliocène (Coupe : adapté d'Aunay, 2007 ; Carte : Hydriad, 2014) .....	27
Figure 17 : Les piézomètres de Millas, Ponteilla, et Terrats (Pliocène) traduisent un comportement singulier. Le piézomètre du Barcarès représente les variations que l'on observe sur la plaine (Courbes piézométriques : Aunay, 2007). .....	30
Figure 18 : Suivi des piézomètres de Millas (BRGM, SMNPR, 2009) .....	32
Figure 19 : Hypothèses avancées par les études réalisées sur l'amont du BV de la Têt à l'aval de Vinça .....	33
Figure 20: Représentation des types de transfert d'eau sur la partie aval de barrage de Vinça (source : EVP Têt, AERMC, BRLi, 2011) .....	37
Figure 21 : Comparaison du débit mesuré et d'un débit fictif sans apport ni retour (débit initial – prélèvement brut) et du cumul des prélèvements – Campagne Aout 2010 (axe des abscisses : km) [Source : EVP Têt, AERM&C, BRLi, 2011] .....	39
Figure 22 : Schéma bilan des flux (source : AERMC, BRLi, 2011) .....	39

<b>Figure 23 : Comparaison du débit mesuré et d'un débit fictif sans apport ni retour (débit initial – prélèvement brut) et du cumul des prélèvements – Campagne Aout 2010 (axe des abscisses : km) [Source : EVP Têt, AERM&amp;C, BRLi, 2011].....</b>	<b>40</b>
<b>Figure 24 : Comparaison du débit mesuré et d'un débit fictif sans apport ni retour (débit initial – prélèvement brut) et du cumul des prélèvements – Campagne 27-28 juillet 2011 (axe des abscisses : km) [Source : CG66, 2011].....</b>	<b>41</b>
<b>Figure 25 : Comparaison du débit mesuré et d'un débit fictif sans apport ni retour (débit initial – prélèvement brut) et du cumul des prélèvements – Campagne 2-3 aout 2011 (axe des abscisses : km) [Source : CG66, 2011].....</b>	<b>41</b>
<b>Figure 26 : Bilan des flux « vu du fleuve Têt » .....</b>	<b>43</b>
<b>Figure 27 : Bilan des flux « vu de la rivière Têt » (chapitre 4) .....</b>	<b>44</b>
<b>Figure 28 : Restitution des canaux au niveau des premières décharges-moyennes de 4 campagnes de jaugeages en aout 2011 (Source : Etude CG66 – 2011).....</b>	<b>45</b>
<b>Figure 29 : Variations de débits de Vinça à aval prise Millas sur la Têt .....</b>	<b>47</b>
<b>Figure 30 : Variations de débits de sortie Vinça à Perpignan .....</b>	<b>48</b>
<b>Figure 31 : Bilan des flux vus de la Têt – de Vinça à Perpignan .....</b>	<b>49</b>
<b>Figure 32 : Estimation des retours d'eau d'irrigation – de Vinça à Perpignan .....</b>	<b>50</b>
<b>Figure 33 : Bilan des flux sur le bassin de la Têt aval Vinça – sur les mois de Juillet à septembre [2000-2009] .....</b>	<b>52</b>
<b>Figure 34 : estimation des « retours rivière » en période estimation sur le bassin de la Têt aval Vinça (m<sup>3</sup>/s).....</b>	<b>53</b>
<b>Figure 35 : Comparaison des débits de la Têt à Vinça et Perpignan sur la période 2000-2009, en m<sup>3</sup>/s.....</b>	<b>55</b>
<b>Figure 36 : Estimation des retours moyens des flux d'irrigation vers la rivière la nappe sur le bassin de la Têt (2000-2009). .....</b>	<b>58</b>
<b>Figure 37 : Evaluation en ordre de grandeur et en moyenne du bilan des flux d'irrigation sur le bassin de la Têt en période estivale juillet-septembre. (Moyenne 2000-2009).....</b>	<b>60</b>

## 1. RESUME

**SUR LA PLAINE DU ROUSSILLON, LES SURFACES IRRIGUEES ONT BAISSÉ DE PRES DE 40% EN 15 ANS ET REPRESENTENT ACTUELLEMENT 8000 HA**

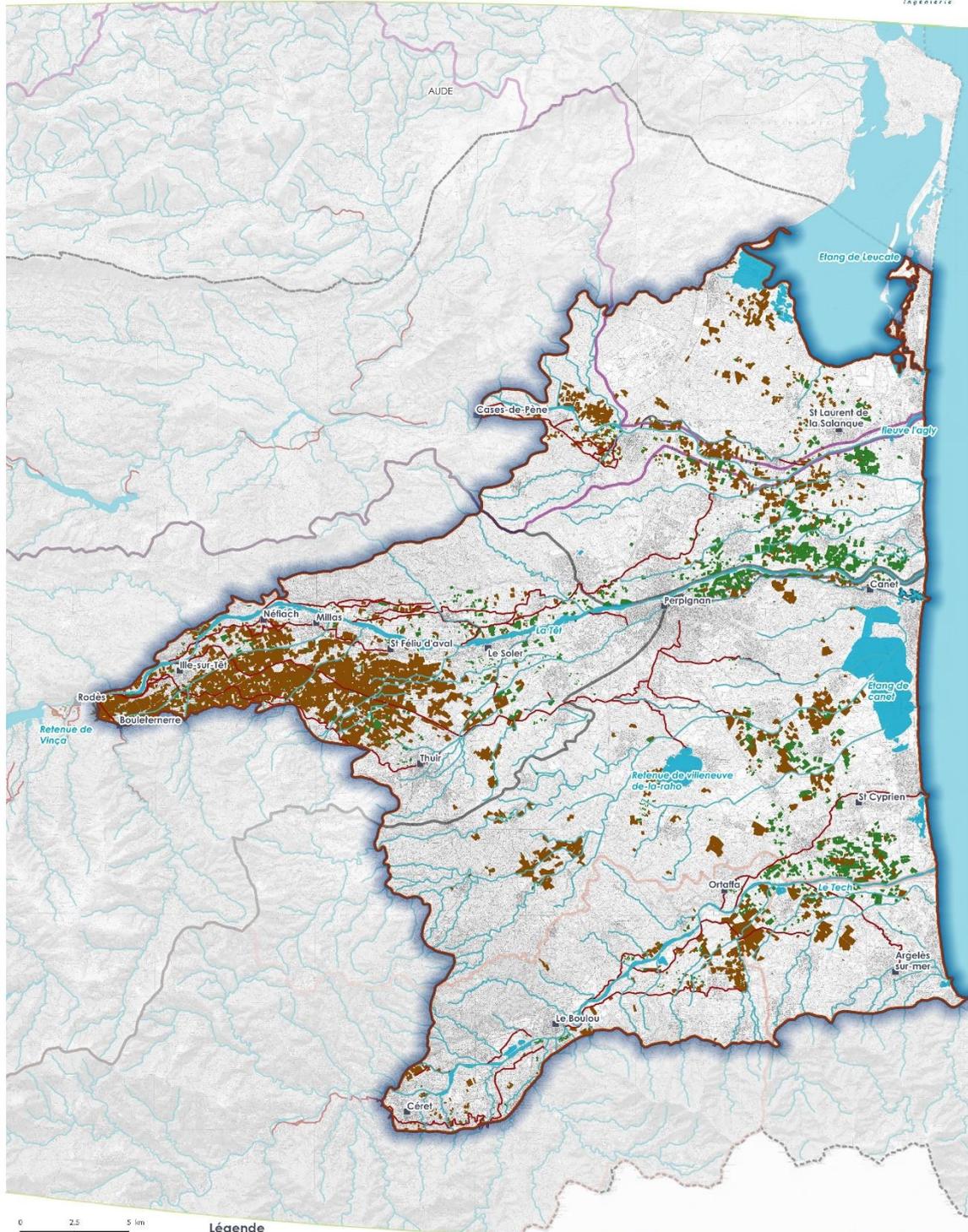
Les surfaces irriguées sur la Plaine du Roussillon représentent actuellement 8000 ha, dont plus 80% de vergers et maraichage, et moins de 20% de prairies et vigne.

L'étude DEM'EAUX ROUSSILLON a produit une actualisation et une localisation précise des surfaces irriguées, en particulier pour les vergers et maraichage, sur la Plaine du Roussillon.

La carte ci-dessous présente la localisation des surfaces de vergers et maraichages irrigués sur la Plaine du Roussillon. On estime à environ 5060 ha de vergers et 1600 ha de maraichage en 2016, avec une incertitude de l'ordre de 20%.

DEM'EAUX Roussillon

Localisation des parcelles de vergers et maraichages identifiées par analyse d'images Google Earth 2016



0 2,5 5 km  
Sources : BRL, IGN, SCAN25  
Ref : 02\_Occupation\_sol\_A3.qgs  
Format d'impression : A3  
Projection : Lambert - 93  
Produite le 19/09/2018

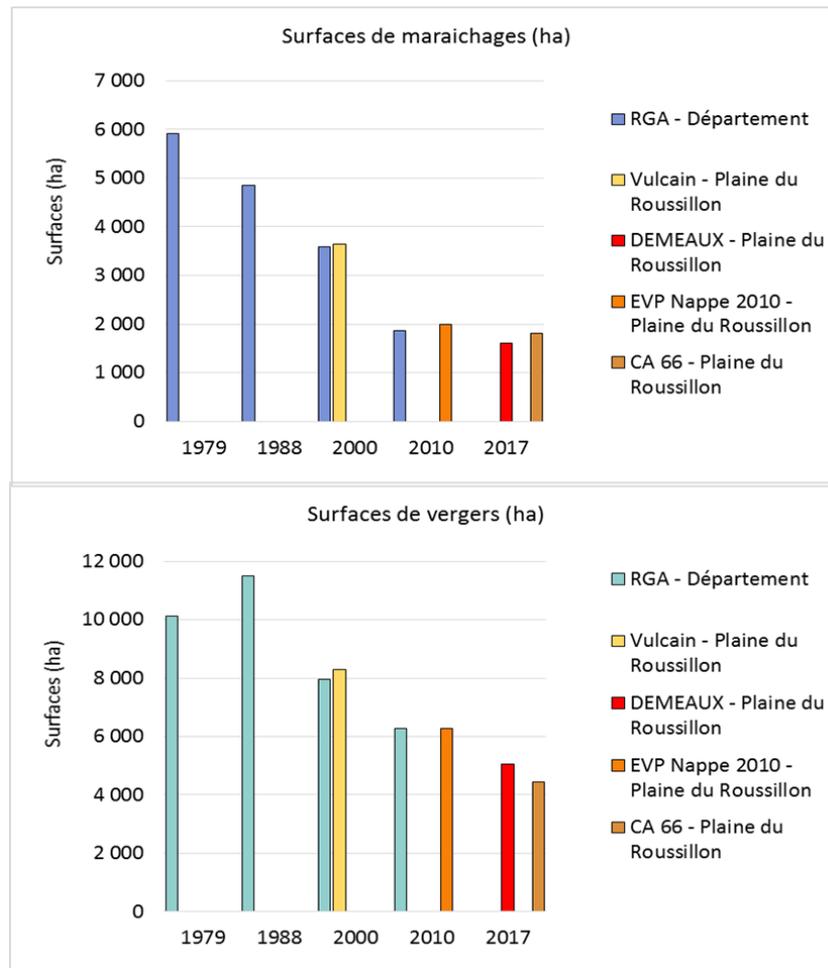
Légende		Hydrographie	Type de culture	Bassin versant	L'Agly
■	Villes	— Cours d'eau	■ Maraichage	□ La Têt	□ L'Agly
□	Département	— Canaux	■ Verger	□ Le Tech	
□	Nappe Plio-Quaternaire				



Le croisement des données historiques et des estimations récentes montre une baisse majeure des surfaces de vergers et maraichages ces 40 dernières années :

- Dans les années 1980, les surfaces de vergers et maraichages représentaient 15 000 ha environ ;
- Dans les années 2000, ces surfaces étaient estimées à 11 500 ha environ ;
- En 2016, elles représentent 7000 ha.

Figure 1 : Surfaces de vergers et maraichages estimées par le RGA sur le département et par les différentes études citées sur la Plaine du Roussillon (ha)<sup>1</sup>



## 60% DES SURFACES IRRIGUEES SONT ALIMENTEES PAR DES FORAGES SUR LA PLAINE DU ROUSSILLON

En outre, l'étude a proposé un croisement de :

- L'information cartographique des surfaces irriguées sur la Plaine du Roussillon (voir carte ci-dessus) ;
- La connaissance du territoire (CA66, ACAV, Syndicat) sur les modes d'adduction dominants dans les différents secteurs de la Plaine du Roussillon.

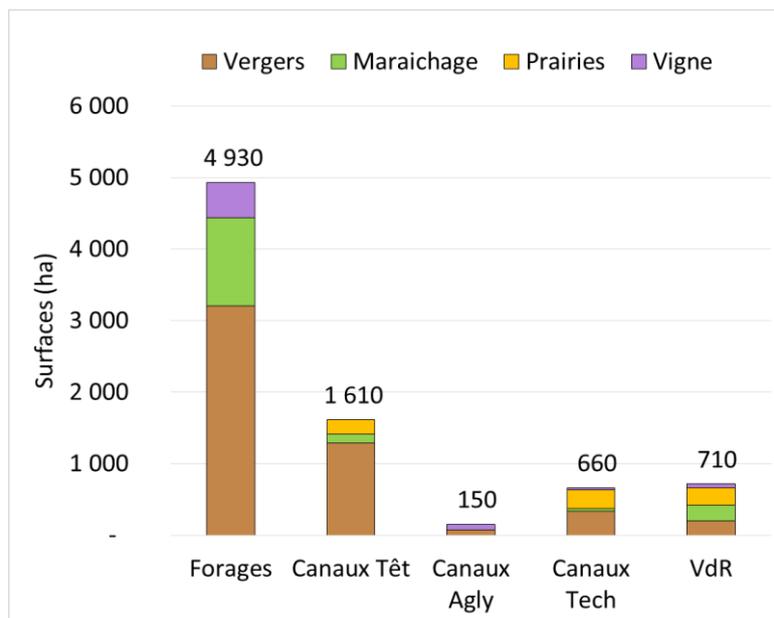
<sup>1</sup> Les surfaces de vergers et maraichages du département sont situées à plus de 90% sur la Plaine du Roussillon

Sur cette base, il est possible d'évaluer, avec une incertitude de l'ordre de 30%, les surfaces irriguées par les différents modes d'adduction primaires de la Plaine du Roussillon : forages, canaux de la Têt, canaux de l'Agly, canaux du Tech, Villeneuve de la Raho<sup>2</sup>.

Les résultats, présentés par le graphique ci-après, montrent notamment que :

- Environ 60% des surfaces irriguées seraient alimentées par forages à l'échelle de la Plaine (soit 4900 ha) ;
- Environ 20% des surfaces irriguées sont alimentées directement par les canaux du bassin de la Têt (hors Villeneuve de la Raho) (soit 1600 ha).

Figure 2 : Estimation des surfaces irriguées sur la Plaine du Roussillon par mode d'adduction primaire (ha) - 2016



### SUR 9 M3/S PRELEVES PAR LES CANAUX DE LA TET EN ETE, ON ESTIME UNE CONTRIBUTION DE RECHARGE A LA NAPPE DE L'ORDRE DE 2 A 5 M3/S

Le bassin de la Têt entre Vinça et Perpignan constitue un secteur à fort enjeu pour la recharge de la nappe plioQuaternaire par les flux d'irrigation :

- Ce territoire représente environ 40% des surfaces irriguées de la Plaine ;
- Il représente environ 80% des flux de canaux d'irrigation sur la Plaine.

Sur ce territoire, des bilans des flux ont été proposés à l'aide de plusieurs approches, croisant :

- L'information hydrologique (stations hydrologiques sur la Têt, compteurs d'eau des canaux, jaugeages) ;
- L'information agronomique (estimation des surfaces irriguées et de l'évapotranspiration de ces cultures).

Ces bilans montrent que les flux d'irrigations sur la Plaine d'irrigation sont variables dans le temps (d'une année sur l'autre et d'un mois sur l'autre), et notamment en saison hivernale.

<sup>2</sup> La retenue de Villeneuve de la Raho est un mode d'adduction secondaire (puisque alimentée par le canal de Perpignan), mais est isolée ici pour les calculs de bilan des flux proposés dans l'étude.

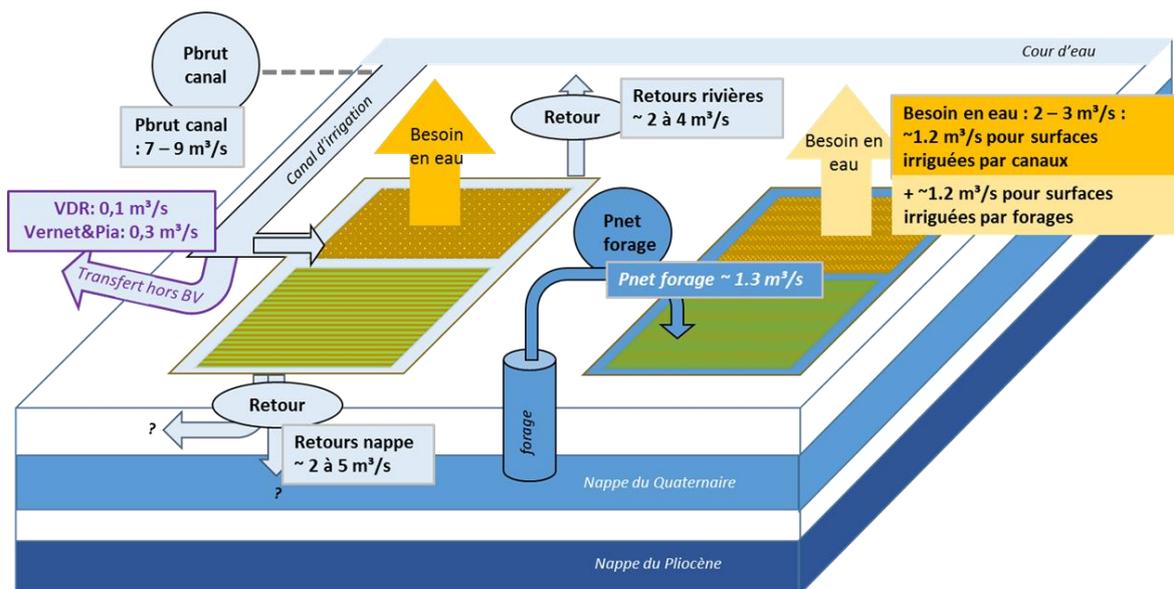
En ordre de grandeur, et en moyenne sur la période 2000-2009, on peut établir un bilan des flux « en grand » sur le bassin de la Têt aval Vinça pour la période estivale juillet-septembre. Ce bilan est schématisé ci-après.

Il indique, en moyenne et en période estivale :

- **Des prélèvements bruts des canaux dans Vinça et le fleuve Têt de l'ordre de 7-9 m<sup>3</sup>/s ;**
- Une partie de ces prélèvements est évapotranspiré par les cultures : cela représente environ 1.2 m<sup>3</sup>/s si l'on considère uniquement les surfaces directement alimentées par les canaux. Cela représente jusqu'à 2.5 m<sup>3</sup>/s si l'on considère les surfaces également alimentées par les forages.
- Une partie de ces prélèvements sort du bassin versant (via les canaux de Vernet et Pia et Perpignan) : 0.4 m<sup>3</sup>/s environ et en moyenne.
- **Une partie retourne vers le fleuve Têt (principalement entre T6 et Perpignan) : cela représente 2 à 4 m<sup>3</sup>/s ;**
- **Une partie contribue à la nappe, à hauteur de 2 à 5 m<sup>3</sup>/s.**

Ces valeurs moyennes sont calculées pour chaque année de 2000 à 2009 dans le rapport.

Figure 3 : Proposition de bilan des flux sur la période estivale juin-septembre et en moyenne sur la période 2000-2009 sur le bassin de la Têt de Vinça à Perpignan



En hiver, les données ne permettent pas d'arriver à ce niveau de précision. Cependant, il est possible d'estimer, en moyenne :

- **Des prélèvements bruts des canaux de l'ordre de 2.7 à 4 m<sup>3</sup>/s en moyenne ;**
- **Un retour {nappe + rivière} (incluant à la fois la contribution à la nappe et des retours au fleuve Têt) de l'ordre de 2 à 4 m<sup>3</sup>/s.**

Notons que **les flux d'irrigation sur la période hivernale sont très variables selon les années considérées**, sur le bassin de la Têt.

**Les calculs et graphiques présentés dans le rapport permettent de préciser ces valeurs et leurs variations au cours du temps.**

Par ailleurs, plusieurs changements ont eu lieu au cours des dernières années sur ce territoire et peuvent influencer le bilan des flux :

- Changement d'assolements ;
- Changement des volumes bruts prélevés par les canaux, notamment en vue des respecter les débits réservé à T6 ;
- Cuvelage des canaux ;
- Etc.

Cependant, les données postérieures à 2009 sont insuffisantes et ne permettent pas de prolonger ou d'actualiser ces estimations sur les années récentes.

## 2. PRESENTATION DE LA DEMARCHE

### 2.1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

La Plaine du Roussillon concentre plus de 80% des surfaces de vergers et maraichage du département des Pyrénées orientales, irriguées à partir des eaux des nappes plioQuaternaires et des trois fleuves côtiers de la Têt, le Tech et l'Agly.

Au total sur la Plaine, les surfaces irriguées représentent environ 8000 ha de vergers, maraichage, prairies et vigne, sur une superficie cultivée totale de 33 000 ha sur le territoire.

Les flux d'eau d'irrigation sur ce territoire sont complexes, et hérités d'une longue histoire d'irrigation gravitaire, avec la mise en place d'un vaste réseau de canaux et d'agouilles alimentés par les fleuves côtiers, qui a débuté au XIIème siècle.

Les barrages de Vinça sur la Têt, de Villeneuve de la Raho, et de Caramany sur l'Agly permettent un stockage des eaux de surface en hiver et un soutien à l'irrigation pendant la période estivale.

**Sur le territoire, plusieurs ressources en eau, modes d'adduction, et modes d'irrigation cohabitent :**

- Les ressources en eau utilisées pour l'irrigation sont :
  - Les nappes plioQuaternaires : notons que le périmètre de la nappe correspond au territoire de la Plaine du Roussillon; et cela constitue le territoire d'étude de cette étude ;
  - Les eaux des fleuves côtiers Têt, Agly et Tech.
- Les modes d'adductions :
  - Via les canaux d'irrigation et réseaux secondaires associés, alimentés par les fleuves côtiers Têt, Agly et Tech. Ce sont des canaux gravitaires, mais certains peuvent alimenter un réseau sous pression.
  - Via la retenue de Villeneuve de la Raho, alimentée par les eaux de la Têt via le canal de Perpignan (las Canals), et qui alimente un réseau sous pression ;
  - Via des forages dans la nappe plioQuaternaire.
- Les modes d'irrigation gravitaire, par aspersion et en goutte à goutte cohabitent.

En outre, une même parcelle peut être alimentée à la fois par des forages et par des apports directs des canaux selon la période de l'année. Les modes d'irrigation gravitaire et sous pression peuvent cohabiter également sur une parcelle suivant la période de l'année.

**Les flux d'irrigation sur la Plaine sont complexes : il existe d'importantes interconnexions entre eaux de surfaces et eaux souterraines. En particulier :**

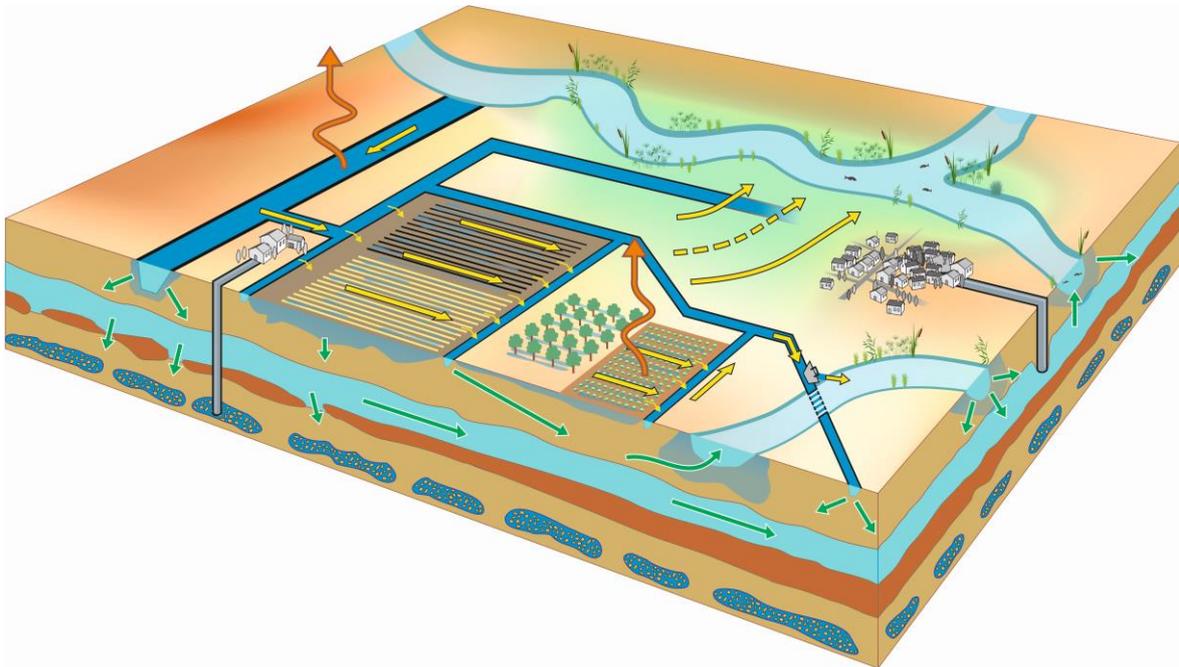
- En surface, l'eau des canaux peut transiter d'un canal à l'autre, à travers les réseaux gravitaires et les parcelles, et peut rejoindre in fine les cours d'eau.

