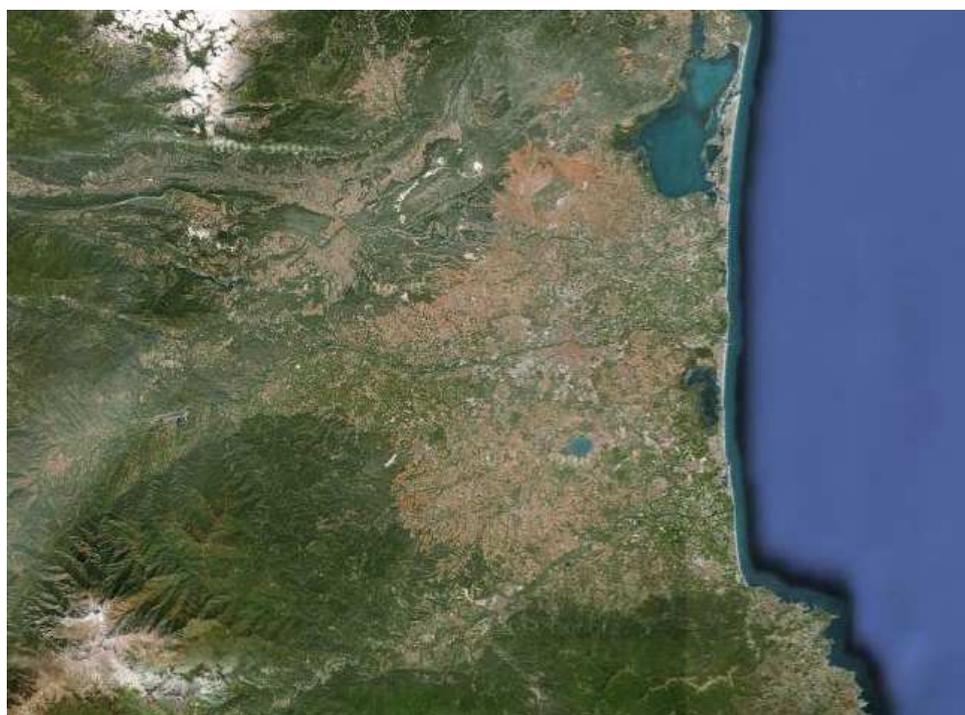




**Etude des volumes prélevables des nappes plio-quaternaires
de la plaine du Roussillon**

Phase 2 : Estimation des volumes prélevables

Etape 3 : Estimation des volumes prélevables



Juin 2014

Etude réalisée par :



Avec l'appui financier de :



Etude réalisée par :**HYDRIAD Eau & Environnement**

443 Route de St Geniès
30730 SAINT BAUZELY
Tel : 04.66.02.44.45
contact@hydriad.com

Pour :**Syndicat Mixte pour la Protection et la Gestion
des Nappes Souterraines de la Plaine du Roussillon**

Mas Mauran – Rue Frantz Reichel prolongée
66000 PERPIGNAN
Tel : 04.68.57.56.53
www.nappes-roussillon.fr

Avec l'appui financier de :**Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée & Corse**

2-4, allée de Lodz
69363 LYON Cédex 07
www.eaurmc.fr

TABLE DES MATIERES

1 Introduction.....	5
1.1 Test de la méthode du déstockage interannuel.....	6
1.2 Débits d'écoulement des nappes.....	6
2 Calcul du bilan hydrogéologique.....	9
2.1 Données bibliographiques : bilans hydrologiques antérieurs.....	9
2.1.1 Modélisation réalisée en 1982 par le BRGM.....	9
2.1.2 Modélisation réalisée en 1992 par le BRGM.....	10
2.1.3 Modélisation réalisée en 1996 par Chabart.....	10
2.1.4 Analyse des différents bilans hydrologiques.....	12
2.2 Evaluation des entrées.....	13
2.2.1 Alimentation par les massifs périphériques.....	13
2.2.2 Alimentation par les eaux superficielles et l'irrigation.....	14
2.2.3 Recharge par les pluies.....	16
2.3 Evaluation des sorties.....	18
2.3.1 Prélèvements.....	18
2.3.2 Eaux souterraines drainées par les fleuves.....	19
2.3.3 Sorties d'eau en mer.....	19
2.4 Drainance entre nappes.....	20
2.5 Ebauche de bilan hydrologique et incertitudes.....	21
3 Discussion sur les volumes prélevables.....	23
3.1 Vis-à-vis du maintien de la quantité.....	23
3.2 Vis-à-vis du maintien de la qualité.....	26
3.3 Vis-à-vis de l'apport aux cours d'eau.....	27
4 Conclusion.....	29