**La complexité de ces flux de ruissellement** ne permet pas d'établir un bilan entrée sortie précis de chaque canal d'irrigation ;

- Entre eaux de surface et eaux souterraines : une part des flux d'irrigation de surface peut **contribuer à la recharge des nappes PlioQuaternaire**, dans des proportions qui sont peu connues aujourd'hui. Cela induit des pratiques de forte sollicitation des canaux dans un but de soutenir les forages AEP ou agricoles.
- Ajoutons également **les relations nappes/rivière** sur les fleuves côtiers et leurs affluents, qui sont également peu connus.

Le schéma ci-après illustre la complexité de ces flux sur le territoire

Figure 4 : Illustration des flux associés à l'irrigation sur la Plaine du Roussillon



### LE BASSIN DE LA TÊT

Sur la Plaine du Roussillon, le bassin versant de la Têt aval Vinça :

- **Concentre la majorité des surfaces agricoles irriguées par canaux - estimées à environ 1500 – 1700 ha** ; alors que les surfaces irriguées par canaux sur les bassins Agly et Tech sont de l'ordre de 70-200 ha et 300 - 800 ha respectivement.
- Concentre les plus grands volumes d'eau transitant par les canaux d'irrigation : **les prélèvements des canaux de la Têt à l'aval de Vinça avoisinent 6 à 8 m<sup>3</sup>/s en été ; et un prélèvement annuel de 170 Mm<sup>3</sup>, soit environ 80% des flux de canaux sur la Plaine du Roussillon.**

Sur la Plaine du Roussillon, les plus grands flux canaux-rivières-nappes sont donc concentrés sur le bassin versant de la Têt aval Vinça.

Dans ce contexte, le rapport P9 et P11 répondent à deux objectifs principaux :

- **Améliorer la connaissance de l'irrigation sur la Plaine du Roussillon ;**
- **Proposer des bilans des flux d'irrigation pour mieux appréhender la contribution des flux d'irrigation à la nappe, en particulier sur le bassin de la Têt.**

## 2.2 DEMARCHES ET ECHELLES D'ETUDE

### ECHELLES D'ETUDE

L'approche proposée s'intéressera à deux échelles géographiques d'étude :

- **L'ensemble du territoire de la Plaine du Roussillon, correspondant au périmètre de la nappe plioQuaternaire.**

Sur l'ensemble de ce territoire, nous présenterons :

- **Un travail d'amélioration de la connaissance des surfaces irriguées** : localisations, quantification, estimation par type de culture, estimation par modes d'adduction primaires.
- Des estimations des **besoins en eau** des surfaces irriguées de la Plaine du Roussillon
- **Une synthèse bibliographique** sur les connaissances des échanges canaux-rivières-nappes issues des études antérieures.

- **Le territoire du bassin de la Têt aval Vinça sur la Plaine du Roussillon.**

Ce territoire représente :

- **40% des surfaces irriguées de la Plaine du Roussillon ;**
- **80% des flux de canaux sur la Plaine du Roussillon.**

En outre, c'est le seul bassin versant disposant de données mensuelles des débits des canaux.

Pour ces raisons, nous travaillerons **à l'échelle du bassin de la Têt pour proposer des bilans des flux d'eau et appréhender les échanges canaux-rivière-nappes, à partir des données agronomiques et hydrologiques.**

**Deux approches de bilan de flux seront proposées et croisées :**

- Un bilan des flux sur le système « canaux » ;
- Un bilan des flux sur le système « rivière Têt ».

### DEMARCHE POUR L'AMELIORATION DES CONNAISSANCES DES SURFACES IRRIGUEES ET DES BESOINS EN EAU

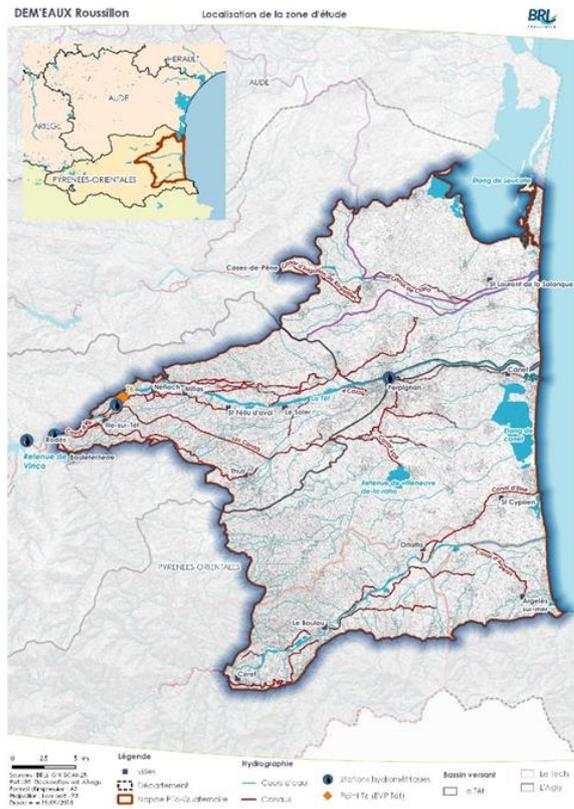
Le travail d'amélioration et d'actualisation des connaissances sur les surfaces irriguées et besoins en eau sur la Plaine du Roussillon suit la démarche suivante :

- Un travail de croisement et mise en perspective des études et travaux existants sur le territoire : Vulcain, les 4 études volumes prélevables conduites sur le territoire (Bassins de la Têt, du Tech, de l'Agly, et Nappes plioQuaternaires) ; travaux du Cesbio et de la Chambre d'agriculture notamment.
- Des analyses nouvelles proposées pour ce projet, incluant l'analyse de photographie aérienne ;
- Des échanges avec plusieurs acteurs du territoire, et en particulier avec la Chambre d'Agriculture, l'ACAV, et les syndicats des bassins versants et des nappes plioQuaternaires.
- Un travail de synthèse et d'analyse d'incertitudes afin de proposer des estimations sur la Plaine du Roussillon.

Figure 5 : Echelles d'étude

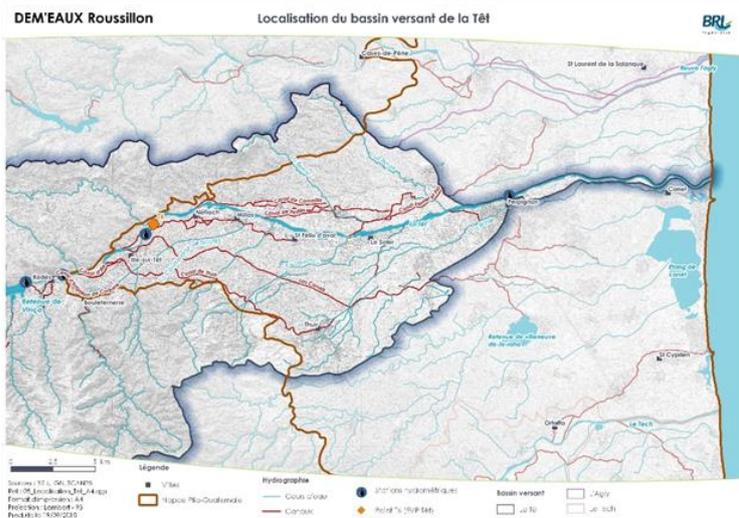
**2 échelles d'étude :**

**La plaine du Roussillon = périmètre de la nappe plio-quadernaire**



- ⇒ Amélioration de la connaissance des surfaces irriguées
- ⇒ Modes d'adduction mobilisés et besoins en eau associés

**Zoom sur le bassin de la Têt aval Vinça**



- ⇒ Bilan en eau sur ce territoire
- ⇒ Estimation des flux d'eau des canaux sur le bassin de la Têt et retours nappe + rivière

## DEMARCHES POUR LES BILANS EN EAU

Les approches de bilans en eau proposées ici sont menées de manière « macro », à l'échelle du bassin de la Têt entre Vinça et Perpignan.

Il n'est pas proposé de bilan à une échelle plus fine (par canal par exemple), car la complexité des flux d'eau et la limite des données disponibles ne permettraient pas de produire de résultat robuste.

Deux approches de bilans en eau complémentaires sont proposées, et considère des systèmes d'étude différents :

1/ Bilan sur le système « **Canaux** » :

$$\text{Pbrut (canaux)} = \text{Besoin en eau (évapotranspiration)} + \text{Transfert vers extérieur bassin} + \text{Retours \{nappe + rivière\}}$$

2/ Bilan sur le système « **Rivière Têt** » :

$$Q(\text{Perpignan}) = Q(\text{Vinça}) + \text{Apports affluents} - \text{Pbrut (canaux)} + \text{Retours \{rivières\} et interaction nappe-rivière}$$

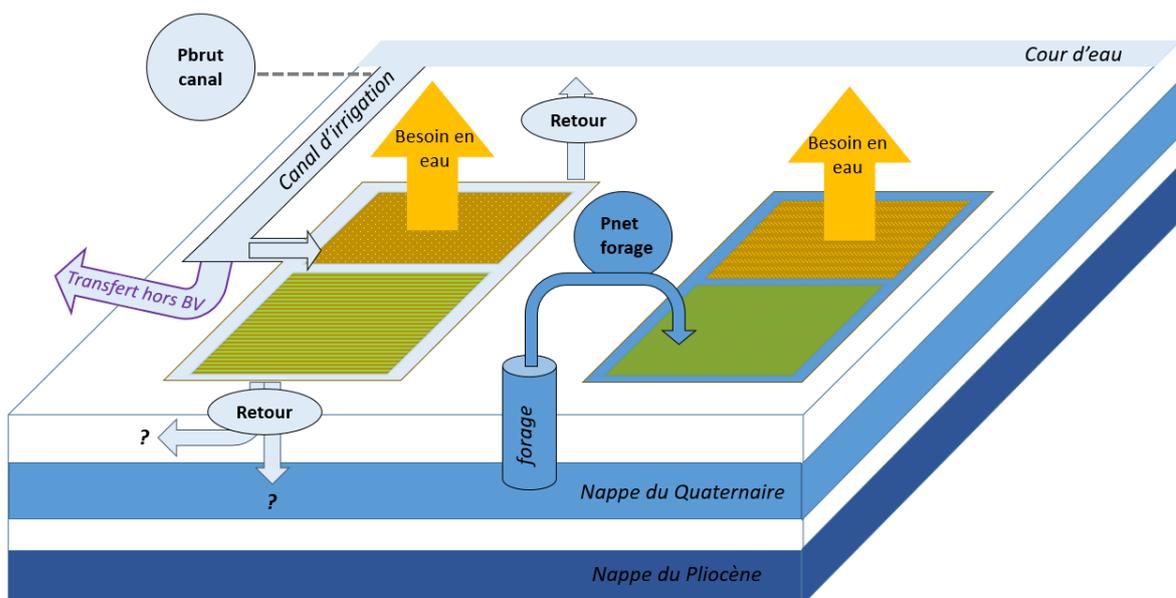
### Bilan sur le système « Canaux »

Le bilan sur le système Canaux s'intéresse au devenir des débits prélevés par les canaux d'irrigation.

Il est basé sur :

- La donnée des suivis des débits prélevés par les canaux ;
- L'estimation des besoins en eau théorique d'irrigation.

Il permet d'estimer **un terme global de retours des débits des canaux vers l'hydrosystème {nappes + rivières}, sur le bassin de la Têt.**



### Bilan en eau sur le système « Rivière Têt »

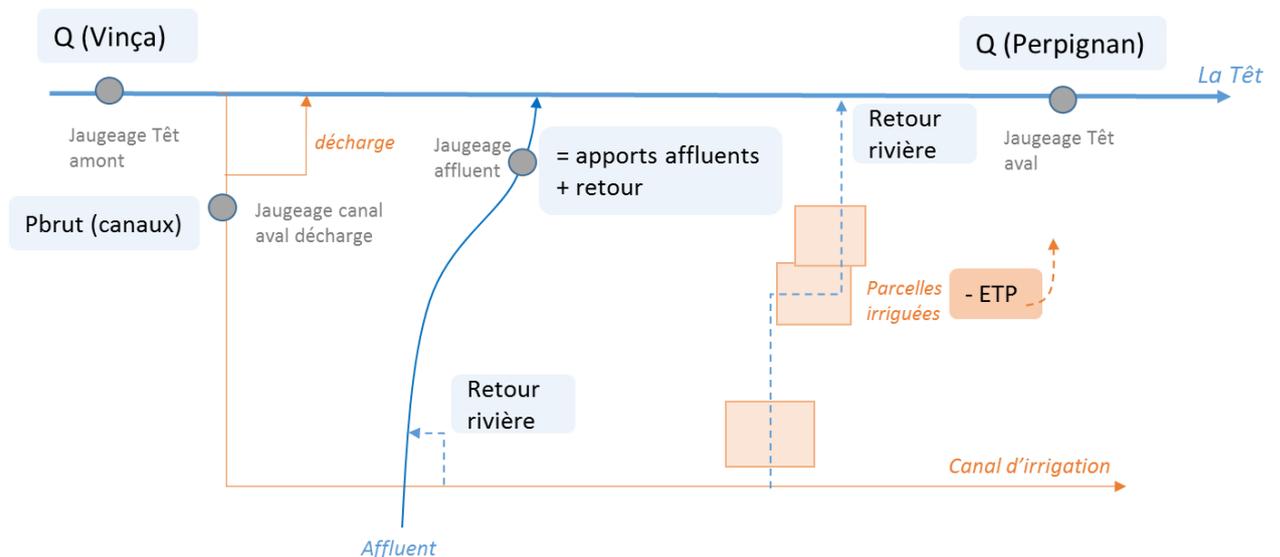
Ce bilan se base sur les écoulements de la rivière Têt entre Vinça et Perpignan. La figure ci-après schématise les termes du bilan.

Ce bilan permet, à partir de la donnée hydrologique (débits mesurés sur les cours d'eau et les canaux) d'estimer **la part des débits prélevés par les canaux qui revient au fleuve Têt à Perpignan.**

On considère ici les retours à la rivière aval décharge, c'est-à-dire **les retours d'eau diffus** qui se font sur le bassin versant, via des ruissellements (via parcelles, aiguilles, cours d'eau intermittents, etc...) ou des écoulements de sub-surfaces.

Il s'agit ici d'un bilan « vu de la rivière Têt ».

Indiquons également que des **échanges nappes-rivières** peuvent jouer dans ce bilan (alimentation de la rivière par la nappe ou de la nappe par la rivière) mais ne peuvent pas être quantifiés dans cette seule approche.



## 2.4 ORGANISATION DES RAPPORTS

L'ensemble des travaux évoqués plus haut est présenté dans les deux rapports de projet P9 et P11.

Le tableau ci-après indique la répartition des chapitres dans ces deux documents.

Table 1 : Organisation des rapports

Echelle d'étude	Contenu	Rapport
Plaine du Roussillon	<b>Connaissance des surfaces irriguées (Localisation, Quantification, Types de cultures, Modes d'adduction)</b>	P9
Plaine du Roussillon	<b>Estimation des besoins en eau théorique d'irrigation</b>	P9
Bassin de la Têt aval Vinça	Gestion des canaux	P9
Bassin de la Têt aval Vinça	<b>Bilan des flux du système "Canaux" sur le Bassin de la Têt</b>	P9
Plaine du Roussillon	Synthèse bibliographique sur les échanges canaux-nappe-rivière	P11
Bassin de la Têt aval Vinça	<b>Bilan des flux du système "rivière Têt" sur le bassin de la Têt</b>	P11
Bassin de la Têt aval Vinça	<b>Croisement des bilans : quelles contributions à la recharge des nappes ?</b>	P9 + P11

### 3. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE : LES FLUX D'EAU ENTRE L'IRRIGATION, LES COURS D'EAU ET LES AQUIFERES PLIOQUATERNAIRES

Cette partie propose une **synthèse bibliographique des connaissances sur les flux entre canaux d'irrigation, cours d'eau et nappe sur la Plaine du Roussillon et en particulier le bassin de la Têt, basée sur les études antérieures.**

#### 3.1 RESSOURCES ET USAGES DE L'EAU SUR LA PLAINE DU ROUSSILLON – EN QUELQUES ORDRES DE GRANDEUR

Les études Volumes Prélevables (bassins de la Têt, de l'Agly, du Tech, des Nappes PlioQuaternaires) et l'étude Vulcain présentent de manière détaillée les ressources en eau et usages de l'eau sur la Plaine du Roussillon et ses bassins versants. Nous en synthétisons brièvement ci-après les grands ordres de grandeur.

##### SITUATION

La plaine du Roussillon est entourée par les contreforts des Pyrénées Orientales et s'étend sur une surface de 800 km<sup>2</sup> ; au Nord le massif des Corbières, à l'Ouest les Aspres, et au Sud les Albères. A l'Est, la mer méditerranée.

Le climat est de type méditerranéen (étés secs, hivers doux). Le régime des pluies est concentré sur deux courtes périodes (automne et printemps) avec des précipitations intenses. Deux vents traversent la plaine : la tramontane, vent de Nord-Ouest sec, froid et violent, et la marinade, vent marin de Sud-Est. C'est un climat propice aux déficits hydriques prononcés en été, ce qui peut créer une tension sur la ressource à cette période. Les massifs bordiers sont la source de cours d'eau qui permettent d'irriguer la plaine. En outre les montagnes, selon leur nature géologique, peuvent constituer des réservoirs substantiels (karsts des Corbières en particulier).

##### EAUX DE SURFACES

Les trois fleuves majeurs du territoire sont :

- l'Agly au Nord, qui prend sa source au col de Linas (700 m d'altitude) dans l'Aude pour se jeter à Barcarès après un parcours de 80 km. C'est le deuxième fleuve côtier de la plaine après la Têt.
- La Têt, prend ses origines dans le massif du Capcir à 2000 m d'altitude, traverse Perpignan et se termine au niveau de Canet en Roussillon.
- Le Tech, en bordure Sud de la plaine, prend sa source à 2345 m au niveau du Roc Colom et son embouchure se situe au Nord d'Argelès-sur-Mer.

Le Réart est un cours d'eau moins important (à sec en été) qui prend sa source dans les Aspres et se jette dans l'étang de Canet, au Sud de l'embouchure de la Têt. Les trois bassins versants majeurs (Agly, Têt, Tech) se rétrécissent en une bande étroite à partir du milieu de la plaine jusqu'à la mer.

En régime naturel, ces cours d'eau sont caractérisés par des crues en automne (octobre – novembre), et des étiages prononcés en été. Au printemps, les débits sont soutenus par la fonte des neiges. Les régimes hydrologiques de la Têt et de l'Agly sont cependant modifiés par la gestion des barrages de Caramany et de Vinça (voir plus bas).

La carte ci-dessous présente les chroniques de débits disponibles sur les stations hydrométriques en amont de la plaine et en aval. Sur l'Agly, la station Mas de Jau. Sur la Têt, les stations de Rodès et Perpignan. Enfin sur le Tech, les stations d'Amélie-les-Bains et Elne. Les données proviennent de la banque hydro. En sus, sont associées la répartition des précipitations moyennes annuelles sur la plaine et les précipitations moyennes mensuelles sur une année (données : climatiques VULCAIN : 1970 - 2006).

## EAUX SOUTERRAINES

Nous nous appuyons ici en majorité sur le travail de Bertrand Aunay, réalisé en 2007, qui fait référence sur la nappe du Roussillon. Les autres travaux utilisés sont cités.

### Quelles sont les caractéristiques des aquifères de la plaine du Roussillon ?

Les dépôts qui constituent les aquifères de la plaine se sont constitués au Pliocène (- 5 millions d'années) et au Quaternaire (- 2 millions d'années à aujourd'hui).

**Les nappes libres du Quaternaire** sont des formations dont le toit affleure par endroits et dont la base ne dépasse pas 30 m de profondeur. La surface cumulée de cet aquifère alluvial est de 480 km<sup>2</sup> (sur 800 km<sup>2</sup> de plaine). Le Quaternaire est une nappe structurée en terrasses emboîtées, dont les plus anciennes sont les plus éloignées du cours d'eau. La composition des terrasses récentes (graviers, galets et sables, avec moins d'accumulation d'argile que sur les terrasses anciennes) leur confère une perméabilité élevée (entre 5.10<sup>-3</sup> et 5.10<sup>-4</sup> m/s) et sont les plus utilisées pour la ressource en eau (agriculture et eau potable pour les usages principaux).

**Les nappes captives du Pliocène** s'étendent sur toute la plaine du Roussillon et affleurent sur 200 km<sup>2</sup> environ. Le toit de ces aquifères se trouve à partir de 30 m de profondeur, et s'épaissit en direction de la mer pour atteindre 250 m. La nappe Pliocène est séparée du Quaternaire par une couche imperméable d'argile d'épaisseur variable. Grossièrement, l'écoulement des eaux souterraines se fait d'Ouest en Est. La charge de l'aquifère dépasse celle du Quaternaire au niveau du littoral. Ainsi, on observe de l'artésianisme plutôt en aval, proche du littoral, bien que la pression sur la ressource rende le phénomène plus rare (les pompages font baisser la charge) et seulement visible en hiver (Biscaldi, 2006).

Les deux figures ci-dessous présentent l'aquifère en coupe d'Ouest en Est puis un extrait de la carte géologique de France au 1/1 000 000.

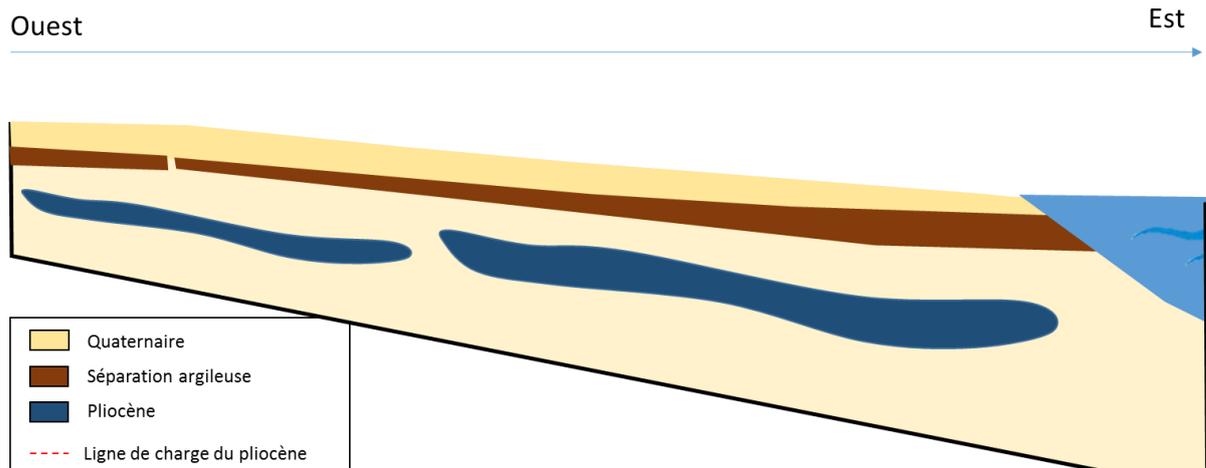
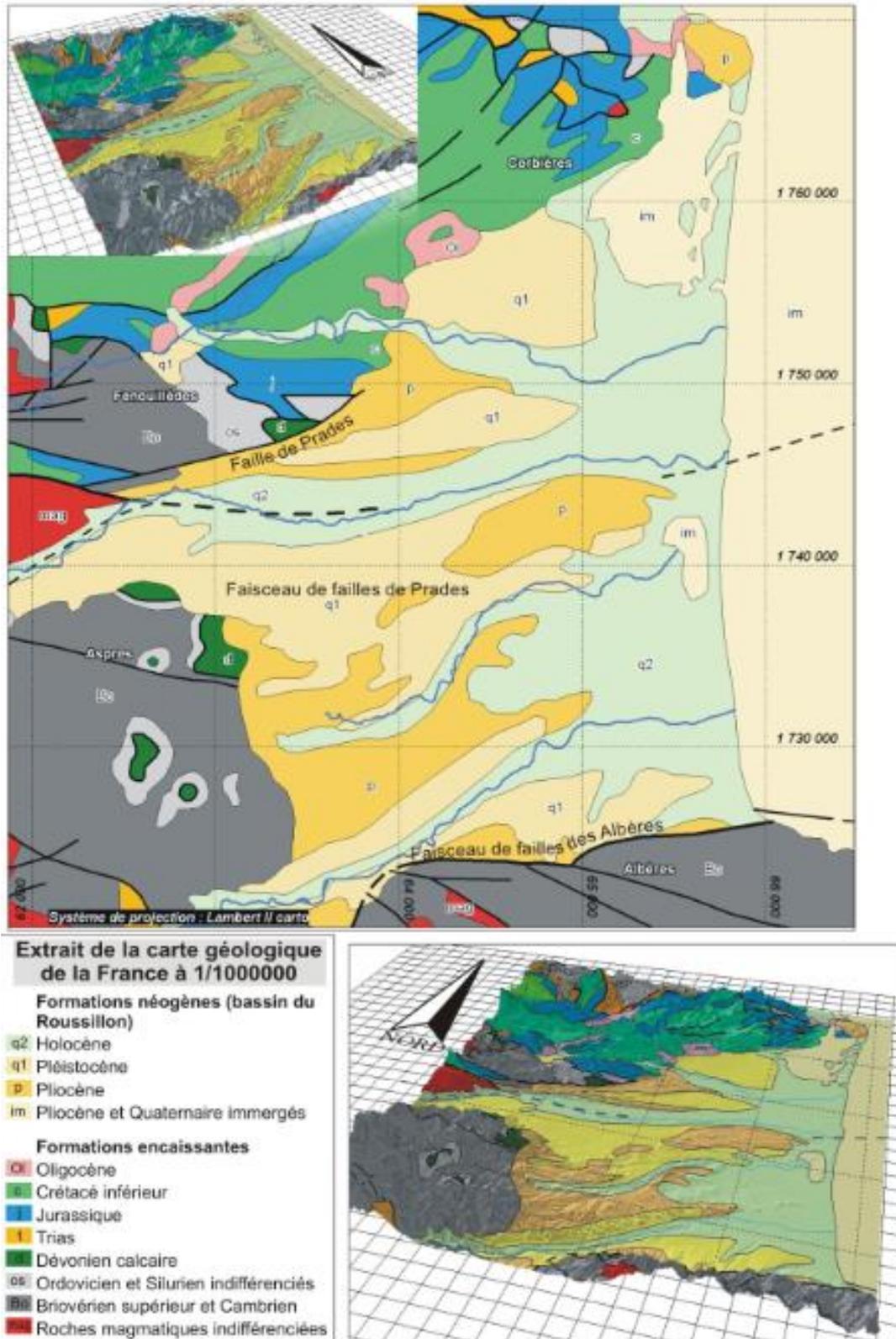


Figure 6 : Structure simplifiée de l'aquifère plioQuaternaire (adapté de Aunay, 2007)



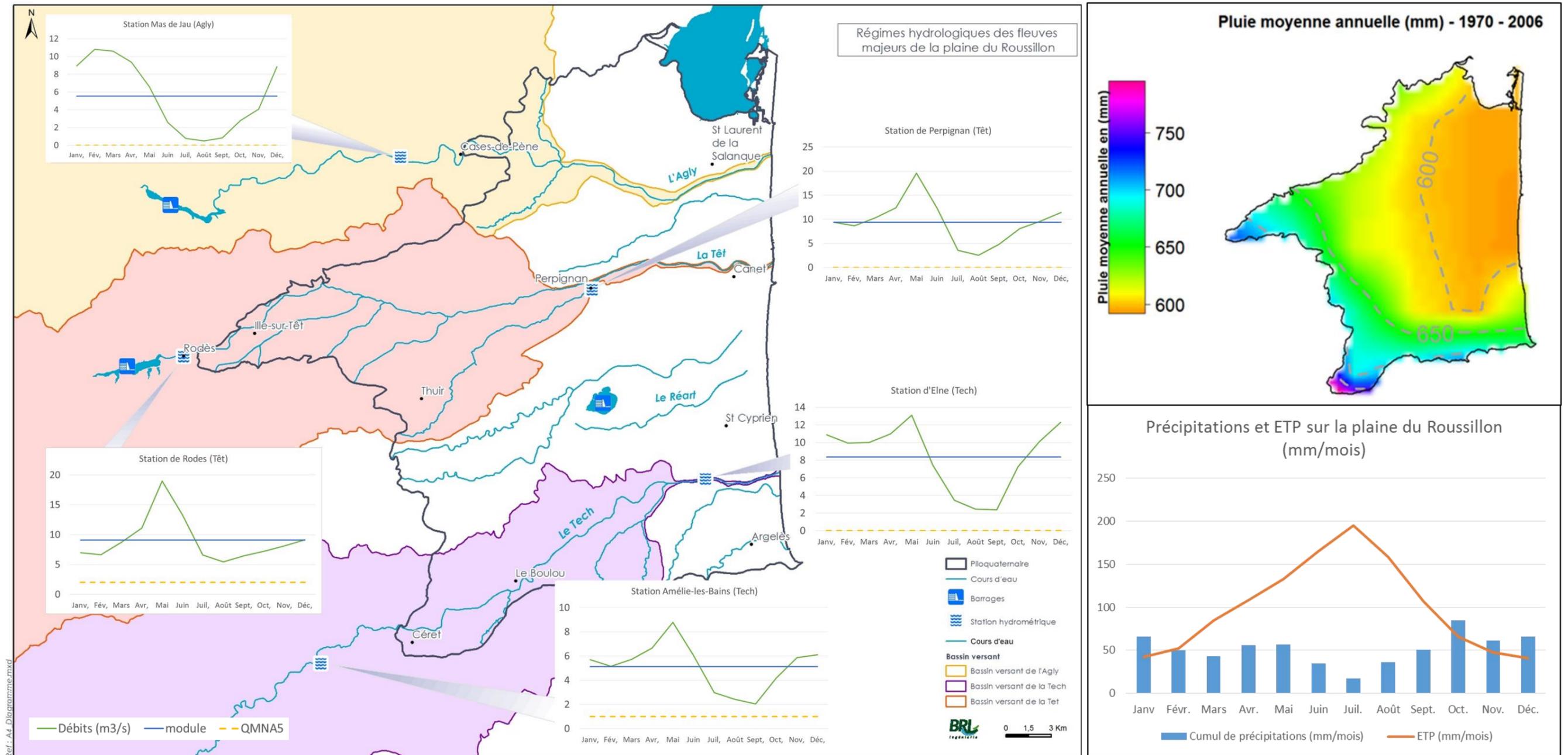


Figure 8 : Régimes hydrologiques des fleuves majeurs de la plaine du Roussillon et répartition des pluies sur la plaine et sur une année (données banque hydro : 1967 - 2017 et VULCAIN : 1970 - 2006)

### Les échanges avec les massifs adjacents à la plaine

L'Agly est à l'interface avec un système karstique, qui croise avec la nappe plioQuaternaire. La rivière alimente pour partie le karst (60% environ), le reste (40%) correspond aux précipitations. En période de régulation par le barrage (juin-fin septembre), environ 980 l/s s'infiltrent dans le système karstique, et 380 l/s environ à partir d'octobre (fin du soutien d'étiage par le barrage).

Le karst des Corbières est également un vecteur entre les eaux de surface et le Pliocène. La contribution de cette formation calcaire à l'alimentation de la nappe est estimée à 550 l/s.

Sur le bassin du Tech, les formations de gneiss, micaschistes et schistes, en bordure de la nappe plioQuaternaire sont très peu perméables, sauf par endroits, où les roches sont fissurées. Il peut exister de petits aquifères isolés, mais qui sont peu exploitables, compte tenu de leur vulnérabilité (Ginger environnement, 2011).

### PRINCIPAUX AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES

#### Les canaux d'irrigation gravitaire

L'activité agricole s'est fortement amplifiée au moment de la construction des canaux gravitaires, vraisemblablement entre le XII<sup>ème</sup> et le XIV<sup>ème</sup> siècle. Ces ouvrages ont accompagné le développement des moulins et permis d'étendre les surfaces agricoles (Caucanas, 1992). Aujourd'hui, bien que les moulins aient cessé de fonctionner, ces canaux irriguent la plaine d'un maillage très important et leurs usages sont multiples :

- Irrigation gravitaire et sous-pression (réseaux alimentés par des stations de pompage qui pompent directement dans les canaux)
- Alimentation de réseaux sous pression
- Assainissement pluvial
- Patrimoine historique et paysager (mise en valeur des ouvrages remarquables et « coulées vertes »)
- Réalimentation des nappes

#### Les retenues

Le tableau ci-après présente les 4 grands barrages qui influencent l'hydrologie de la Plaine du Roussillon.

Tableau 1 : Les retenues qui influencent l'hydrologie du territoire

Retenue	Volume utile de régulation (Mm <sup>3</sup> )	Fonction
Barrage de Vinça sur la Têt	24,2	- Ecrêtement des crues - Irrigation - Soutien d'étiage
Barrage des Bouillouses sur la Têt	14,7	- Irrigation - AEP - Hydroélectricité - Neige
Barrage sur l'Agly (Caramany)	19,5	- Ecrêtement des crues - Irrigation - Soutien d'étiage
Retenue de Villeneuve de la Raho	15,6	- Irrigation - Loisirs

Le volume total de régulation sur le territoire s'élève à 74 Mm<sup>3</sup> environ.

### QUELS USAGES IMPACTENT QUELLES RESSOURCES ?

Les études Volumes Prélevables ont proposé des estimations des prélèvements nets pour les différents usages de l'eau par grandes ressources : bassins de la Têt, du Tech, de l'Agly, nappes Quaternaires et Pliocène.

La figure ci-dessous synthétise ces prélèvements moyens à l'échelle annuelle sur la Plaine du Roussillon.

NB : les prélèvements AEP négatifs correspondent aux rejets des stations d'épuration dans les cours d'eau. Vu du cours d'eau il s'agit en effet d'un apport net dans la mesure où les prélèvements sont pour une large part d'origine souterraine.

L'agriculture est le premier préleveur net de la ressource sur les fleuves et le Quaternaire. En revanche, le Pliocène est largement utilisé pour l'AEP.

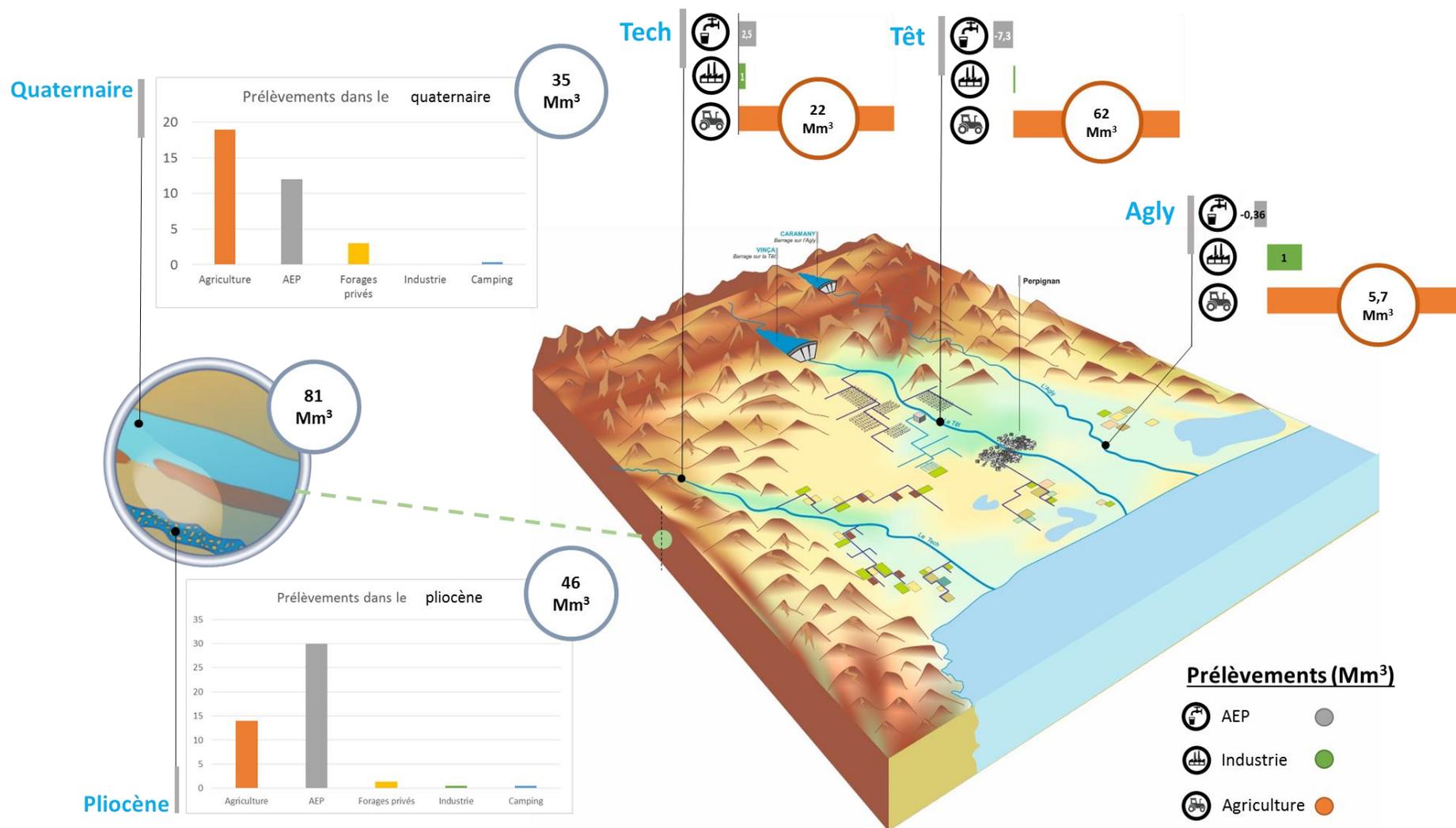


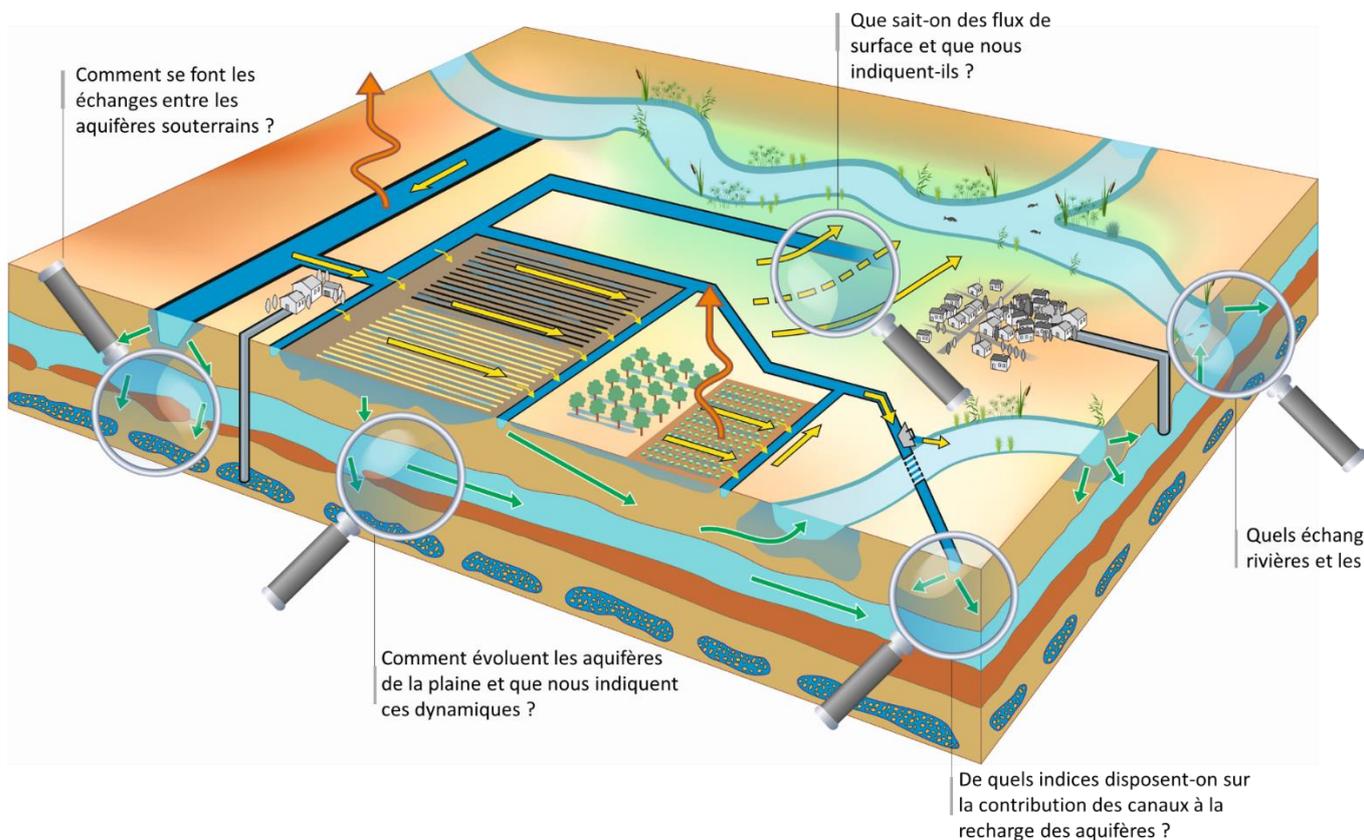
Figure 9 : Prélèvements nets des usages par ressource (sources : études volumes prélevables BV Têt, Tech, Agly et nappes du Roussillon ; schéma BRLi)

### 3.2 QUE SAIT-ON DES FLUX RIVIERES-CANAUX-NAPPES – SYNTHÈSE DES APPROCHES ANTERIEURES ?

Ce chapitre propose une synthèse des connaissances issues des études antérieures sur les flux canaux – rivières – nappes sur la Plaine du Roussillon, et en particulier sur le bassin de la Têt aval Vinça.

Le schéma ci-après illustre les questions abordées dans ce chapitre.

Figure 10 : Schéma de principe des flux d'eau irrigation-nappes-rivières



### 3.2.1 Que sait-on des flux de surface et que nous indiquent-ils ?

L'analyse des débits des canaux et du fleuve Têt dans les études précédentes (Etude EVP Têt, Etude CG66) en période d'irrigation ont montré que :

- Les prélèvements concentrés des 4 principaux canaux entre Vinça et Ille-sur-Têt (à l'aval du canal de Millas-Néfiach) entraînent une chute importante du débit sur ce tronçon.
- En revanche, on observe durant la période d'irrigation une augmentation du débit entre Millas et Saint-Féliu d'Amont alors même que les apports par les cours d'eaux ou rejets de stations d'épuration sont négligeables (BRLi, 2012b).
- En aval, au niveau de Perpignan, les débits mesurés sur la Têt sont largement supérieurs aux débits qui couleraient s'il n'y avait aucun retour des canaux (débit « Vinça – prélèvements bruts des canaux »).

Ces observations indiquent d'importants retours d'eau des canaux vers la rivière Têt, localisés sur le tronçon en aval du canal du Millas.

Le schéma ci-dessous, basé sur l'étude EVP du Bassin de la Têt (AERMC, BRLi, 2012b) illustre le phénomène des retours à la rivière sur le BV de la Têt.

- La courbe violette indique le débit de la Têt soustrait des prélèvements bruts.
- La courbe bleue permet de suivre le débit mesuré lors des campagnes de jaugeage en rivière et dans les canaux du secteur.
- Les flèches vertes correspondent aux prises d'eau des canaux dans la rivière et les flèches bleues aux apports des affluents.

**L'analyse de ces flux de surfaces, croisée avec la connaissance des besoins en eau d'irrigation sur le bassin de la Têt, peut permettre d'approcher les flux d'infiltration vers la nappe. Cette analyse est présentée aux chapitres 4 à 5 du présent rapport.**

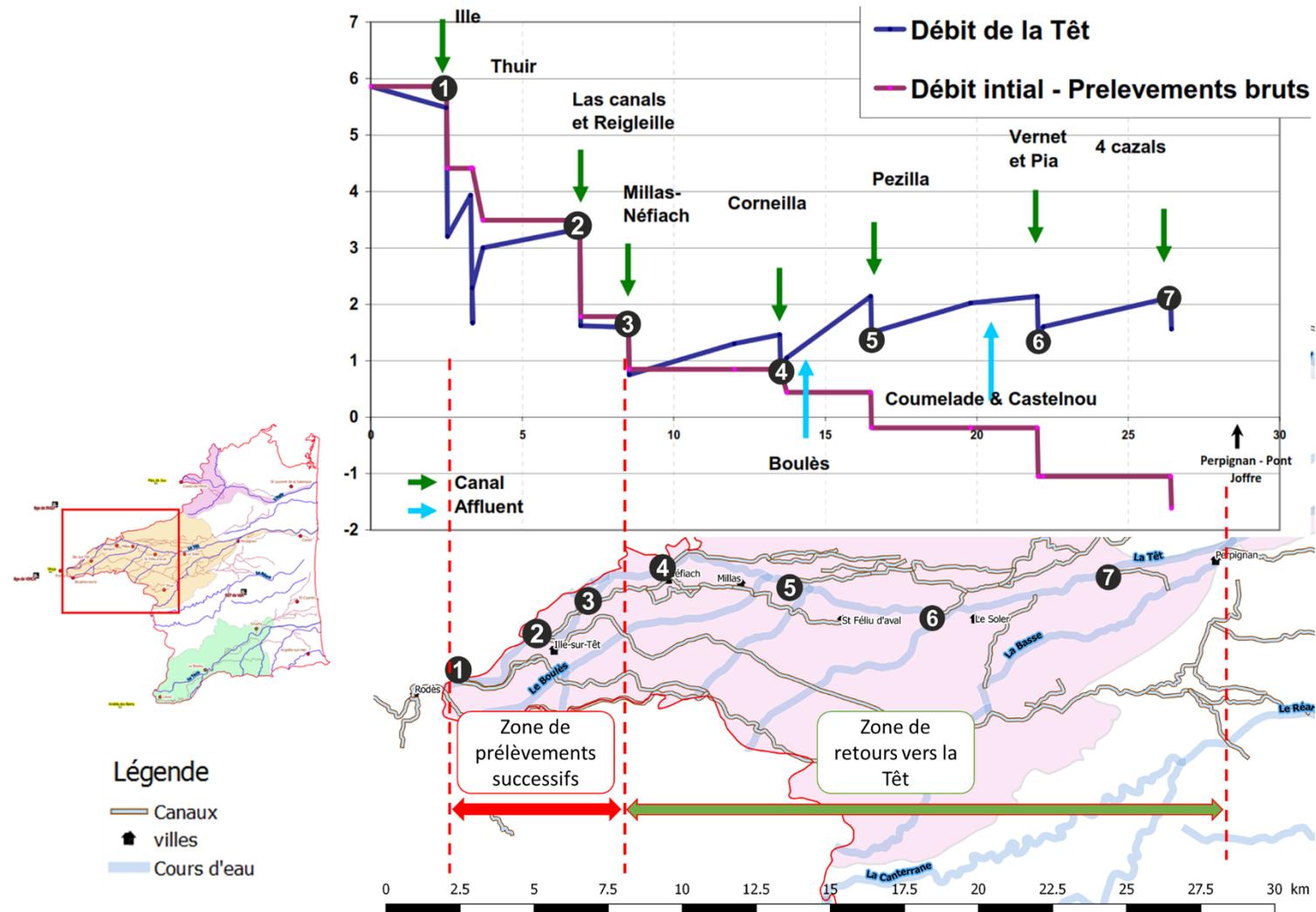


Figure 11 : Illustration des retours sur le BV de la Têt (données études volumes prélevables BV Têt, BRLi ; Schéma BRLi)

### 3.2.2 Quels échanges entre les rivières et les nappes ?

#### CE QUE L'ON SAIT SUR LES ECHANGES ENTRE LES RIVIERES ET LE QUATERNAIRE

Sur le bassin versant de la Têt, la reconstitution des débits naturels a mis en évidence qu'il y a des pertes pour le cours d'eau entre Vinça et Perpignan. Le phénomène n'est pas bien connu mais les volumes qui transitent de la rivière vers la nappe sont estimés à 10 Mm<sup>3</sup> environ. On observe en effet que les débits naturels atteignent leur maximum au droit de Vinça ; à l'aval de ce point, le module diminue légèrement et les débits estivaux montrent une baisse marquée, alors même que les apports des précipitations sont conséquents (BRLi, 2012a).

Sur le Tech : un Paléo-chenal (ancien lit du fleuve) en aval qui dérive le cours d'eau de 200l/s (entre 150 l/s et 300 l/s) environ à l'étiage, vers la plaine. Dans la partie aval du Tech, on constate que les essais de pompage (400 m<sup>3</sup>/h sur 10 jours environ) n'ont pas eu d'influence sur le débit de la rivière (Source : EVP Tech, 2011).

Par ailleurs, les échanges entre les rivières et le Quaternaire tendent à être perturbés par les activités anthropiques. Tout d'abord, les pompages dans le Quaternaire à proximité des cours d'eau créent des appels qui drainent l'eau des rivières. Ensuite, ces pompages induisent une réduction des niveaux d'eau des aquifères en été.

Enfin, l'urbanisation et les prélèvements de matériaux pour la construction (effectués dans les années 1990) perturbent l'écoulement naturel des rivières. Par exemple, sur le bassin versant de la Têt, la Nationale 116 empêche le débordement du lit mineur en rive droite. Cette canalisation de la Têt entraîne une incision du lit du cours d'eau. L'affaissement du lit mineur ainsi créé entraîne avec lui la nappe d'accompagnement. Ce phénomène peut avoir pour conséquence la baisse de rendement des pompages existants (BRLi, 2012a).

#### EXISTE-T-IL DES ECHANGES DIRECTS ENTRE LES RIVIERES ET LE PLIOCENE ?

Concernant le Pliocène, les eaux superficielles peuvent alimenter directement l'aquifère au niveau des zones d'affleurement (SMNPR, 2012b).

Cependant, il est en majorité alimenté par des eaux souterraines ; le Quaternaire dans la partie amont de la plaine, et les massifs adjacents (karst des Corbières et de Sainte Colombe, ou le granit fracturé de Millas). Comme souligné plus haut, le karst est un vecteur qui relie et accélère les relations entre les eaux de surface et les eaux souterraines.

Une étude sur l'impact de l'érosion du lit de la Têt (SMNPR, 2014) sur le Pliocène entre Néfiach et le Soler souligne que :

- Le niveau d'eau de la Têt et le niveau piézométrique du Pliocène sont sensiblement équivalents sur ce secteur.
- Les variations du niveau piézométrique de la nappe Pliocène suivent les variations de débit de la Têt à l'amont de Néfiach (Source : « *Etudes des interactions existantes entre nappes du Roussillon et canaux d'irrigation dans la vallée de la Têt* », SMNPR, 2015).

### 3.2.3 Comment évoluent les aquifères de la plaine et que nous indiquent ces dynamiques ?

Le suivi piézométrique de la plaine est assuré par le BRGM et le SMNPR. Les premières mesures remontent à 1968, et sont répertoriées dans la base de données SANDRE (Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau). Le réseau est composé de 24 piézomètres dont 5 dans le Quaternaire.

### LE PLOCIENE EST UN AQUIFERE CAPTIF QUI EVOLUE AVEC LES PRELEVEMENTS

Les figures suivantes présentent la charge hydraulique du piézomètre de Perpignan et de Bompas dans l'aquifère Pliocène sur des chroniques de plus de 30 ans.

Les suivis piézométriques interannuels dans le Pliocène permettent de dégager **une tendance de long terme à la baisse des maxima de charges**. En outre, les écarts entre charge de hautes eaux et de basses eaux s'accroissent, en particulier depuis le début des années 2000.

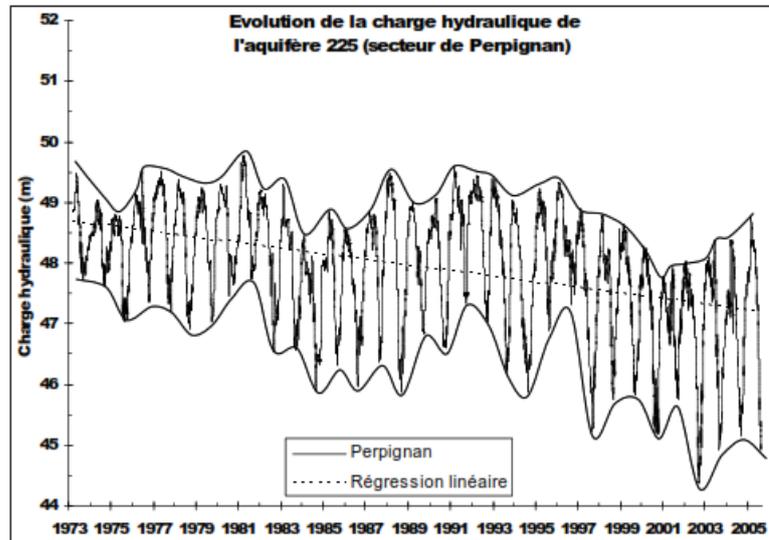


Figure 12 : Evolution de la charge hydraulique dans le Pliocène sur 32 ans (source : Aunay, 2007)

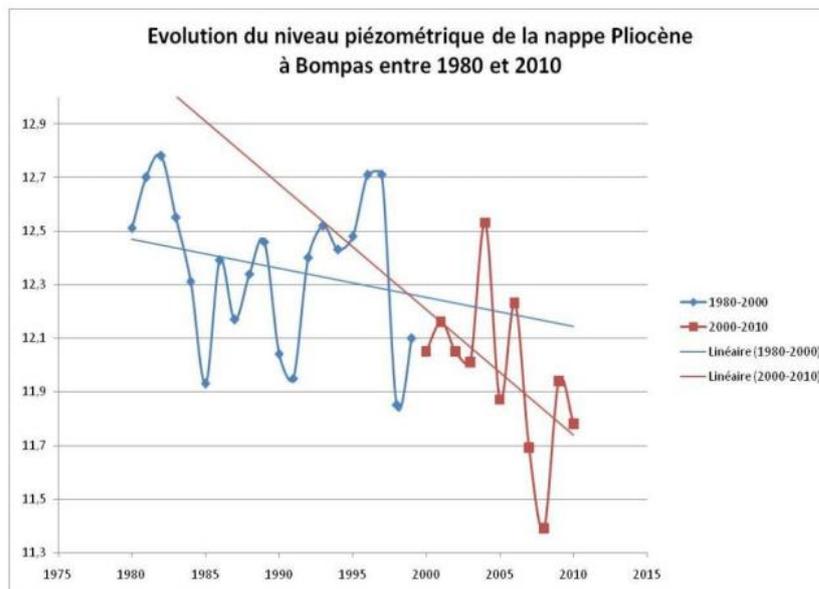


Figure 13 : Accélération de la baisse du niveau piézométrique dans le Pliocène à Bompas (source : SMNPR, 2012a)

Aunay (2007) indique que, sur un pas de temps infra-annuel (voir figure ci-après), l'évolution des charges indique que les variations de la ressource semblent liées aux prélèvements : les minimas se situent en août, période durant laquelle les prélèvements sont élevés et la remontée de la charge coïncide avec le départ des estivants fin août. La figure ci-après présente la charge hydraulique dans le Pliocène et les prélèvements liés à l'AEP sur la période de janvier 2003 à septembre 2005.

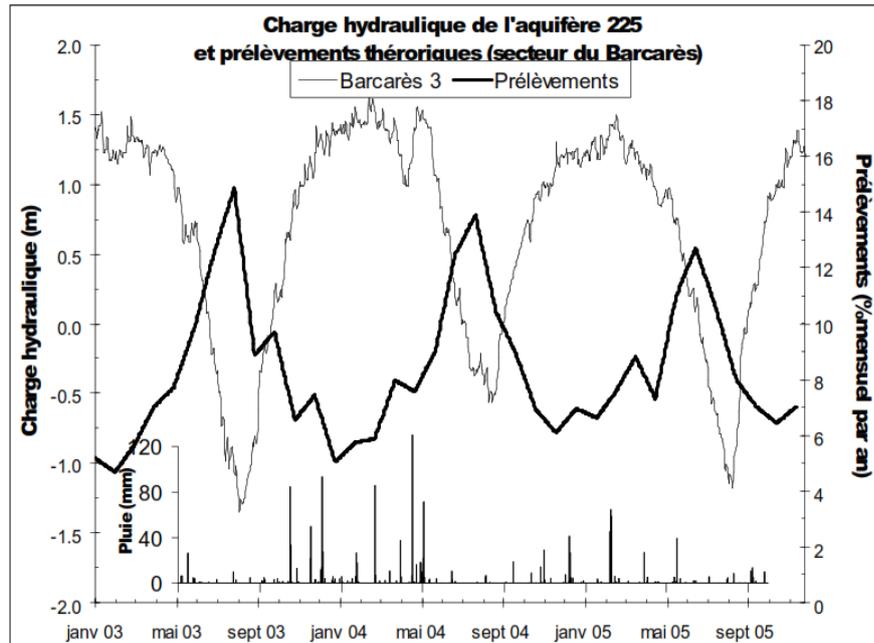


Figure 14 : Lien entre évolution de la charge hydraulique dans le Pliocène et prélèvements AEP ; illustration sur le piézomètre du Barcarès (source : Aunay, 2007)

### LE QUATERNAIRE EST ESSENTIELLEMENT LIÉ AUX EAUX DE SURFACE

Par sa nature de nappe libre, le Quaternaire est très lié aux eaux de surface. La figure ci-après présente en parallèle la pluviométrie et la charge hydraulique du Quaternaire sur la commune de Brouilla, et montre un lien fort entre ces deux variables dans ce secteur.

Cependant, certains secteurs évoluent de manière différente sur la plaine. Nous en donnons un aperçu dans la partie 3.2.4.

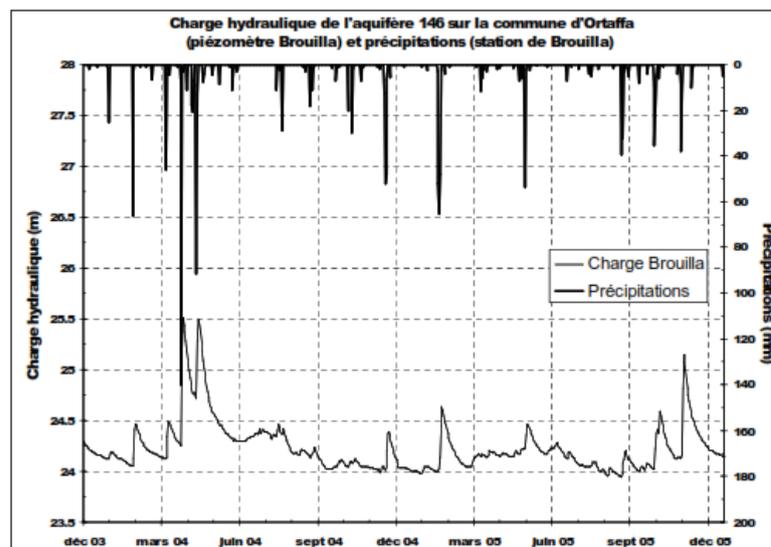


Figure 15 : La charge hydraulique du Quaternaire suit les précipitations (source : Aunay, 2007)

### IL EXISTE UN DIFFERENTIEL DE CHARGE D'OUEST EN EST ENTRE LES AQUIFERES

Il existe grossièrement une différence de charge naturelle entre l'amont (jusqu'au Soler) et l'aval de la plaine du Roussillon (bordure littorale). A l'amont, la charge du Pliocène est inférieure à celle du Quaternaire et des drainances descendantes ont lieu. A l'inverse, sur la partie littorale, la charge du Pliocène est supérieure à celle du Quaternaire, ce qui entraîne une drainance ascendante entre les deux aquifères (Source : Hydriad, 2014).

En été, ce phénomène est perturbé par l'augmentation des prélèvements dans le Pliocène, on observe alors une drainance inversée : le pompage entraîne une baisse de charge dans le Pliocène, qui devient plus faible que celle du Quaternaire ; l'eau s'écoule alors du Quaternaire vers le Pliocène. L'ampleur du phénomène fait qu'aujourd'hui les propriétés artésiennes de la nappe en aval ne sont observées qu'en hiver (SMNPR, 2012b).

La figure ci-dessous schématise ces phénomènes de drainance.

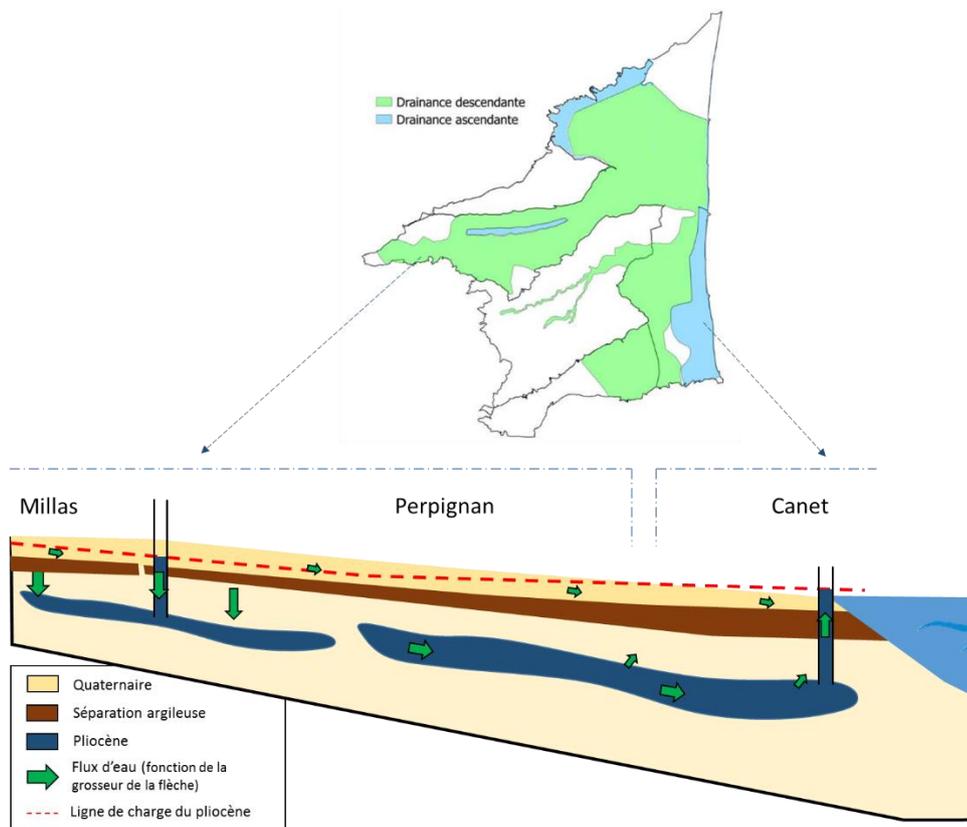


Figure 16 : Drainances entre le Quaternaire et le Pliocène (Coupe : adapté d'Aunay, 2007 ; Carte : Hydriad, 2014)

### 3.2.4 De quels indices dispose-t-on sur la contribution des canaux à la recharge de l'aquifère ?

Les apports des canaux à la nappe sont des volumes complexes à appréhender pour plusieurs raisons. Tout d'abord, les canaux sont des constructions très hétérogènes : certains sont presque entièrement cuvelés (canal de Corbère par exemple), alors que d'autres n'ont que des parties restreintes de leur linéaire bétonnés (canal de Perpignan). Ensuite, ils traversent des entités géologiques différentes (âge des terrasses du Quaternaire). En outre, la circulation de l'eau de surface et de subsurface entre le réseau des canaux est difficile à déterminer de façon précise, dans l'espace et dans le temps.

Dans l'état actuel des connaissances, il semble que les apports directs des canaux concernent majoritairement le Quaternaire. On retrouve cependant dans certains secteurs de l'eau supposée provenant des canaux dans le Pliocène.

#### EXPERIENCE DE REALIMENTATION PAR LE SYNDICAT MIXTE DE LA NAPPE DE LA PLAINE DU ROUSSILLON

Pour mémoire, deux expériences de réalimentation de nappe par des lâchers dans des cours d'eau depuis des canaux d'irrigation ont été conduites par le SMNPR.

Ces expériences font l'objet chacune d'un rapport :

- *Etude hydrogéologique d'essai de recharge artificielle de nappe dans la vallée de la Têt*, ENGEO, 2017 ;
- *Étude hydrogéologique d'essai de recharge artificielle de nappe à Bouleternère par lâchure d'eau du canal de Corbère dans le Boulès*, HydroGéoconsult 2019.

Le premier rapport conclut sur un impact quantitatif positif avec l'observation d'une remontée de 3.6 m du niveau de la nappe du Quaternaire sur la zone de recharge, avec une influence notée sur 4 km le long du Boulès.

Le second rapport indique les conclusions suivantes : « *Le déversement d'eau depuis canal de Corbère dans le Boulès, à raison de 500 l/s pendant 6 semaines a provoqué une réponse très nette de l'aquifère e la terrasse quaternaire d'Ille sur Têt. Sur le plan hydrodynamique l'impact est : (i) rapide -moins d'une semaine- de Bouleternère à Ille-sur-Têt ; il est encore ressenti vers Néfiach 4 semaines après l'arrêt des apports ; (ii) d'amplitude variable ; l'éloignement du point d'eau par rapport à la lâchure influant peu (des puits d'un même secteur montrent des réponses très différentes). La proximité et la morphologie du substrat imperméable servant de support à la nappe jouent certainement un rôle, comme par exemple autour du puits de l'Asa de Ste-Anne où l'affleurement temporaire de la nappe limite l'exhaussement piézométrique, le Boulès jouant alors un rôle de drain.* ». Le rapport précise que, « *effectuées dans un contexte de -relatives- hautes eaux, les observations seraient à confirmer dans une configuration hydroclimatique plus sévère ; les réponses en amplitude et déphasage pourrait être modifiées.* »

#### LES RETOURS D'EXPERIENCE DANS LA ZONE AMONT DU BASSIN VERSANT DE LA TET A L'AVAL DE VINÇA

Des visites des canaux et des entretiens<sup>3</sup> sur le bassin versant de la Têt ont permis d'avoir un retour d'expérience sur le rôle des canaux dans la recharge du Quaternaire. D'après les gestionnaires des canaux, il est fréquent qu'en hiver, certaines communes, notamment celles qui s'alimentent dans le Quaternaire, sollicitent les canaux pour réalimenter leur champ captant. De même, il n'est pas rare que les agriculteurs qui possèdent un forage privé le réalimentent en ouvrant des vannes des canaux dans les secteurs à proximité de leur ouvrage.

Ainsi, sur l'amont du bassin versant de la Têt à l'aval du barrage de Vinça, la nappe d'accompagnement du Boulès est en partie rechargée par les eaux du canal de Corbère, de Thuir et de Perpignan via des lâchers dans les affluents le Boulès et la Coumelade. Or, la nappe du Boulès alimente la ville d'Ille-sur-Têt et contribue pour partie à l'AEP de Perpignan. (UPVD, CA Roussillon, 2008).

---

<sup>3</sup> (Sandrine Jaffard de l'ACAV, plusieurs garde-vannes, des agriculteurs, Guilhem Gaston-Conduite (ancien responsable du canal de Perpignan)

### CERTAINS SECTEURS DE LA PLAINE ONT UN FONCTIONNEMENT PROPRE ET METTENT EN EVIDENCE DES LIENS EAUX DE SURFACE ET NAPPES

La dynamique des piézomètres n'est pas homogène sur l'ensemble de la plaine. Le cas le mieux étudié reste la zone amont de la Têt à l'aval de Vinça. Dans ce secteur, les piézomètres de Millas (Quaternaire et Pliocène) montrent par exemple que les hautes eaux se situent en été (d'avril à octobre). C'est la période d'irrigation, durant laquelle les canaux prélèvent à leur maximum. L'hypothèse la plus probable est qu'il existe un lien entre les flux liés à l'irrigation et les nappes (à la fois Pliocène et Quaternaire) sur cette zone.

D'après les informations dont on dispose, et compte tenu de la faible densité de l'information piézométrique, il est difficile de savoir jusqu'où se propage ce phénomène. En effet, la répartition (cf. figure ci-après) des 5 piézomètres qui permettent de suivre le Quaternaire ne permet pas de généraliser ce que l'on observe sur Millas. On remarque cependant que le comportement du piézomètre de Perpignan (Pliocène) ne reproduit pas le signal de Millas. Il serait alors intéressant de comprendre comment fonctionne le Quaternaire par exemple entre Millas et Perpignan. On aurait ainsi plus d'informations sur les liens canaux-Quaternaire.

Les piézomètres de Terrats et Nyls-Ponteilla suivent le même schéma que ceux de Millas. Cependant, il est difficile d'évoquer une influence des canaux d'irrigation, car ces derniers ne forment pas un maillage très dense sur ce secteur comme sur le bassin de la Têt. En revanche, ils se trouvent à proximité d'une zone karstique, qui pourrait favoriser les liens surface-souterrain.

Le schéma qui suit illustre le comportement singulier de certains secteurs sur la plaine à travers le suivi piézométrique sur la période de janvier 2004 à juillet 2006.

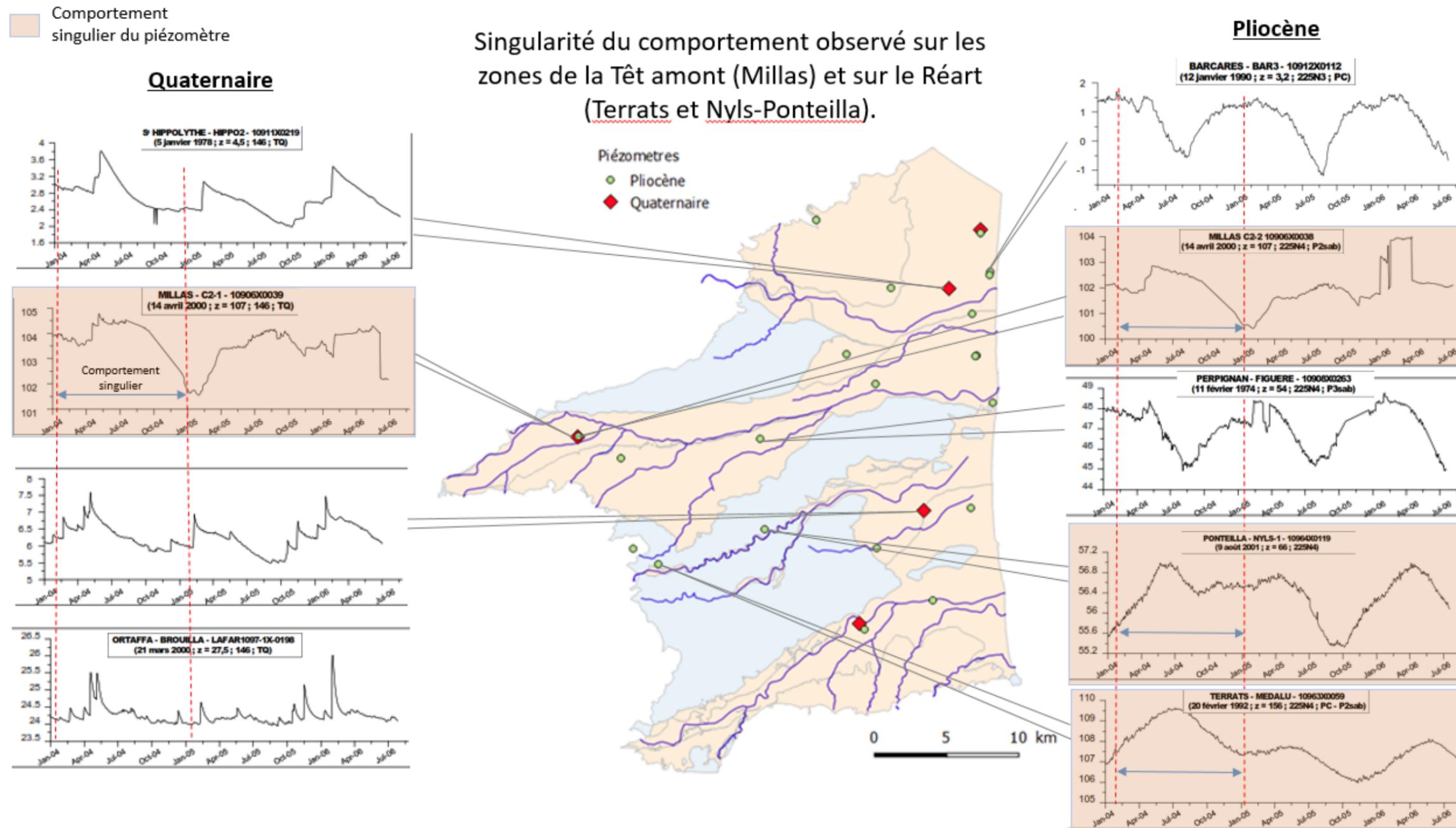


Figure 17 : Les piézomètres de Millas, Ponteilla, et Terrats (Pliocène) traduisent un comportement singulier. Le piézomètre du Barcarès représente les variations que l'on observe sur la plaine (Courbes piézométriques : Aunay, 2007).

### DES ETUDES METTENT EN AVANT LA CONTRIBUTION DES CANAUX SUR LA ZONE AMONT DE LA TÊT A L'AVAL DE VINÇA

Entre 2013 et 2016, plusieurs études ont été réalisées sur la zone entre Bouleternère, Ille-sur-Têt, et Thuir (cf. figure page suivante). Il s'agit notamment des études de suivi isotopiques (Gillon et Marc, 2014), (Ladouche et Dewandel, 2016) qui permettent de déterminer l'âge et donc la provenance des eaux grâce à leur signature (proportions de mélanges sur les isotopes suivis et composition minérale). Ces informations viennent compléter les suivis piézométriques réalisés sur les ouvrages du secteur.

En faisant l'hypothèse forte que les rivières et les canaux sont les premiers contributeurs devant la pluie, les études isotopiques (Gillon et Marc, 2014) estiment des pourcentages d'influence des eaux des canaux dans la recharge du Quaternaire. Les ordres de grandeur se situent entre 25 % et 50 % sur la zone qui correspond à la nappe d'accompagnement du Boulès (de Bouleternère à la rive gauche de la Coumelade). Le Boulès vient compléter la recharge. En outre, au niveau des piézomètres de Millas, le travail de B. Aunay met en évidence une corrélation forte (coefficient de corrélation de Pearson  $R^2=0,84$ ) entre les prélèvements du canal de Thuir et le niveau piézométrique dans le Quaternaire.

Au niveau des ouvrages suivis sur le secteur entre St Féliu et Thuir (puits P9 et le forage C-5 au Mas Comte et puits P1 et le forage au Mas Ripoll), la contribution de l'eau des canaux s'élèverait entre 70 % et 80 %, et le reste de la recharge proviendrait des eaux de pluie principalement. (Source : Gillon M., Marc V., 2014 et SMNPR, 2015)

Par ailleurs, plusieurs paramètres permettent de faire des hypothèses sur les relations entre Quaternaire et Pliocène. Tout d'abord, le suivi des piézomètres de Millas (Quaternaire et Pliocène) a déjà permis de supposer une relation entre les aquifères ; en effet, les charges évoluent en parallèle sur l'année et le Quaternaire a une charge plus élevée que le Pliocène, ce qui permet de supposer des drainances descendantes (cf. figure ci-dessous). En sus, le dosage des isotopes permet de compléter et confirmer les hypothèses évoquées. (SMNPR, 2015).

Les eaux du Pliocène au niveau du forage du Mas Ripoll montrent aussi une forte influence des eaux de surface.

Le schéma de la page suivante met en avant les résultats des études sur la zone amont de la Têt à l'aval du barrage de Vinça (Entre Bouleternère, Millas, St Féliu d'Aval et Thuir).

La figure ci-dessous présente l'évolution de la charge du Quaternaire et du Pliocène sur un an (2009) au niveau des piézomètres de Millas.

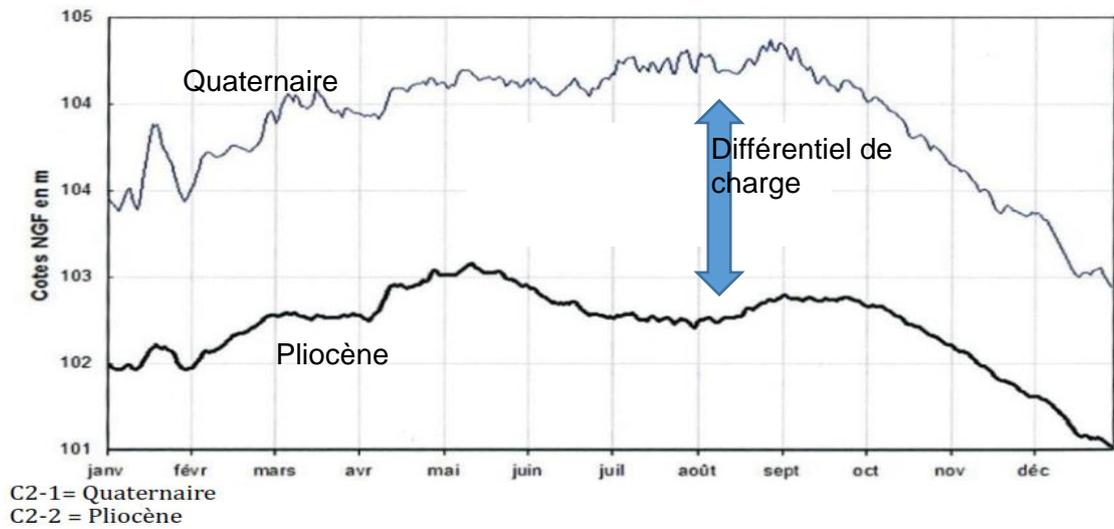


Figure 18 : Suivi des piézomètres de Millas (BRGM, SMNPR, 2009)

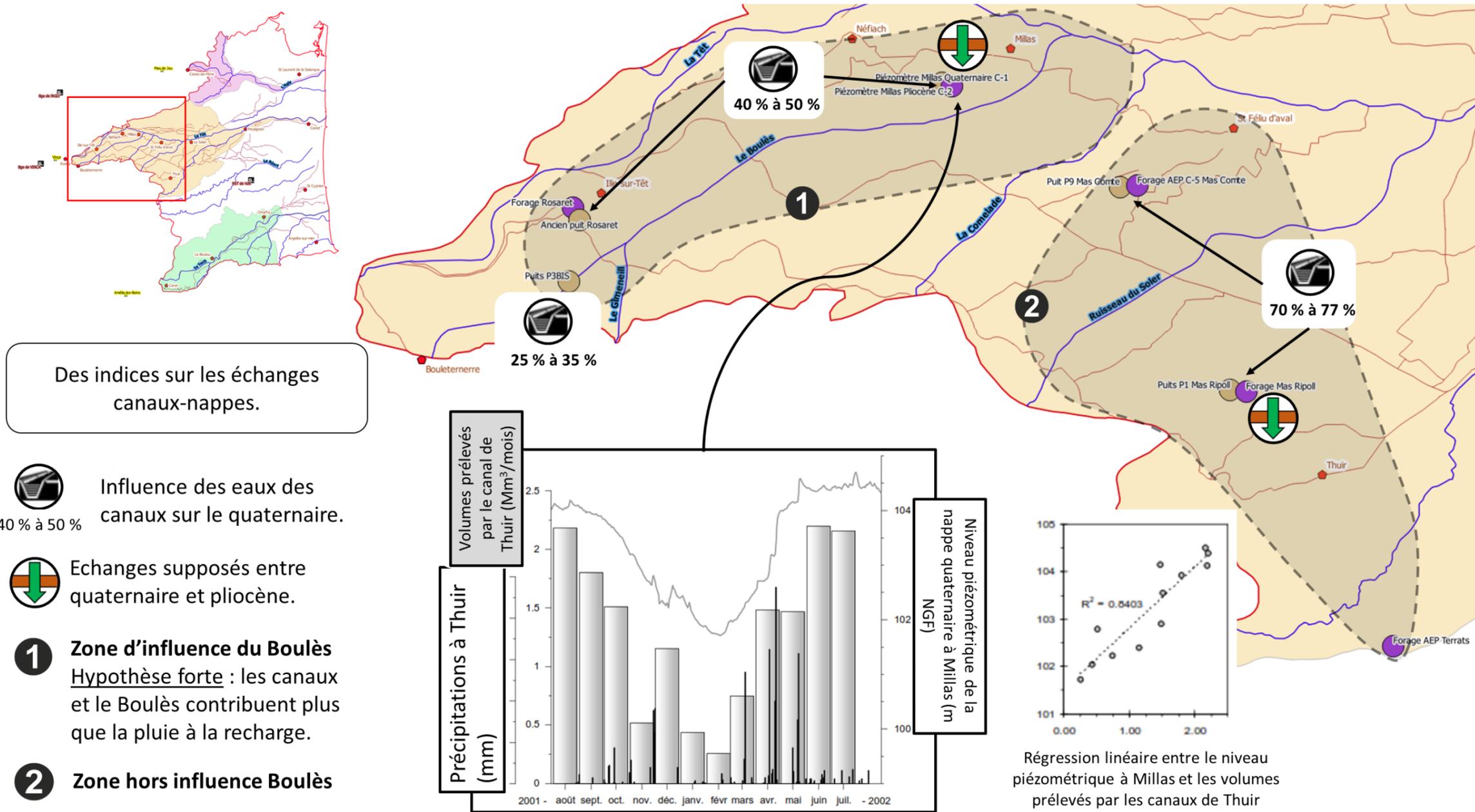


Figure 19 : Hypothèses avancées par les études réalisées sur l'amont du BV de la Têt à l'aval de Vinça

## 4. ESTIMATION DES RETOURS D'EAU D'IRRIGATION AU FLEUVE TET A PARTIR DES DONNEES HYDROLOGIQUES

### 4.1 DEMARCHE PROPOSEE

L'un des objectifs des rapports P9 et P11 est de conduire bilan des flux sur les eaux de surfaces, afin d'évaluer quelles sont les contributions des canaux d'irrigation à la nappe plioQuaternaire.

**Comme évoqué plus haut, nous proposons cette approche de bilan sur le bassin de la Têt de Vinça à Perpignan (voir carte ci-après).**

C'est le seul bassin sur lequel le suivi des débits prélevés par les canaux est suffisant pour conduire un bilan au pas de temps mensuel sur l'ensemble des canaux. On notera cependant que cette donnée était disponible pour les années 2000-2009, mais n'est plus accessible de manière complète sur les années récentes.

Deux approches de bilan des flux sont proposées pour appréhender les flux d'irrigations sur le bassin de la Têt :

- **Un bilan mensuel sur le système « CANAUX » - détaillé dans le rapport P9.**

Il se base sur l'équation suivante :

$$P_{\text{brut}}(\text{canaux}) = \text{Besoin en eau (évapotranspiration)} + \text{Transfert vers extérieur bassin} \\ + \text{Retours}\{\text{nappe} + \text{rivière}\}$$

- **Un bilan mensuel ou ponctuel sur le système « FLEUVE TET » - détaillé dans le présent rapport P11.**

Il se base sur l'équation suivante :

$$Q(\text{Perpignan}) = Q(\text{Vinça}) + \text{Apports affluents} - P_{\text{brut}}(\text{canaux}) \\ + \text{Retours}\{\text{rivières}\} \text{ et interaction nappe-rivière}$$

Le croisement de ces deux approches permettra d'appréhender des ordres de grandeur de la contribution des canaux à la nappe.

**Ce chapitre présente donc le calcul de bilan sur le système « Fleuve Têt » à partir des données disponibles.**

## 4.2 LES EAUX DU SURFACE SUR LE BASSIN DE LA TÊT

En entrée de la Plaine du Roussillon, la Têt est régulée par le barrage de Vinça qui assure un déstockage en période estivale et permet ainsi l'irrigation sur la vallée de la Têt de Vinça à l'aval de Perpignan.

**Les débits de la Têt à Vinça sont de l'ordre de 10 m<sup>3</sup>/s en moyenne annuelle, et de l'ordre de 8 m<sup>3</sup>/s en moyenne sur la période estivale.**

**Les débits de la Têt à Perpignan sont de l'ordre de 7 m<sup>3</sup>/s en moyenne annuelle, et de l'ordre de 2.5 m<sup>3</sup>/s en moyenne sur la période estivale.**

La carte de la page suivante présente le bassin de la Têt à l'aval de Vinça, et les principaux canaux primaires alimentés par le fleuve Têt.

**Les canaux à l'aval de Vinça prélèvent un débit de l'ordre de 5 m<sup>3</sup>/s en moyenne annuelle ; avec une pointe en juillet 8 m<sup>3</sup>/s prélevé en moyenne.**

Un chevelu important de réseaux de canaux secondaires et d'agouilles maille la vallée de la Têt. Les eaux d'irrigation transitent sur le territoire via :

- Le réseau de canaux, primaire, secondaire, tertiaires ;
- Des décharges de l'eau d'irrigation dans les cours d'eau ;
- Des transferts d'eau entre grands canaux ;
- Des échanges nappes-rivières ;
- Ect ;

Indiquons en outre qu'une partie des flux d'irrigation sort du bassin versant de la Têt :

- Le canal de Perpignan « Las Canals » sort du bassin de la Têt pour alimenter la retenue Villeneuve de la Raho. Cela représente des débits de l'ordre de 200 l/s en moyenne ;
- Le canal de Vernet et Pia sort également du bassin de la Têt ; cela représente des débits de l'ordre de 300 l/s en été.

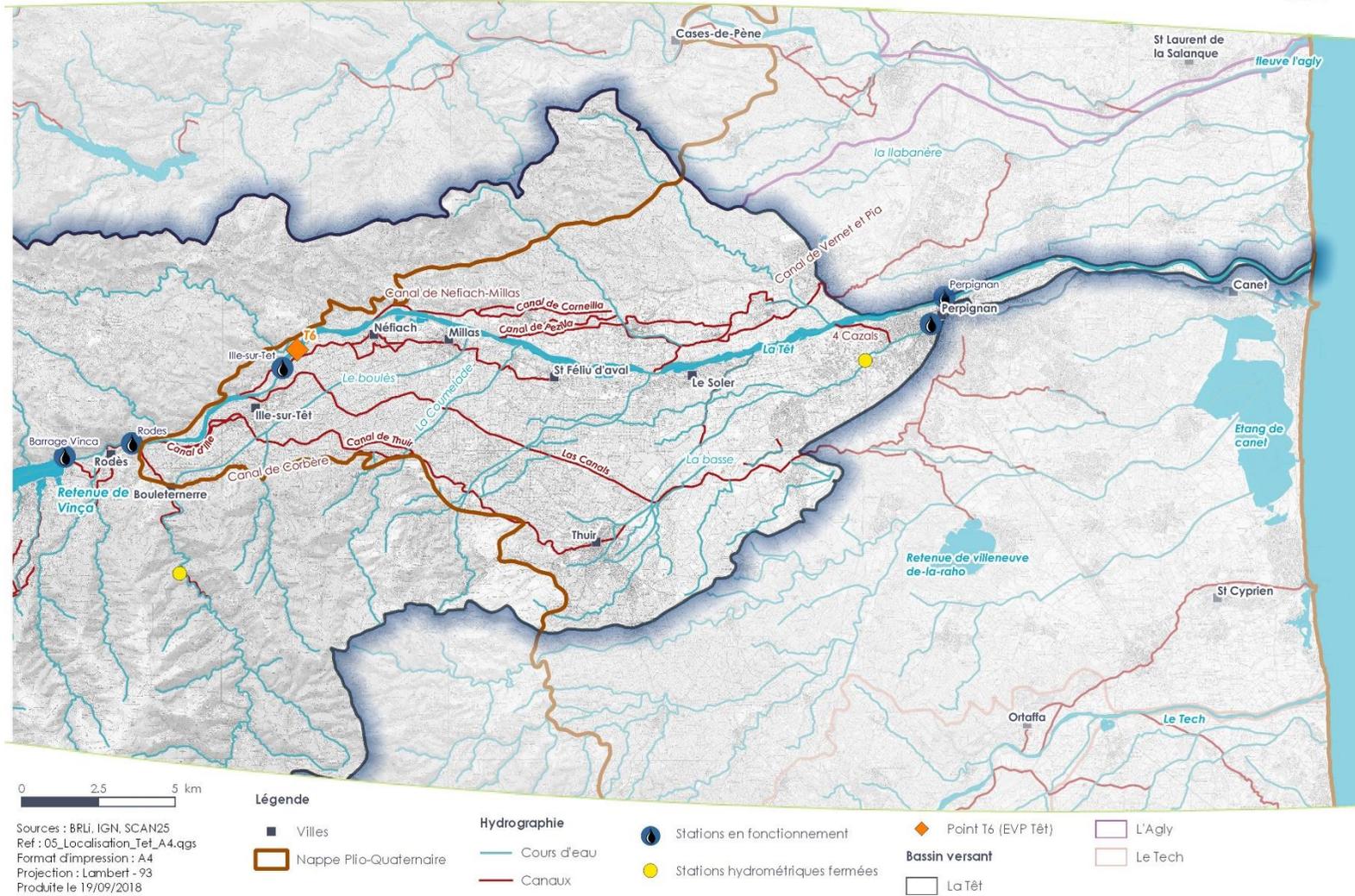
Le suivi des débits sur le bassin versant est le suivant :

- Trois stations hydrométriques existent sur le bassin de la Têt aval Vinça :
  - La station de Rodés mesure les débits en aval du barrage ;
  - La station d'Ille sur Têt, en aval de la prise du canal de Millas, est située au point de « plus bas débits » de la Têt (voir plus loin) ;
  - La station de Perpignan en sortie de bassin.
- Les apports des affluents entre Vinça et Perpignan sont peu connus :
  - Deux stations hydrométriques sont en fonctionnement sur la Basse et le Boules, mais ces stations se situent en aval des décharges des canaux (Corbère pour le Boules, Thuir, Las Canals, 4 Cazals pour la Basse), et sont donc influencés par les apports de ces canaux.
  - Deux stations hydrométriques anciennes étaient présentes sur ces même affluents.
- Sur les grands canaux d'irrigation, des compteurs gérés par la DDA permettaient de suivre les débits prélevés sur la Têt dans les années 2000-2009. Ce suivi s'est cependant arrêté en 2009. Actuellement, le suivi régulier des débits prélevés par ces canaux reste partiel : certains canaux disposent de compteur et d'un suivi régulier (Corbère, Millas...), d'autres ne disposent pas de compteur, ou ne réalisent pas une bancarisation de ces données.

Ainsi, les débits de la Têt sont actuellement bien suivis par 3 stations hydrométriques. En revanche, l'apport des affluents d'une part, et les prélèvements des canaux d'autre part, sont insuffisamment suivis pour pouvoir estimer ces flux pour les années récentes.

DEM'Eaux Roussillon

Canaux d'irrigation sur le bassin de la Têt aval Vinça



[https://brgm365.sharepoint.com/sites/irrodemauxroussillon/documents/partages/general/t0\\_coordination/productions/p11a\\_bilan\\_flux\\_tet/p\\_11a\\_bilan\\_flux\\_bri\\_v211213.docx](https://brgm365.sharepoint.com/sites/irrodemauxroussillon/documents/partages/general/t0_coordination/productions/p11a_bilan_flux_tet/p_11a_bilan_flux_bri_v211213.docx) / Caballero Yvan



Ajoutons que des campagnes de jaugeages ont été réalisées sur les années 2009, 2011, 2017 sur des mois de juin à septembre, et ont quantifié ponctuellement :

- Les débits de la Têt ;
- Les apports des affluents ;
- Les prélèvements des canaux.

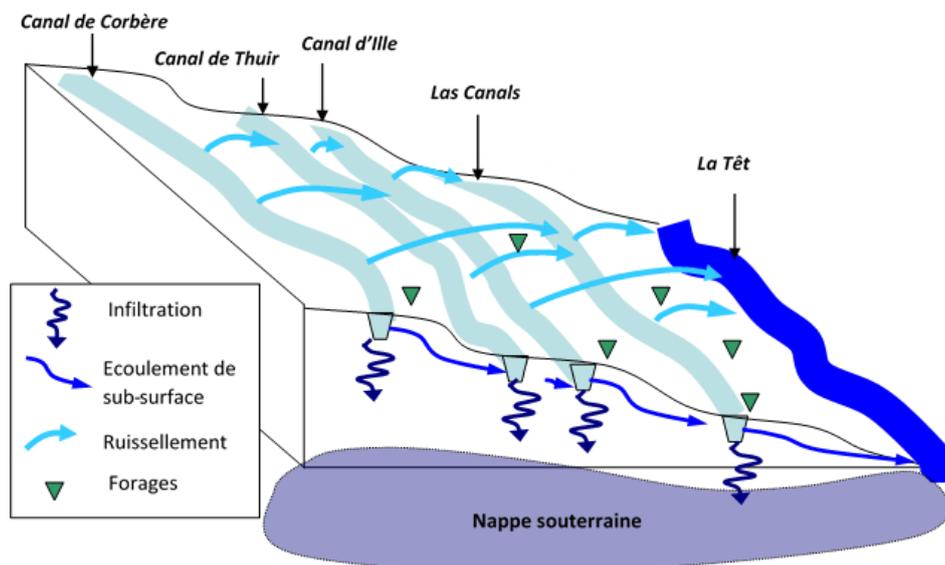
#### DES FLUX D'EAU COMPLEXES SUR LE BASSIN DE LA TÊT

Les observations de terrain, les échanges avec le gestionnaire des canaux (ACAV) et les syndicats et les jaugeages réalisés sur la Têt montrent **des flux d'eau complexes sur le bassin de la Têt**, avec en particulier :

- **Des ruissellements importants sur le bassin, entre canaux, entres parcelles, et vers la rivière, de manière diffuse, via le réseau d'agouilles, et via les cours d'eau temporaires ;**
- En particulier, les canaux aval peuvent être alimentés par les ruissellements des canaux plus amont (ex : alimentation de las Canals par des canaux amont Corbère et Thuir – à vérifier) ; cela est d'ailleurs pris en compte dans la gestion pratique des canaux (source : ACAV) ;
- Les affluents temporaires de la Têt peuvent se trouver en eau sur certains tronçons sous l'effet des flux d'irrigation (ruissellement ou échanges nappes-rivières).

Le schéma ci-dessous, représente les types de transferts d'eau existant au niveau des grands canaux d'irrigation.

Figure 20: Représentation des types de transfert d'eau sur la partie aval de barrage de Vinça (source : EVP Têt, AERMC, BRLi, 2011)



Compte tenu de la complexité du système, nous proposons ci-après une approche « en grand », à l'échelle du bassin de la Têt et du territoire irrigués par les canaux de la Têt.

Les paragraphes qui suivent analysent :

- les données de jaugeages (chapitre 4.3)
- Les données des stations hydrométriques (chapitre 4.4) ;

en vue d'apporter des éléments sur les flux d'irrigation et les retours d'eau d'irrigation vers la rivière Têt.

### 4.3 ANALYSE COMPAREE DES CAMPAGNES DES JAUGEAGES

Dans ce chapitre, nous proposons d'approcher les flux entre canaux d'irrigation et rivière Têt, via **des approches des jaugeages ponctuels sur le linéaire de la Têt et les canaux, réalisées par 2 études antérieures, et renouvelée en 2017 pour la présente étude.**

#### 4.3.1 Rappel des études antérieures (EVP Têt 2010 ; Etude CG66 2011)

Deux études ont proposé ce type d'approche, et nous en reprenons et analysons les résultats ici, à la lumière de questions posées par le projet DEM'EAUX ROUSSILLON. Rappelons les principales conclusions proposées par les deux études.

##### ETUDES EVP TET (AERM&C, BRLI, 2011)

Deux campagnes de jaugeages ont été conduites sur la rivière Têt, ses affluents et les canaux prélevant dans le fleuve :

- 21-23 juillet 2010 ;
- 16 au 18 aout 2010.

Le graphique suivant présente, pour la campagne du 16-18 aout 2010 :

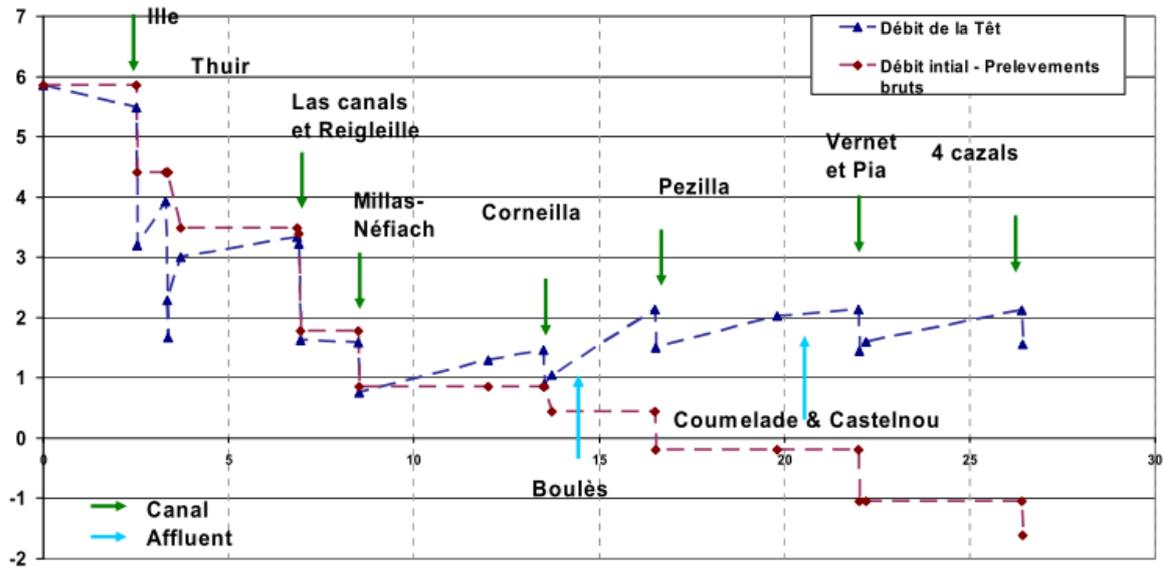
- Le débit effectivement mesuré de la Têt sur son linéaire, depuis Vinça à l'entrée de Perpignan ;
- Un débit fictif égal au débit initial auquel on soustrait les prélèvements bruts des canaux. Il s'agit du débit qui coulerait dans la Têt s'il n'y avait pas de retours des eaux d'irrigation vers la rivière Têt.

Ceci met en évidence qu'il y a eu un apport de 3,17 m<sup>3</sup>/s entre le barrage et la prise du canal des Quatres Cazals.

Cet apport provient soit de retours des prélèvements des canaux soit des apports extérieurs au système étudié (ex : affluents).

Cette analyse met également en évidence que la quasi-totalité des retours d'eau d'irrigation à la rivière Têt se fait à l'aval de la prise du Millas, c'est-à-dire à l'aval du point T6 de l'EVP.

Figure 21 : Comparaison du débit mesuré et d'un débit fictif sans apport ni retour (débit initial – prélèvement brut) et du cumul des prélèvements – Campagne Aout 2010 (axe des abscisses : km) [Source : EVP Têt, AERM&C, BRLi, 2011]

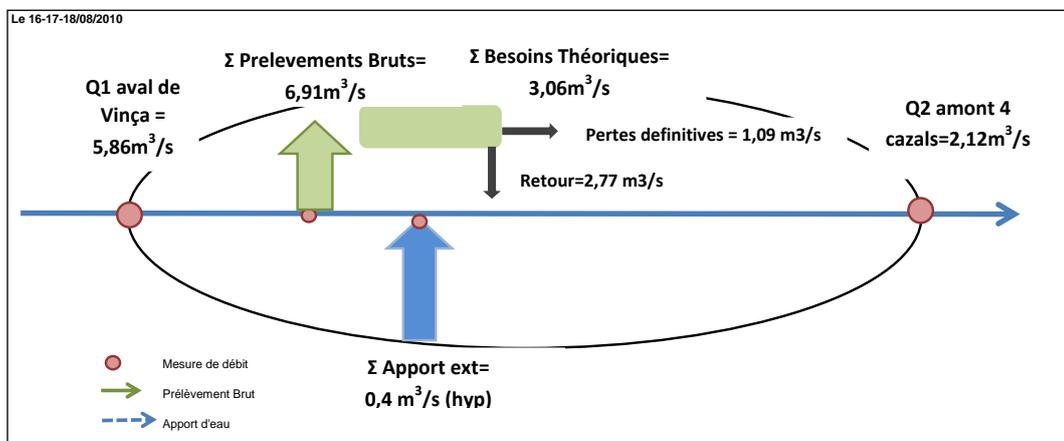


Le rapport indique que, pour cette campagne des jaugeages :

- La plupart des affluents étaient à sec, sauf : le Riuffages ( $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$ ), Le Boulès ( $0.7 \text{ m}^3/\text{s}$ ), la Coumelade ( $0.08 \text{ m}^3/\text{s}$ ) et le Castelnou ( $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ ). L'ensemble constitue un apport total superficiel estimé à  $0.84 \text{ m}^3/\text{s}$
- Néanmoins ces affluents peuvent eux-mêmes être alimentés par les canaux qui se déversent dedans. Par exemple pour le Boulès, aucun écoulement superficiel conséquent n'a été observé en amont des décharges des canaux dans ce dernier.
- L'étude estime donc les apports totaux hors canaux à  $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$  pour cette campagne, débit qui semble a priori une hypothèse haute.

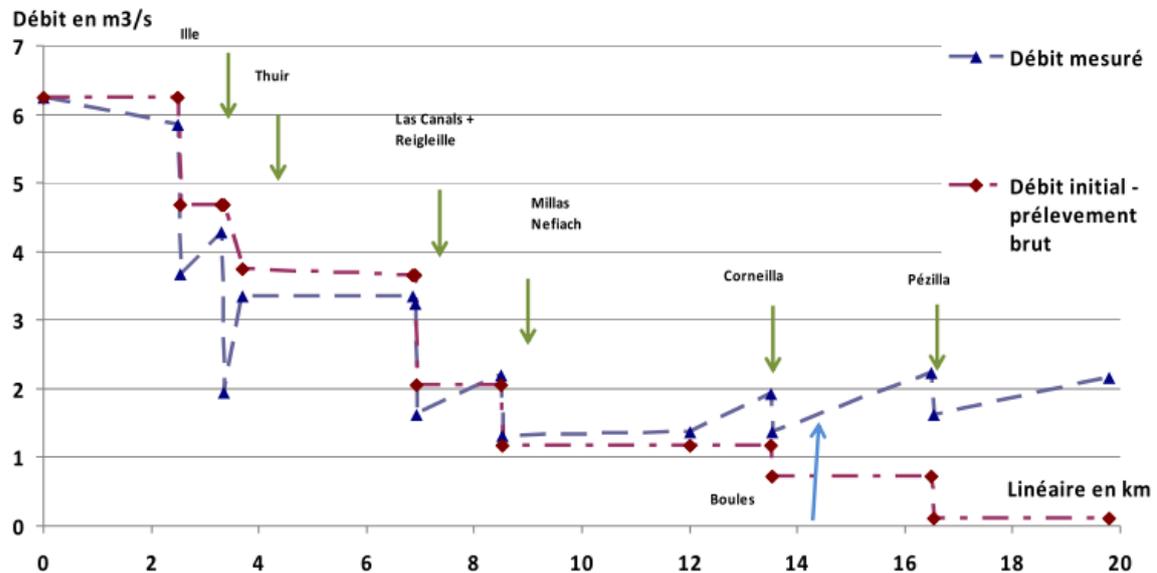
La figure ci-dessous, schématise le bilan des flux pour la campagne réalisée au cours du mois d'Aout 2010.

Figure 22 : Schéma bilan des flux (source : AERM&C, BRLi, 2011)



Une analyse comparable est conduite pour la campagne du mois de Juillet 2010, représentée graphiquement ci-après.

Figure 23 : Comparaison du débit mesuré et d'un débit fictif sans apport ni retour (débit initial – prélèvement brut) et du cumul des prélèvements – Campagne Aout 2010 (axe des abscisses : km) [Source : EVP Têt, AERM&C, BRLi, 2011]



#### ETUDE CG66 - 2011 (RAPPORT DE STAGE FANNY DEBEURNE)

Le CG66 a conduit plusieurs campagnes similaires durant l'été 2011, et produit des analyses comparables sur les écoulements de la Têt amont-aval.

Nous présentons ci-après quelques graphiques issus de cette étude. A nouveau, l'interprétation des jaugeages montre :

- Un secteur amont T6 (amont prise de Millas) sur lequel les retours d'eau à la rivière sont très faibles ;
- Un secteur aval qui concentre d'importants retours des eaux d'irrigation vers la rivière Têt.

Figure 24 : Comparaison du débit mesuré et d'un débit fictif sans apport ni retour (débit initial – prélèvement brut) et du cumul des prélèvements – Campagne 27-28 juillet 2011 (axe des abscisses : km) [Source : CG66, 2011]

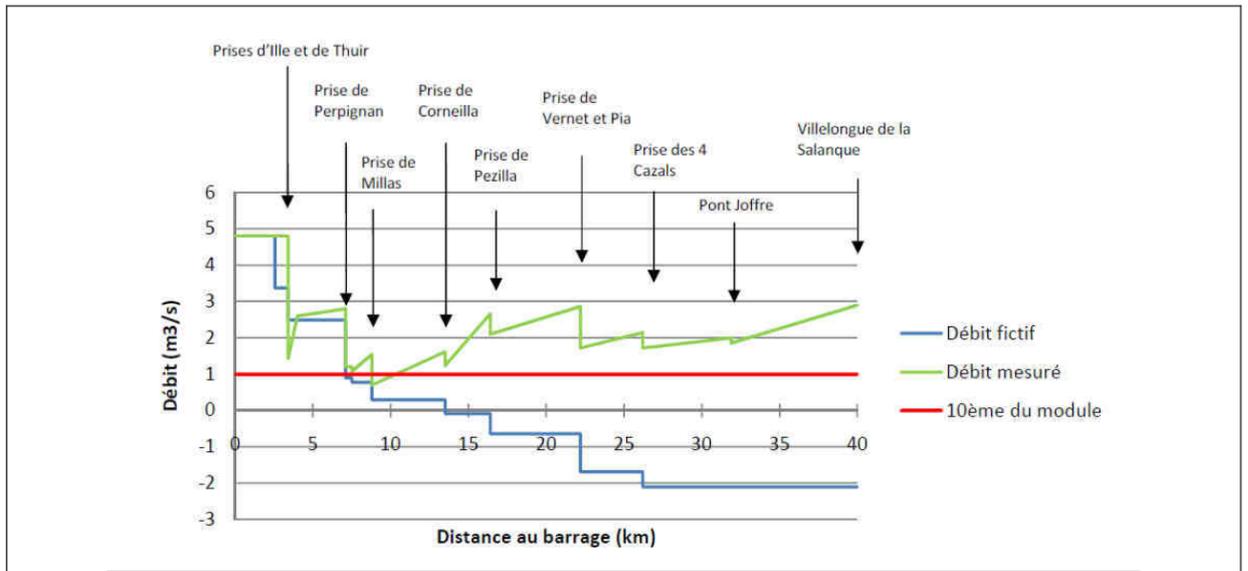
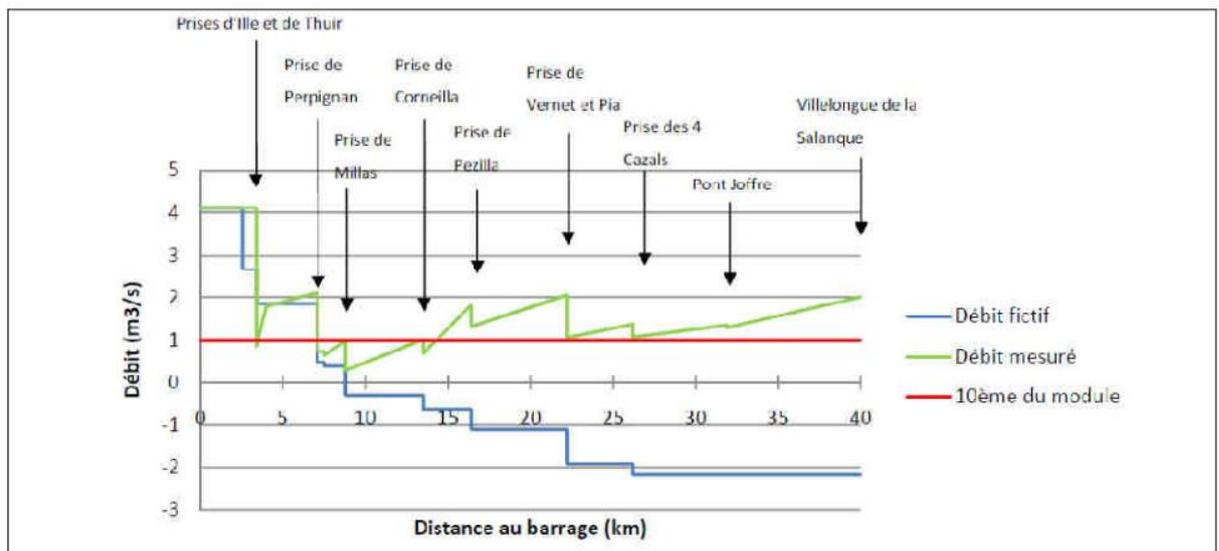


Figure 25 : Comparaison du débit mesuré et d'un débit fictif sans apport ni retour (débit initial – prélèvement brut) et du cumul des prélèvements – Campagne 2-3 août 2011 (axe des abscisses : km) [Source : CG66, 2011]



Dans le cadre du projet DEM'EAUX ROUSSILLON, une nouvelle campagne de jaugeages a été réalisée sur la période du 11 au 14 septembre 2017 sur la Têt, ses affluents et les canaux d'irrigation.

Cette campagne incluait :

- Des mesures de débits sur la Têt, sur les affluents, et sur les canaux à proximité des prises d'eau : ces mesures sont analysées dans la suite du document.
- Des mesures de débits sur les canaux au niveau de passage au-dessus des couches d'alluvions ;
- Des mesures de chimies de l'eau en chaque site ;

Ces mesures sont analysées dans un autre rapport du projet DEM'EAUX ROUSSILLON.

Dans la suite de ce chapitre, **nous proposons d'analyser en grand et de manière homogène** (même hypothèses ; sites de mesures) **l'ensemble des résultats des campagnes de jaugeages disponibles, issus de l'EVP Têt, l'étude CG66-2011 et le projet DEM'EAUX ROUSSILLON.**

Notons que cela comporte des difficultés et limites, dans la mesure où les protocoles et sites de mesure ont légèrement varié pour chaque étude. Nous en tiendrons compte dans l'interprétation des résultats et incertitudes.

### 4.3.2 Cadre d'analyse

Il s'agit de disposer d'un cadre de lecture commun pour toutes les études, permettant de proposer des estimations des grands flux d'eau à l'échelle du bassin de la Têt.

Nous considérons les points suivants :

- **Sur la Têt**, prise en compte des débits mesurés :
  - En entrée du système : Vinça
    - On considèrera le débit à **Rodès + le canal de Corbère**.  
(Le canal de Corbère prélève directement sur la retenue de Vinça).
  - Au point bas de la Têt, en termes de débits : **Au droit de la station d'Ille sur Têt** : aval prise du canal de Millas. Notons que le point « T6 » sur la Têt – point nodal de l'EVP- est situé à l'aval de la première décharge du canal de Millas. Des précisions sur ce point sont apportées dans le paragraphe suivant
  - En sortie du système : **Perpignan**.  
Notons que l'étude CG66 considère le site de Villelongue des Salanques comme point de sortie. Cependant, sur ces campagnes, nous observons des écarts jusqu'à 1 m<sup>3</sup>/s entre Perpignan et Villelongue, qui a priori ne s'expliquent pas par des retours des canaux, mais d'autres raisons : Step de Perpignan, apport de la Basse,... En outre, des mesures à ce point ne sont pas disponibles pour tous les jaugeages.  
Le point de Perpignan (mesure à la station hydrométrique Pont Joffre) est donc retenue.
- **Sur les canaux, dans la mesure du possible**, nous considérons les **débits à proximité des prises d'eau et en aval de la première décharge, afin de rendre compte des volumes effectivement prélevés par les canaux.**

Cependant, pour certaines campagnes, **il n'est pas systématiquement possible de considérer les débits aval décharge, ce qui introduit un biais dans l'analyse.**

Cela est aussi précisé dans le paragraphe ci-après.

NB : le canal de Corbère est inclus dans l'analyse comme suit :

- « Débit Vinça » = sortant barrage = Débit(Rodés) + Débit canal de Corbère (données barragiste) ;

- « Somme des prélèvements des canaux » : inclut le débit du canal de Corbère.

#### BILAN DES FLUX « VU DU FLEUVE TET »

Sur la base de ces jaugeages, nous proposons dans la suite le calcul suivant :

Figure 26 : Bilan des flux « vu du fleuve Têt »

$$\begin{aligned} \text{Perte d'écoulement observée sur la Têt (débit aval – débit amont)} = \\ \text{Prélèvements bruts des canaux (aval décharge)} \\ - \text{Apport des affluents} \\ - \text{Retours à la rivière (+/- échanges nappes/rivières)} \end{aligned}$$

Cette approche permet ainsi d'évaluer les retours à la rivière de l'eau d'irrigation à un instant t.

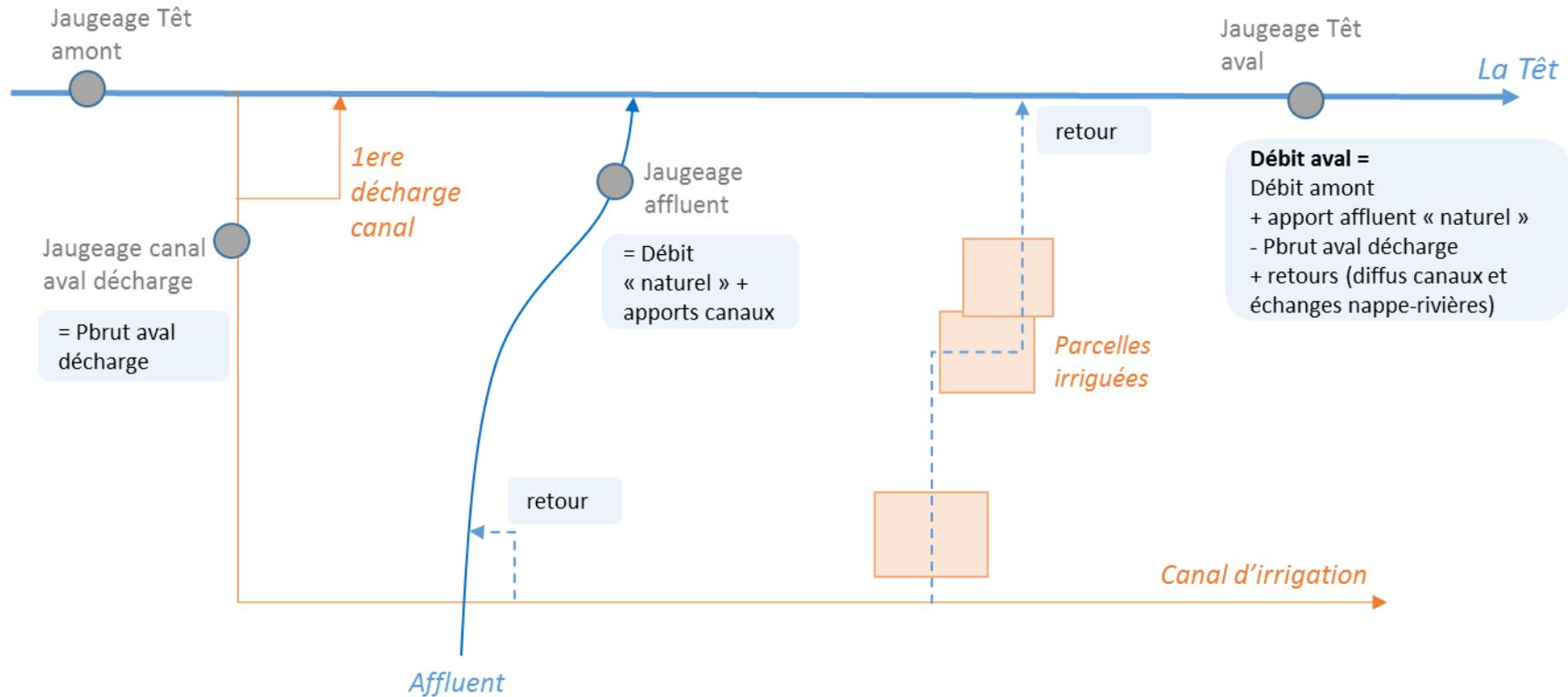
On considère ici **les retours à la rivière aval décharge, c'est-à-dire les retours d'eau diffus qui se font sur le bassin versant**, via des ruissellements (via parcelles, aiguilles, cours d'eau intermittents, etc...) ou des écoulements de sub-surfaces.

**Il s'agit ici d'un bilan « vu de la rivière Têt ».**

Indiquons également que **des échanges nappes-rivières peuvent jouer dans ce bilan** (alimentation de la rivière par la nappe ou de la nappe par la rivière) mais ne peuvent pas être quantifiés par cette seule approche. Ils seront donc inclus dans le terme « retours à la rivière » quantifié ici.

La figure page suivante représente de manière schématique ce bilan des flux.

Figure 27 : Bilan des flux « vu de la rivière Têt » (chapitre 4)



### 4.3.3 Précisions sur les termes du bilan et sources d'incertitude

L'évaluation de certains termes du bilan présentent des limites et incertitudes, détaillées ci-après.

#### 4.3.3.1 Prise en compte des 1<sup>ère</sup> décharges des canaux

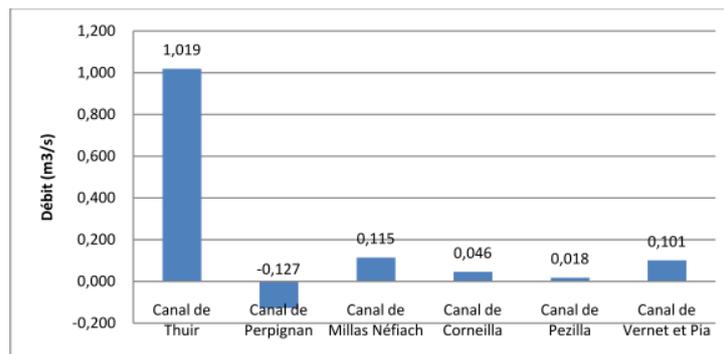
La régulation des débits prélevés par les canaux se fait par :

- La régulation au niveau de la prise ;
- La régulation au niveau de la première décharge, située généralement quelques dizaines de mètres après la prise, et qui permet de réguler le débit prélevé par le canal.

Le débit de restitution à la rivière au niveau de la première décharge peut être important pour certains canaux.

L'étude CG66-2011 a jaugé les canaux à l'amont et l'aval des premières décharges afin d'estimer ces débits de restitution direct. Le graphique ci-dessous donne les résultats moyens issus de 4 campagnes de jaugeages de l'été 2011. Pour le canal de Thuir, les mesures indiquait des restitutions directes de l'ordre de 1 m<sup>3</sup>/s.

Figure 28 : Restitution des canaux au niveau des premières décharges- moyennes de 4 campagnes de jaugeages en aout 2011 (Source : Etude CG66 – 2011)



Les débits effectivement prélevés par les canaux et qui transitent ensuite sur le bassin versant sont donc les débits aval décharge.

Ceci étant, sur les 8 campagnes de jaugeages considérées ici, certaines ne permettent pas de connaître les débits aval décharge pour tous les canaux. Dans certains cas, minoritaires, seule la donnée amont décharge est disponible, introduisant un biais dans l'analyse.

Ceci peut donc introduire une incertitude dans les résultats, que nous prenons en compte dans la suite des calculs.

#### Cas du point T6 - Aval Prise Millas

En outre, dans les termes du bilan, il s'agit également de considérer les débits de la Têt en aval des décharge, afin de prendre en compte les débits prélevés effectivement par les canaux.

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

Notons cependant que la station hydrométrique actuelle se situe entre la prise et la décharge du canal de Millas. De même, parmi les jaugeages des 8 campagnes disponibles, on ne dispose pas systématiquement d'une mesure aval décharge du canal de Millas.

Cela introduit également une incertitude qui sera prise en compte dans la suite de l'analyse.

Notons que 5 campagnes ont réalisé des mesures sur le canal amont et aval décharge. Les écarts entre ces deux valeurs pour ces deux points vont de -90 l/s à +300 l/s, avec une moyenne à +90 l/s pour les 5 mesures réalisées.

#### 4.3.3.2 *Prise en compte des affluents*

Comme évoqué plus haut, en été, les débits mesurés dans les affluents peuvent avoir deux origines :

- Les apports « naturels » des affluents ;
- Les apports issus des canaux d'irrigation (via des ruissellements ou échanges nappes/rivières).

Les données actuellement disponibles ne permettent pas de quantifier la part de chacune de ces origines de l'eau. Pour appliquer le bilan des flux présenté plus haut, il s'agit de considérer uniquement la part « naturelle » des affluents.

Nous prendrons en compte ces sources d'incertitude dans la suite des calculs via des tests de sensibilité. Avec 3 hypothèses :

- Hypothèse principale : apports « naturels » = 40% des débits mesurés
- Hypothèses haute : apports « naturels » = 100% des débits mesurés
- Hypothèse basse : apports « naturels » = 0% des débits mesurés

#### 4.3.3.3 *Autres sources d'incertitudes*

Outre les sources d'incertitude citées plus haut, citons également :

- L'incertitude sur les jaugeages : on s'attend à des incertitudes de l'ordre de 7% en bonnes conditions de jaugeages ; 15 à 20% en conditions de jaugeage moyenne.  
Cela peut influencer les résultats obtenus. En outre, les incertitudes se combinent lorsque l'on additionne et soustrait les débits.
- L'incertitude des débits mesurés aux stations hydrométriques (Rodès et Perpignan).
- L'incertitude liée aux variations de débits au cours de la campagne de jaugeage.
- Lorsque l'on réalise une soustraction entre deux débits élevés pour obtenir un débit plus faible, on produit un résultat très incertain ; cela est à prendre en compte dans les analyses.

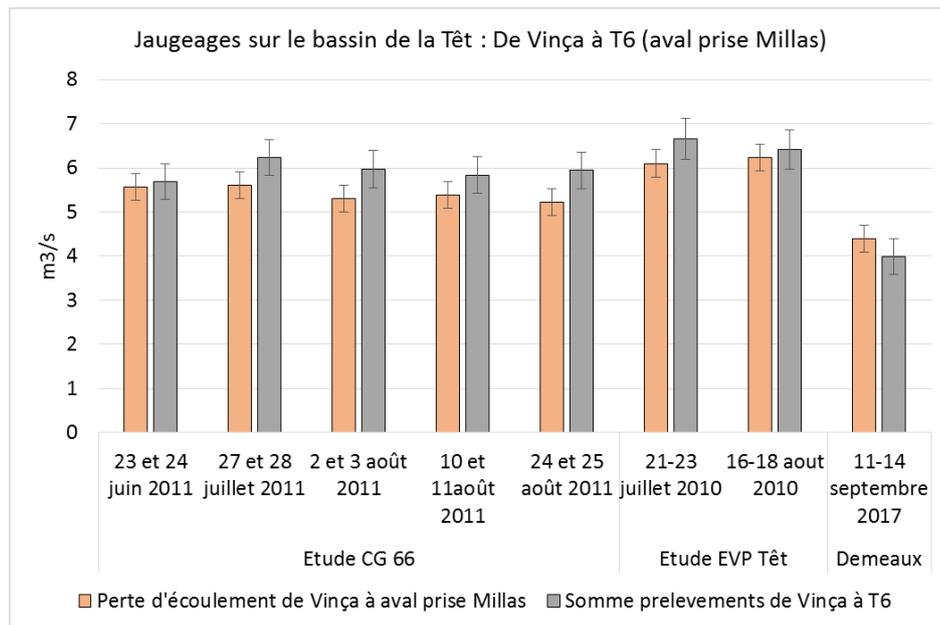
### 4.3.4 Résultats

#### 4.3.4.1 *De Vinça à T6 (aval prise Millas)*

Nous comparons ci-dessous :

- La perte d'écoulement de la Têt mesurée entre Vinça et l'aval de la prise du canal de Millas ;
- La somme des prélèvements bruts des canaux sur ce tronçon.

Figure 29 : Variations de débits de Vinça à aval prise Millas sur la Têt



Ces résultats montrent que la perte d'écoulement entre Rodes et T6 représente 88 à 100% des prélèvements des canaux sur ce tronçon.

L'écart entre la perte d'écoulement et la somme des prélèvements est de l'ordre de grandeur de l'incertitude.

Les retours d'eau vers la rivière se font en aval de T6, comme montrés par les précédentes études, et par le paragraphe suivant.

#### 4.3.4.2 De Vinça à Perpignan

Nous représentons par le graphique ci-après :

- Les pertes d'écoulement entre Vinça et Perpignan ;
- La sommes des prélèvements en eau des canaux (aval décharge) sur ce tronçon.

##### Méthode et incertitudes

La perte d'écoulement est calculée comme suit :

- Valeur intermédiaire :  $Perte = Q(\text{Perpignan}) - Q(\text{Vinça}) - 0.4 * \text{Apports-affluents}$  ; comme évoqué précédemment.

Rappelons que l'on considère ici  $Q_{\text{Vinça}} = Q_{\text{Rodès}} + \text{Canal Corbère}$ . C'est-à-dire, on considère les débits sortants du barrage.

- Incertitude :
  - Valeur basse : Incertitude de 10% sur les débits stations. Et hypothèse apports affluents = 90% naturels.
  - Valeur haute : Incertitude de 10% sur les débits stations. Et hypothèse apports affluents = 10% naturels.

Une incertitude

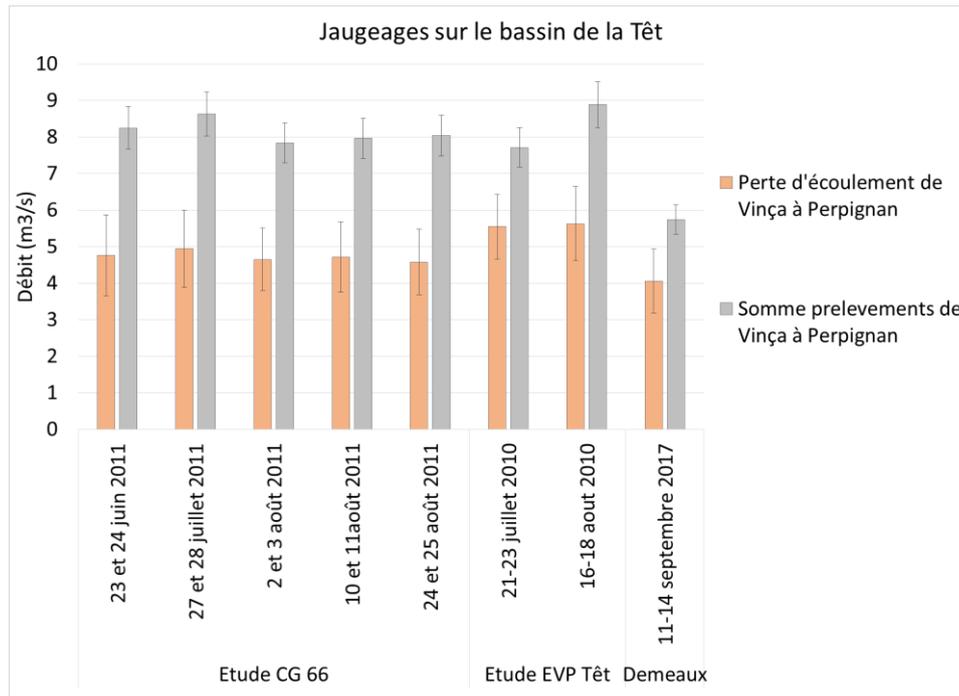
Les débits mesurés sur les affluents sont de l'ordre de 0 à 2 m<sup>3</sup>/s ; soit une incertitude de l'ordre de 0.5 m<sup>3</sup>/s.

Les débits mesurés à Rodès sont de 4 à 6.5 m<sup>3</sup>/s, soit une incertitude de l'ordre de 0.4 m<sup>3</sup>/s.

Pour la **somme des prélèvements en eau des canaux**, une incertitude globale de 7% est appliquée ; soit une incertitude de l'ordre de 0.4 m<sup>3</sup>/s.

## Résultats

Figure 30 : Variations de débits de sortie Vinça à Perpignan



Suivant les campagnes, les résultats indiquent que les pertes d'écoulement mesurées entre Vinça et Perpignan représentent 60 à 70% des volumes prélevés par les canaux.

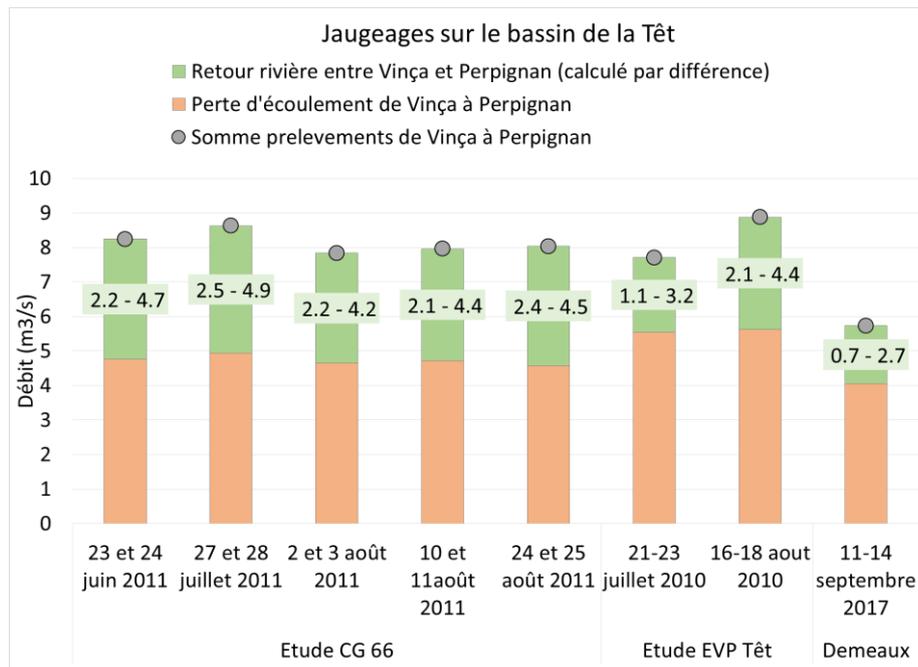
La différence correspond à des retours vers la rivière (retours superficiels diffus et retours de la nappe vers le cours d'eau).

**Ces retours à la rivière représentent des débits de 2 à 5 m<sup>3</sup>/s pour les campagnes de jaugeage réalisées, avec des incertitudes de l'ordre de 1 m<sup>3</sup>/s.**

L'incertitude est calculée comme la combinaison (la somme quadratique) des incertitudes des deux termes précédents.

Le graphique qui suit représente ce bilan des flux à l'échelle du bassin entre Vinça et Perpignan. Les étiquettes donnent la plage de valeurs pour les débits de retours à la rivière.

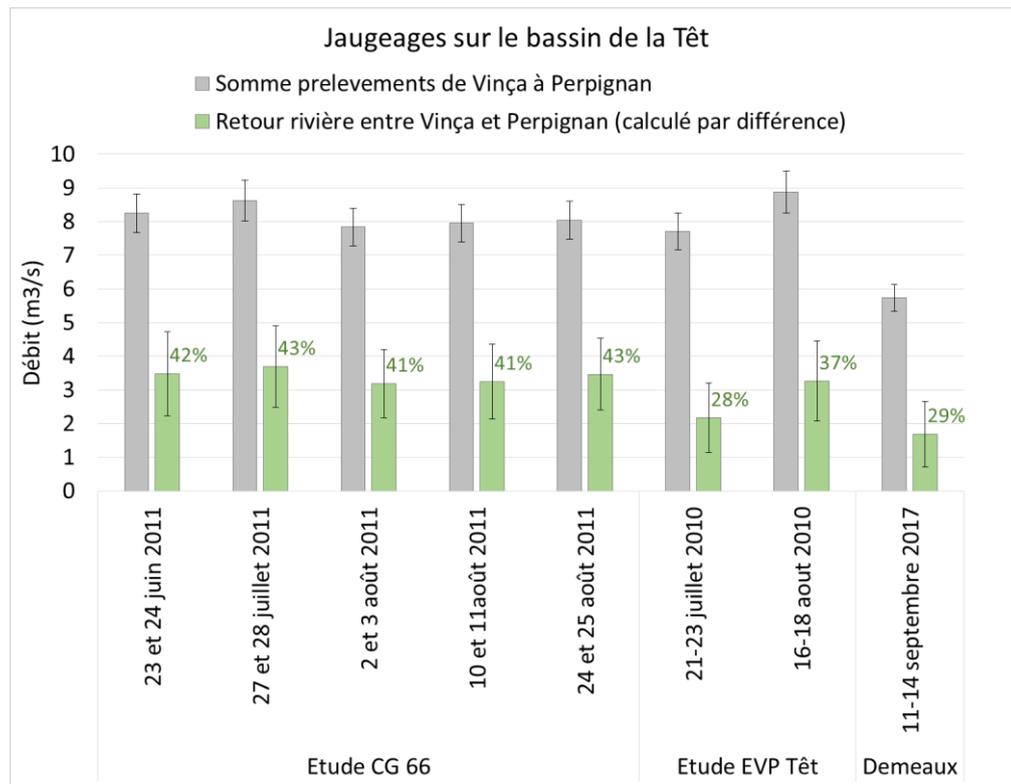
Figure 31 : Bilan des flux vus de la Têt – de Vinça à Perpignan



Le graphique qui suit compare ces débits de « retours rivières » aux débits de prélèvements des canaux sur la Têt pour chaque campagne de jaugeage.

Il montre que **les retours à la rivière sont de l'ordre de 30 – 45 % des prélèvements en eau des canaux d'irrigation, pour les campagnes de jaugeage réalisées.**

Figure 32 : Estimation des retours d'eau d'irrigation – de Vinça à Perpignan



## 4.4 PEUT-ON ESTIMER DES CHRONIQUES DE RETOUR A LA RIVIERE ?

Il serait intéressant de pouvoir prolonger la démarche proposées plus haut à partir des données de jaugeages, pour des chroniques de débits sur une période de plusieurs années.

Autrement dit, il s'agirait d'effectuer le bilan de flux suivant pour le fleuve Têt, sous la forme de chroniques :

$$Q[\text{Perpignan}] = Q[\text{Vinça}] + \text{Apports affluents} - \text{Pbrut} + \text{Retours[rivière]} \pm \text{échanges nappes-rivière}$$

Cependant, ce calcul de bilan de flux se heurte à plusieurs limites et incertitudes :

- **Incertitudes sur les débits mesurés à Perpignan et Vinça.**

Ex : pour un débit de 10 m<sup>3</sup>/s à Perpignan ; une incertitude de 15% (incertitude commune sur une station hydrométrique) induit une incertitude de 1.5 m<sup>3</sup>/s. **Ceci est de l'ordre de grandeur du terme recherché** (terme « Retours »).

- Incertitude et lacune des données de prélèvements bruts des canaux. On dispose en effet de données des débits prélevés par les canaux sur la période 2000-2009 principalement.

**Sur les années récentes 2009-2018, les données sont très hétérogènes suivant les canaux, et ne permettent le prélèvement brut global pour l'irrigation.** Les données sont en particulier très limitées ou absentes pour les canaux de Thuir, Corneilla, Vernet et Pia, 4 Cazals, las Canals.

- **Méconnaissance des apports des affluents de la Têt entre Vinça et Perpignan : cela est détaillé plus bas : c'est la limite principale de ce calcul.**

- Ajoutons que les échanges nappes-rivières peuvent influencer ce bilan en eau.

Nous proposons donc d'aborder cette approche sur la période 2000-2009 (en l'absence de données canaux suffisantes sur les années récentes), et avec prudence compte tenu des incertitudes citées plus haut.

### 4.4.1 Analyse en période estivale

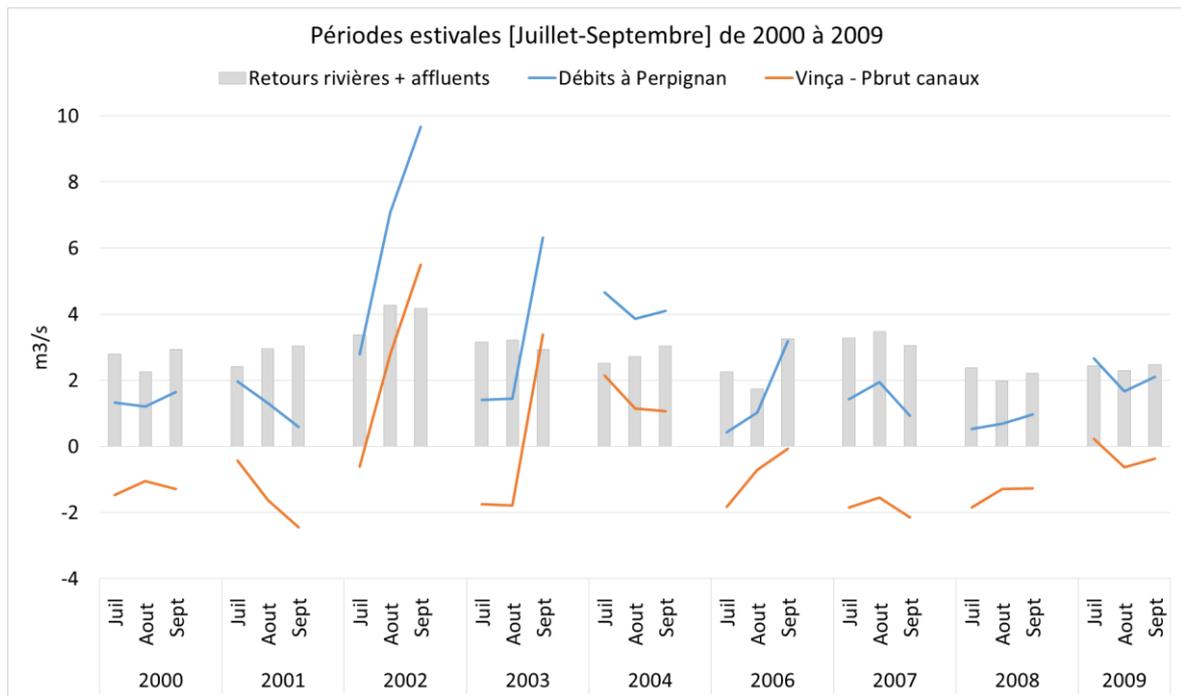
Dans un premier temps, on réalise le calcul en période estivale juillet-septembre.

Cela permet de s'affranchir globalement de l'estimation de l'apport des affluents, si l'on considère que ces apports sont négligeables sur cette période.

En effet, les observations montrent que les affluents de la Têt sont souvent à sec ou présentent des débits très faibles (< 100 l/s) en été.

Le graphique ci-après présente les résultats sur la période 2000-2009 (hors année 2005 pour laquelle les données canaux sont insuffisantes).

Figure 33 : Bilan des flux sur le bassin de la Têt aval Vinça – sur les mois de Juillet à septembre [2000-2009]



Si l'on néglige l'apport des affluents sur cette période, on aboutit à une estimation du terme « Retours rivières » de l'ordre de 2 à 4 m<sup>3</sup>/s en moyenne sur la période juillet-septembre pour les années 2000-2009.

Les résultats détaillés sont donnés ci-après.

Figure 34 : estimation des « retours rivière » en période estimation sur le bassin de la Têt aval Vinça (m<sup>3</sup>/s)

Annee		Prélèvements bruts canaux	Débit à Vinça + Corbère	Débits à Perpignan	Vinça - Pbrut canaux	Retours rivière + affluents
2000	Juil	8.4	6.9	1.3	- 1.5	2.8
	Aout	8.3	7.2	1.2	- 1.1	2.3
	Sept	7.7	6.4	1.6	- 1.3	2.9
2001	Juil	6.9	6.5	2.0	- 0.4	2.4
	Aout	9.0	7.4	1.3	- 1.6	2.9
	Sept	7.9	5.4	0.6	- 2.4	3.0
2002	Juil	8.5	7.9	2.8	- 0.6	3.4
	Aout	7.8	10.6	7.1	- 2.8	4.3
	Sept	7.4	12.9	9.7	- 5.5	4.2
2003	Juil	8.3	6.5	1.4	- 1.8	3.2
	Aout	8.2	6.4	1.4	- 1.8	3.2
	Sept	7.4	10.7	6.3	- 3.4	2.9
2004	Juil	8.0	10.2	4.7	- 2.1	2.5
	Aout	8.1	9.2	3.9	- 1.2	2.7
	Sept	7.3	8.4	4.1	- 1.1	3.0
2006	Juil	8.2	6.4	0.4	- 1.8	2.3
	Aout	7.3	6.6	1.0	- 0.7	1.7
	Sept	6.7	6.6	3.2	- 0.1	3.3
2007	Juil	8.4	6.5	1.4	- 1.8	3.3
	Aout	7.5	6.0	1.9	- 1.5	3.5
	Sept	7.0	4.9	0.9	- 2.1	3.1
2008	Juil	8.5	6.6	0.5	- 1.8	2.4
	Aout	7.8	6.6	0.7	- 1.3	2.0
	Sept	7.1	5.8	1.0	- 1.3	2.2
2009	Juil	8.5	8.7	2.7	- 0.2	2.4
	Aout	8.1	7.5	1.7	- 0.6	2.3
	Sept	7.5	7.1	2.1	- 0.4	2.5

En considérant une incertitude de 10% sur les débits des prélèvements bruts des canaux, de Vinça, et de Perpignan, on obtient une incertitude sur le terme « Retours rivières + affluents » de l'ordre de 1 m<sup>3</sup>/s pour la période estivale 2000-2009.

Autrement dit, on obtient une incertitude de 35 à 50% sur les débits « retours rivières + affluents » ainsi obtenus.

#### 4.4.2 Analyse sur les années complètes – Incertitudes

##### ANALYSE DES DEBITS DE LA TET AMONT ET AVAL

Dans un premier temps, nous pouvons étendre et analyse le graphique présenté plus haut pour toute la chronique 2000-2009.

Dans ce cas, les barres grisées représente le terme [affluents + retours rivières], avec :

- En été : les retours rivières majoritaires, de l'ordre de 2-4 m<sup>3</sup>/s ;
- Hors saison d'irrigation : part des apport influents non négligeable.

La figure ci-après présente ce graphique et son analyse.

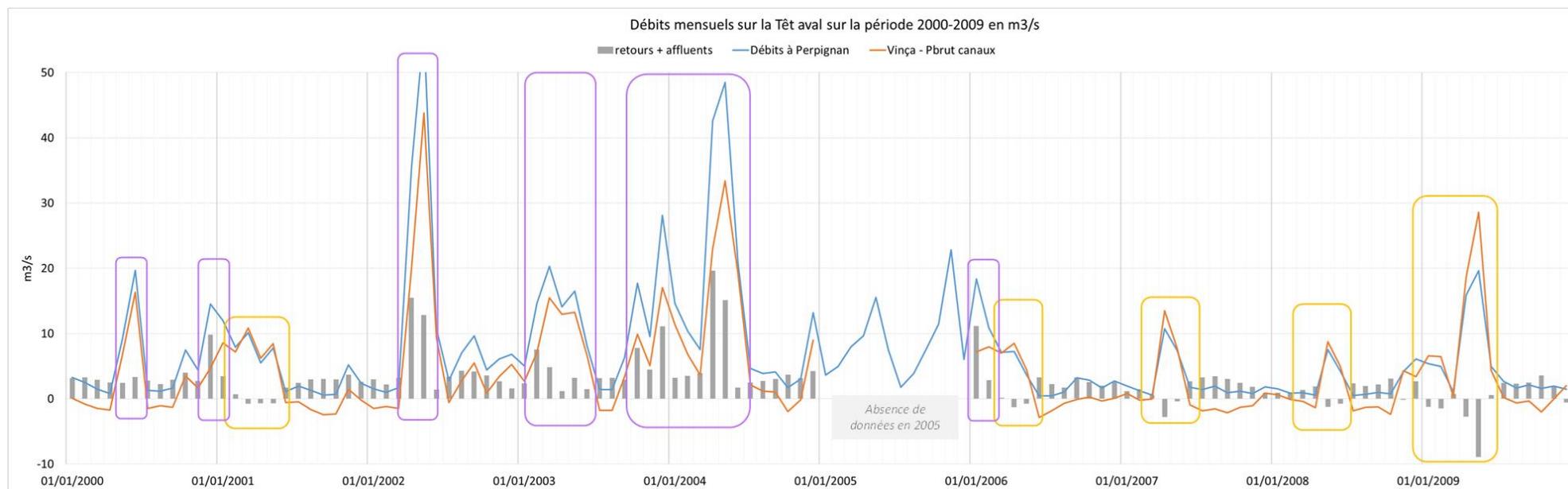
Ce graphique montre que, en période estivale, l'estimation du terme {Retours + affluents} par ce calcul n'est pas concluant, compte tenu de l'incertitude liées aux débits mesurés (Vinça, Perpignan, Canaux) :

- On trouve des situations pour lesquelles le débit à Perpignan est inférieur au débit [Vinça – Prélèvements des canaux]. On peut supposer que cette incohérence est due à l'incertitude sur les mesures de débits. Ce résultat négatif ne permettra pas de quantifier les retours rivière sur cette période.
- On trouve également des situations pour lesquelles les débits à Perpignan et Vinça sont compris entre 15 m<sup>3</sup>/s et 50 m<sup>3</sup>/s. Pour cette gamme de débit, en considérant une incertitude de 15% (valeur usuelle pour des stations hydrométriques), l'incertitude absolue sur les débits est de l'ordre de 2.2 à 7 m<sup>3</sup>/s.

On a alors une incertitude supérieure au terme recherché : les retours rivières étant compris entre 1 et 3 m<sup>3</sup>/s sur ces périodes (débits prélevés de l'ordre de 3-4 m<sup>3</sup>/s hors période estivale).

A nouveau, pour ces situations, il n'est pas possible de quantifier les retours rivière.

**Ces situations sont encadrées en orangé et violet sur le graphique ci-après : elles représentent une part importante de la chronique hors période estivale.**

Figure 35 : Comparaison des débits de la Têt à Vinça et Perpignan sur la période 2000-2009, en m<sup>3</sup>/s

  Vinça – Pbrut canaux > Perpignan => dû à une incertitude sur la donnée débit Vinça ou Perpignan ?. **Pas de résultat possible sur ces périodes**

  Débits à Vinça et Perpignan supérieurs à 15 m<sup>3</sup>/s. En supposant une incertitude de 15% sur ce débit station => incertitude de 2.2 m<sup>3</sup>/s => incertitude de l'ordre du terme recherché « retour canaux »  
**Pas de résultat possible sur cette période.**

## CONNAISSANCE DES APPORTS DES AFFLUENTS

Pour compléter le raisonnement, nous cherchons à évaluer les apports des affluents entre Vinça et Perpignan.

L'analyse des données hydrométriques montre que :

- Seule deux stations hydrométriques sont en fonctionnement sur les affluents de la Têt aval Vinça (voir carte en début de chapitre) :
  - La station de la Basse à Perpignan. Cependant ces débits sont influencés par les retours canaux de 4 Cazals, Thuir et Las Canals en particulier. Ces données ne permettent donc pas une estimation juste des apports « naturels » des affluents.
  - De même, les débits du Boules à Ille sur Têt sont fortement influencés par les retours des canaux, incluant les décharges volontaires, et ne permettent donc pas de d'estimer les apports naturels hydrologiques.
- Des données anciennes (1977-1990) existent pour deux stations (voir carte en début de chapitre) :
  - La Basse à Perpignan – ancienne station. Elle est cependant influencée par les apports des canaux amont, ce qui rend la donnée peut utilisable ici.
  - Le Boulès à Casefabre. Ce bassin versant est a priori non influencés par les canaux. En revanche, il s'agit d'un bassin amont, présentant :
    - Une influence nivale ;
    - Des débits en période estivale de l'ordre de ....

Notons que, pour plusieurs affluents de la Têt, on observe parfois des écoulements aval nuls ou inférieurs aux débits amonts, qui peuvent s'expliquer par des écoulements de sub-surfaces (nappe alluviale).

### **Aussi les écoulements du Boulès à Casefabre sont peu représentatifs des apports intermédiaire à la Têt entre Vinça et Perpignan.**

En outre, les affluents de la Têt aval Vinça sont marqué par un régime hydrologique très variable, avec des débits moyens très faibles, et des épisodes de crues forts de quelques jours.

### **En conséquence, utiliser de telles données pour caler une modélisation pluie-débit sur l'ensemble du bassin intermédiaire de la Têt de Vinça à Perpignan engendrerait une incertitude très élevée sur ces débits.**

A titre d'exemple : en période de hautes eaux, pour des apports mensuels de l'ordre de 10 m<sup>3</sup>/s sur le bassin intermédiaire, avec une incertitude de modélisation de 30% a minima (compte tenu des limites présentées plus haut), on obtient une incertitude de débit de 3 m<sup>3</sup>/s.

**Cette incertitude est supérieure au terme recherché (retours rivière).**

## CONCLUSION

Compte tenu de l'ensemble des limites et incertitudes citées plus haut, le calcul de bilan

« Retour rivières = Q[Perpignan] – Q[Vinça] – Apport affluents + Pbrut »

Ne peut pas être établi pour évaluer une chronique de retours rivière hors période estivale.

## 5. RESULTATS SUR LES BILANS DES FLUX DES CANAUX DE LA TET

Il est à ce stade possible de croiser les deux approches :

- **Bilan mensuel sur le système « CANAUX » - détaillé dans le rapport P9.**

$$\text{Pbrut (canaux)} = \text{Besoin en eau (évapotranspiration)} + \text{Transfert vers extérieur bassin} \\ + \text{Retours \{nappe + rivière\}}$$

- **Bilan mensuel ou ponctuel sur le système « FLEUVE TET » - détaillé dans le présent rapport P11.**

$$\text{Q(Perpignan)} = \text{Q(Vinça)} + \text{Apports affluents} - \text{Pbrut (canaux)} \\ + \text{Retours\{rivières\} et interaction nappe-rivière}$$

Il est alors possible de comparer, sur la période estivale :

- **Les estimations « retours nappe + rivière »** (issues du bilan « CANAUX » : voir rapport P9)
- **Les estimations « retour rivière »** (issues du bilan « Fleuve Têt »)

**Afin d'évaluer les contributions des canaux d'irrigation gravitaire de la Têt aux nappes, en période estivale (mois de juillet-septembre) pour la période 2000-2009.**

On croise ici les différentes hypothèses citées précédemment, afin de tenir compte de l'incertitude :

- Estimation « retours nappe + rivière » : Hypothèses hautes et basses (voir rapport P11) ;
- Estimation « retours rivière » : incertitude considérée de 35% (voir plus haut).

Le résultat est présenté par les figures qui suivent. Ces figures montrent successivement :

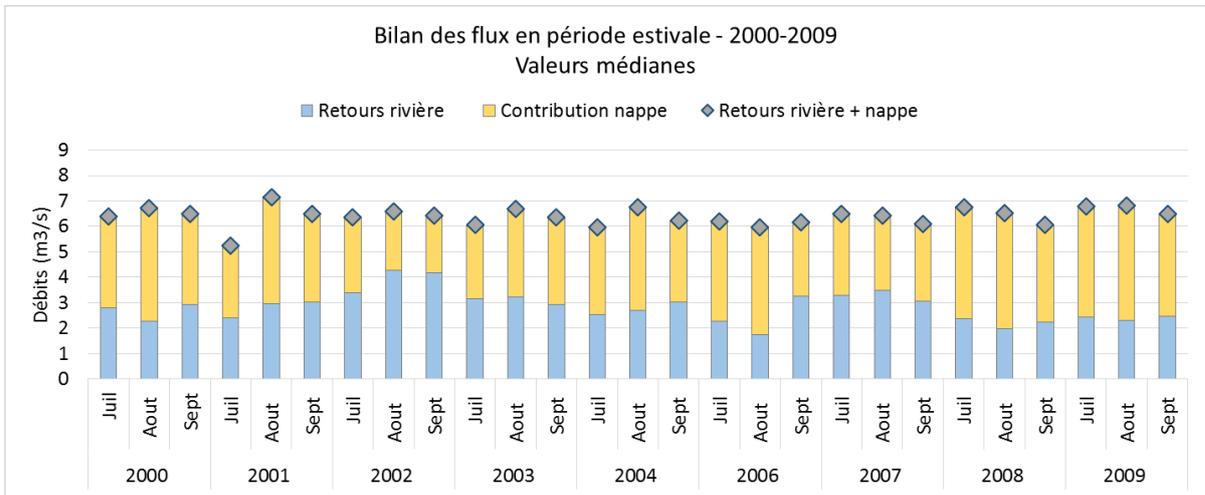
- Les résultats pour les valeurs médianes ;
- Les résultats pour des valeurs « hautes » de contribution à la nappe (en combinant les incertitudes) ;
- Les résultats pour des valeurs « basses » de contribution à la nappe (en combinant les incertitudes).

Rappelons que l'on travaille ici uniquement sur le bassin de la Têt (et non sur l'ensemble du périmètre de la nappe plioQuaternaire).

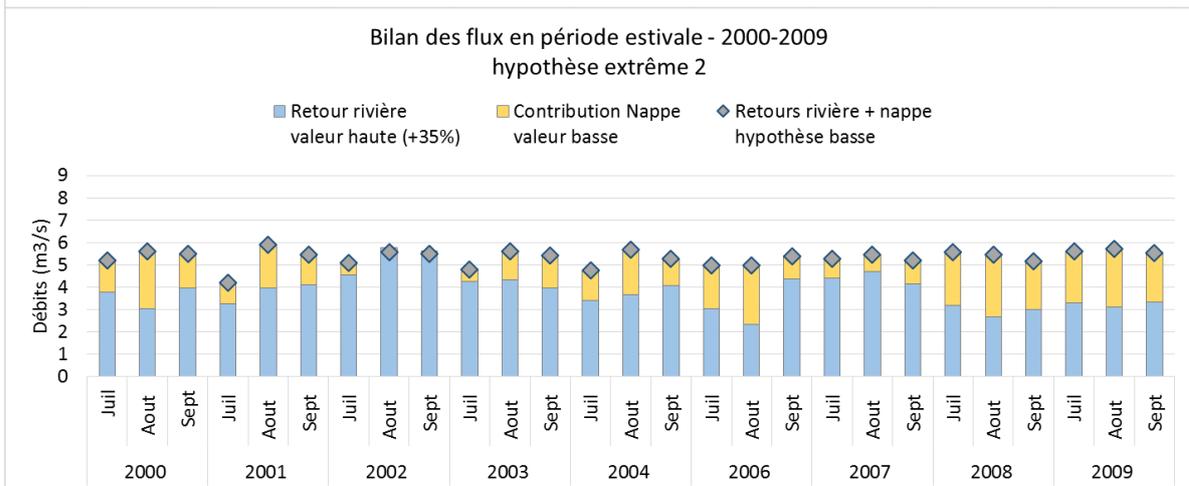
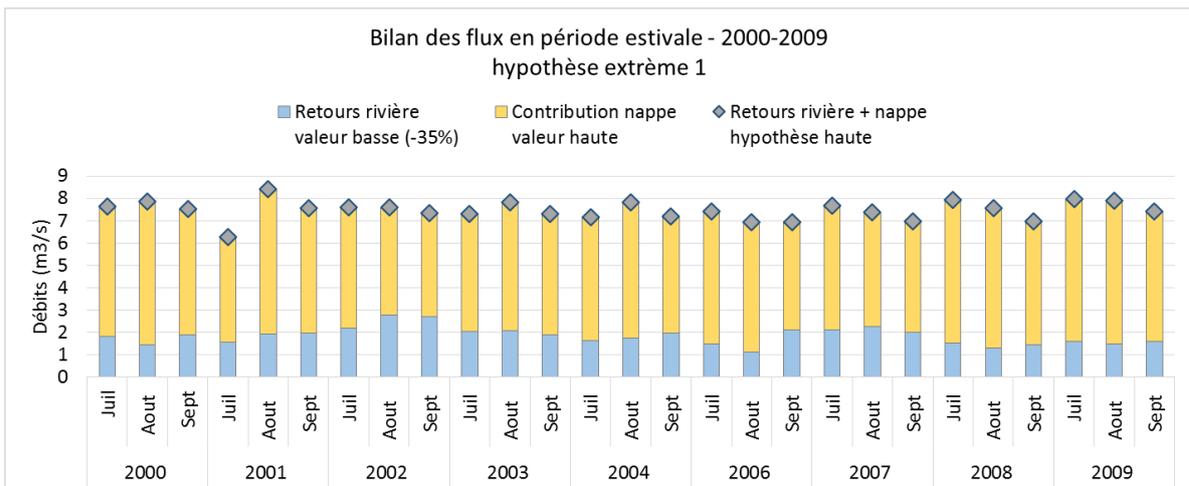
**Cet exercice amène à estimer des « contributions nappe » de l'ordre de 2 à 5 m<sup>3</sup>/s en période estivale. Cela représente 20 - 60% des prélèvements bruts des canaux.**

Figure 36 : Estimation des retours moyens des flux d'irrigation vers la rivière la nappe sur le bassin de la Têt (2000-2009).

a/ Valeurs médianes



b/ Valeurs hautes et basses (encadrement de l'incertitude)



**Le schéma ci-après donne une vision de synthèse, en ordre de grandeur et en moyenne, des flux estimés ci-dessous, pour le bassin de la Têt et en période estivale.**

**Rappelons que ce schéma donne une vision moyenne, et sur la période 2000-2009. Il ne rend pas compte des variations interannuelles et intra-annuelles.**

#### Des changements ces 15 dernières années

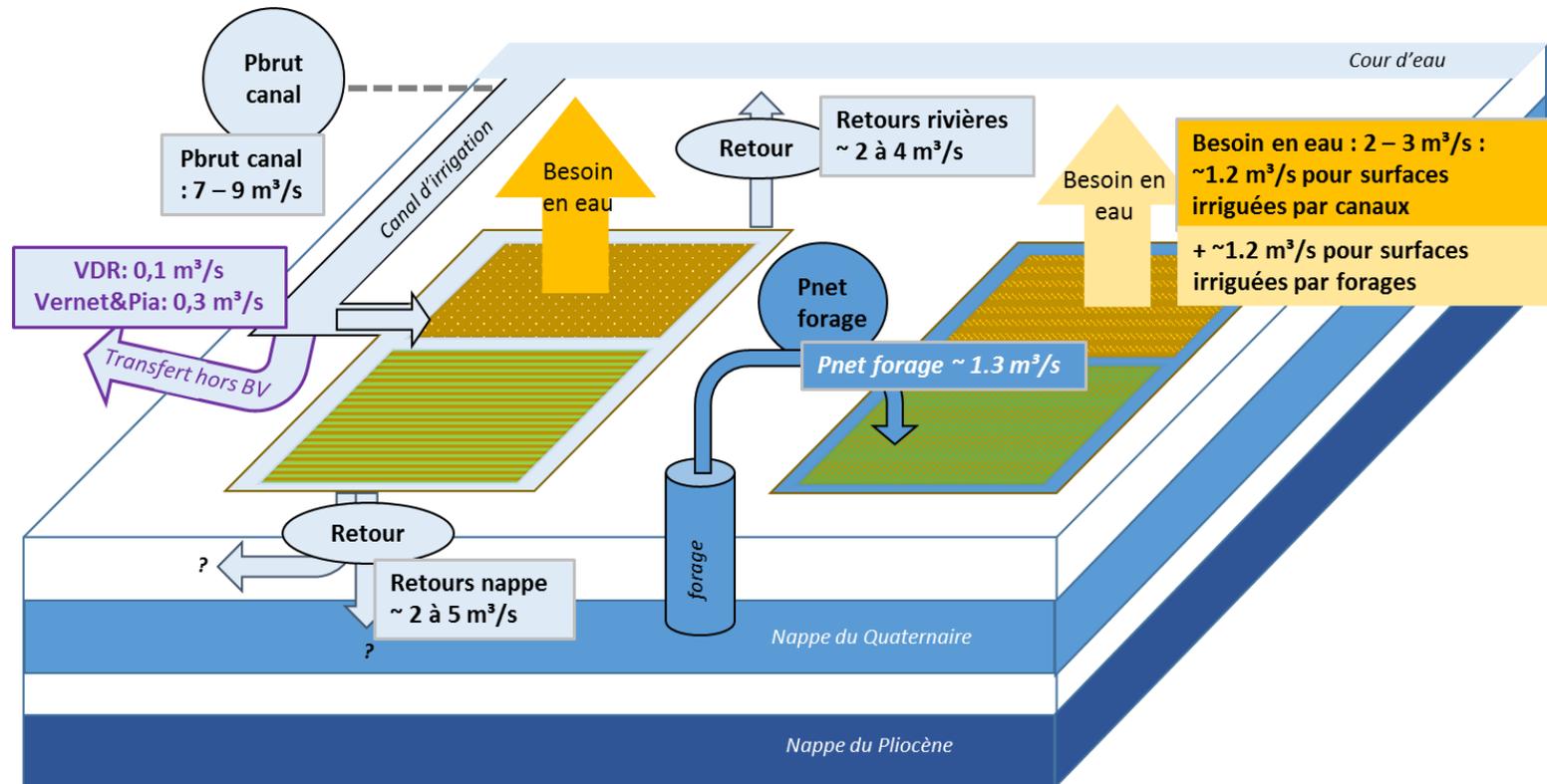
Le bilan proposé ici se base sur la période 2000-2009, car c'est la seule période disposant de données suffisantes concernant les débits prélevés par les canaux d'irrigation de la Têt.

Notons cependant qu'au cours des 10 dernières années, plusieurs changements ont eu lieu et peuvent influencer ce bilan en eau :

- Des changements d'assolement : réduction des surfaces en vergers notamment ;
- Des changements dans la gestion des canaux et les débits prélevés par certains canaux, notamment en vue de respecter le débit réservé au point T6 (aval de la prise du canal de Millas). Le canal de Corbère a réduit ses prélèvements en eau, notamment sur la période hivernale. Il n'est cependant pas possible de savoir si les autres canaux ont réduit ou non leur prélèvements, compte tenu du manque de données disponibles.
- Des changements de pratiques d'irrigation ;
- Le cuvelage de certaines parties des linéaires de canaux ;
- Etc.

Figure 37 : Evaluation en ordre de grandeur et en moyenne du bilan des flux d'irrigation sur le bassin de la Têt en période estivale juillet-septembre. (Moyenne 2000-2009)

Débits équivalents moyens pour la période juillet-septembre. Moyenne 2000-2009.



## 6. BIBLIOGRAPHIE

AERMC, 2015. Création du Syndicat mixte du bassin versant de l'Agly. Disponible sur Internet: [http://www.sauvonsleau.fr/jcms/e\\_8916/creation-du-syndicat-mixte-du-bassin-versant-de-l-agly](http://www.sauvonsleau.fr/jcms/e_8916/creation-du-syndicat-mixte-du-bassin-versant-de-l-agly) [Consulté le 31/08/2017].

AERMC, 2017. Le SDAGE du bassin Rhône-Méditerranée. Disponible sur Internet: <http://www.eaurmc.fr/le-bassin-rhone-mediterranee/le-sdage-du-bassin-rhone-mediterranee.html> [Consulté le 31/08/2017].

Anon, Etude globale du canal d'Ille. Charte d'objectif.

Anon, Plan de gestion de la ressource du canal de Corbère. 7 p.

ASA du canal de BOHERE, 2014. Synthèse enjeux et objectifs. ASA du canal de BOHERE, 18 p.

ASA du canal de CERET, 2017. Etude globale du canal de CERET. Phase 3 : programme d'action. ASA du canal de CERET.

Aunay B., 2007. Apport de la stratigraphie séquentielle à la gestion et à la modélisation des ressources en eau des aquifères côtiers. Montpellier 3, Montpellier, 418 p.

Berard P., Juncy G., Villeneuve J., 1990. Réalimentation de la nappe alluviale dans le secteur du champ captant de Mas Conte. Etude préféabilité. BRGM. Montpellier, BRGM, 95 p.

Biscaldi R., 2006. Roussillon. In: Aquifères et eaux souterraines en France. 2006<sup>e</sup> éd. Orléans, BRGM, pp. 516-522.

BRLi, 2012a. Etude de détermination des volumes prélevables maximums du bassin versant de la Têt. Phase 1 et 2 : Caractérisation des sous-bassins et aquifères - bilan des prélèvements existants et analyse de l'évolution. AERMC, 161 p.

BRLi, 2012b. Etude de détermination des volumes prélevables maximums du bassin versant de la Têt. Phase 3 : Quantification des ressources existantes et impact des prélèvements. AERMC, 100 p.

BRLi, 2012c. Etude de détermination des volumes prélevables maximums du bassin versant de la Têt. Phase 4 : Détermination des débits minimum biologiques. AERMC, 70 p.

BRLi, 2012d. Etude de détermination des volumes prélevables maximums du bassin versant de la Têt. Phase 5 : Détermination des volumes prélevables et des débits d'objectif d'étiage. AERMC, 89 p.

BRLi, 2010a. Etude du repositionnement stratégique du canal de Perpignan (système Las Canals). Phase1 : Etat des lieux technique, juridique et financier. BRLi, 180 p.

BRLi, 2014. Etude globale du canal de Thuir. Phase 1 A : Diagnostic. BRLi, 206 p.

BRLi, 2011. Etude globale du canal de Vernet et Pia. Phase 2 : Scénarios d'évolution. ASA du canal de Vernet et Pia.

BRLi, 2010b. Etude globale du canal de Vernet et Pia. Rapport de diagnostic. ASA du canal de Vernet et Pia, 110 p.

- BRLi, 2012e. Etudes des ASA Urbaines de Perpignan. Phase 1 : diagnostic de 17 ASA urbaines. Perpignan, DDTM, 162 p.
- BRLi, 2008. VULCAIN-Tâche 2 : Analyse des prélèvements en eau actuels et des demandes futures possibles sur le territoire d'étude - Revue des ouvrages de régulation existants. 91 p.
- Caballero Y., 2016. Caractérisation transdisciplinaire d'un aquifère côtier complexe, pour une exploitation maîtrisée et durable de sa ressource en eau en contexte méditerranéen. DEM'EAUX Roussillon. Montpellier, BRGM, 77 p.
- Caucanas S., 1992. Aménagements hydrauliques en Roussillon du IXe au XVe siècle. Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest, 63 (1), pp. 65-72.
- Celetti M., 2002. Le virus de la sharka des espèces fruitières et ornementales du genre prunus. Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales. Disponible sur Internet: <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/02-002.htm>.
- Chazot S., 2015. Etude du transport de l'eau entre la Têt et la retenue de Villeneuve de le Raho. Rapport de synthèse. BRLi, 30 p.
- Chazot S., 2014. Gestion des ressources en eau souterraines comme bien commun. Parties B : Etudes de cas. BRLi, 128 p.
- CNRTL, 2017. Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales. Disponible sur Internet: <http://www.cnrtl.fr/definition/T%C3%A9%C3%A9%C3%A9ttection>.
- Debeurne F., 2011. Etude du fonctionnement hydraulique de la Têt en aval du barrage de Vinça (66). Géosciences environnement, 70 p.
- ENGE0, SMNPR, 2017, Etude hydrogéologique d'essai de recharge artificielle de nappe dans la vallée de la Têt, 70 p.
- ENTECH ingénieurs conseils, 2016. Etude préalable de la ressource en eau pour une vision globale et la définition d'un plan d'action. CD66, 134 p.
- Gillon M., Marc V., 2014. 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. Avignon, Université d'Avignon, 9 p.
- Ginger environnement, 2011a. Document de travail pour l'élaboration du Plan de Gestion de la Ressource. Ginger environnement, 13 p.
- Ginger environnement, 2012a. Etude de détermination des volumes prélevables. Bassin versant de l'Agly. Phase 1, 2 et 3 : Bilan et impact des prélèvements. Quantification des ressources. AERMC, 304 p.
- Ginger environnement, 2012b. Etude de détermination des volumes prélevables. Bassin versant de l'Agly. Phase 4 à 6 : Détermination des débits minimums biologiques, des volumes prélevables et des débits d'objectifs d'étiage. AERMC, 139 p.
- Ginger environnement, 2011b. Etude de détermination des volumes prélevables. Bassin versant du Tech. Phase 1 à 3 : Bilan et impact des prélèvements, quantification des ressources. AERMC, 253 p.
- Ginger environnement, 2011c. Etude de détermination des volumes prélevables. Bassin versant du Tech. Phase 4 à 6 : Détermination des débits minimums biologiques, des volumes prélevables et des débits d'objectifs d'étiage. AERMC, 123 p.

Hydiad, 2013a. Etude des volumes prélevables des nappes plio-Quaternaires de la plaine du Roussillon. Phase 1 : Estimation des volumes prélevés. Etape 1 : homogénéisation des données administratives. SMNPR, 22 p.

Hydiad, 2013b. Etude des volumes prélevables des nappes plio-Quaternaires de la plaine du Roussillon. Phase 1 : Estimation des volumes prélevés. Etape 2 : Estimation des volumes prélevés. SMNPR, 79 p.

Hydiad, 2014a. Etude des volumes prélevables des nappes plio-Quaternaires de la plaine du Roussillon. Phase 2 : Estimation des volumes prélevés. Etape 1 : analyse des chroniques piézométriques. SMNPR, 135 p.

Hydiad, 2014b. Etude des volumes prélevables des nappes plio-Quaternaires de la plaine du Roussillon. Phase 2 : Estimation des volumes prélevés. Etape 2 : cartes piézométriques. SMNPR, 54 p.

Hydiad, 2014c. Etude des volumes prélevables des nappes plio-Quaternaires de la plaine du Roussillon. Phase 2 : Estimation des volumes prélevés. Etape 3 : estimation des volumes prélevables. SMNPR, 42 p.

Hydro.Géo.Consult, SMNPR, 2019, Étude hydrogéologique d'essai de recharge artificielle de nappe à Bouleternère par lâchure d'eau du canal de Corbère dans le Boulès, 33 p.

Ladouche B., 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). BRGM. Montpellier, BRGM.

République Française, 2006. Loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques. , DEVX0400302L . [Consulté le 12/07/2017].

SIGAT, La Vallée du Tech › Le SAGE Tech-Albères › Son avancement › Son avancement. Disponible sur Internet: <http://www.eau-tech-alberes.fr/articles-9/34-13-son-avancement/> [Consulté le 31/08/2017].

SMBVT, SMBVT | Syndicat mixte du bassin versant de la Têt :: Le contrat de rivière. Disponible sur Internet: <http://www.bassintet.fr/fr/les-actions-du-syndicat/le-contrat-de-riviere> [Consulté le 31/08/2017].

SMNPR, 2017. Bienvenue sur le site du Syndicat Mixte pour la protection et la gestion des nappes souterraines de la plaine du Roussillon. Disponible sur Internet: <http://www.nappes-roussillon.fr/> [Consulté le 04/05/2017].

SMNPR, 2015. Etude des interactions existantes entre nappes du Roussillon et canaux d'irrigation dans la vallée de la Têt. Synthèse des connaissances début 2015. SMNPR, 16 p.

SMNPR, Nappes de la plaine du Roussillon. Caractérisation « eaux souterraines - eaux superficielles ». SMNPR, 6 p.

SMNPR, 2012a. SAGE des nappes de la plaine du Roussillon. Diagnostic. SMNPR, 91 p.

SMNPR, 2012b. SAGE des nappes de la plaine du Roussillon. Etat initial. SMNPR, 216 p.

Terrasson I., Analyse des prélèvements en eau actuels et des demandes futures possibles sur le territoire d'étude - Revue des ouvrages de régulation existants. 91 p.

Union des ASA du canal de Corbère, 2008. Charte d'objectifs du canal de Corbère. Union des ASA du canal de Corbère, 18 p.

---

UPVD, CA, 2008 « Étude de la nappe du Boulés en vue de déterminer une zone de recharge de la nappe et d'implanter un piézomètre. », 2008. Rapport de stage d'un Master à l'Université de Perpignan, pour la Chambre d'Agriculture.