1 Introduction

L'étape 3 de la Phase 2 de l'étude consistait en l'appréciation des volumes prélevables dans les nappes plio-quaternaires de la Plaine du Roussillon. Les volumes prélevables sont les volumes d'eau qui peuvent être prélevés annuellement dans les nappes plio-quaternaires sans entraîner une baisse interannuelle des niveaux d'eau ni une dégradation de sa qualité (y compris par menace d'intrusion du biseau salé). Pour les nappes quaternaires, les volumes prélevables doivent également permettre d'assurer le bon état des eaux superficielles qu'elles alimentent.

Plusieurs approches peuvent être mises en œuvre afin d'apprécier les volumes prélevables.

Une première approche peut consister à évaluer les volumes prélevables par le calcul du déstockage des nappes constaté sur une certaine période de temps. Pour cela, l'évolution piézométrique doit être observée sur une longue période afin d'en évaluer un déstockage total, c'est-à-dire une variation du stock d'eau contenu dans les aquifères. Ce volume déstocké est alors confronté aux prélèvements exercés sur la ressource, ce qui conduit à une estimation des volumes prélevables qui ne mettraient pas en déséquilibre (en déstockage) les nappes. Etant donnée la faible inertie des nappes quaternaires, cette méthode ne peut être appliquée sur ces nappes. La méthode du déstockage a donc été appliquée sur le Pliocène profond et le Pliocène de la Salanque.

Une seconde approche peut consister à évaluer les flux transitant dans les nappes à partir des cartes piézométriques d'Août 2012 (période estivale) et Avril 2013 (fin de période hivernale), et des valeurs de transmissivité et de perméabilité fournies par la littérature. La confrontation des débits d'écoulement, en particulier des débits sortant des différents secteurs, avec les prélèvements conduirait ici encore à déterminer les volumes prélevables qui ne mettraient pas en déséquilibre les nappes. Dans le cadre de cette étude nous avons réalisé un bilan d'écoulement estival et un bilan à la sortie de l'hiver sur les six secteurs délimités lors de l'Etape 1 de cette Phase 2 de l'étude.



Figure 1 : Sectorisation de la plaine du Roussillon

Etude des volumes prélevables des nappes plio-quaternaires de la plaine du Roussillon Phase 2 – Etape 3 : Estimation des volumes prélevables	5
---	---

Une troisième estimation peut finalement se baser sur la réalisation d'un bilan hydrogéologique des nappes de la plaine à l'échelle annuelle. L'objectif est alors de quantifier les entrées dans les nappes quaternaires et pliocènes (recharge, alimentation par l'irrigation, alimentation par les massifs périphériques, échange par drainance entre les nappes) et les sorties (drainage par les fleuves, sorties en mer, prélèvements, échange par drainance entre les nappes). Ce bilan est réalisé à l'échelle de la plaine pour les nappes pliocènes et quaternaires séparément. Il s'appuie entre autres sur les données bibliographiques existantes, dont les différents bilans réalisés par modélisation depuis 1982. Nous disposons également de l'estimation des prélèvements de l'année 2010 réalisée en Phase 1 de la présente étude.

Ces méthodes présentent chacune leurs avantages et leurs limites. En effet, aucune ne dispose de toutes les données pertinentes et fiables requises. Ainsi, elles s'avèrent toutes trois incomplètes et imparfaites, mais complémentaires dans la mesure où elles contribuent toutes d'une certaine façon à réaliser le même bilan mais sur des échelles de temps différentes. L'estimation des flux transitant dans les nappes est un bilan instantané établi sur une photo de l'état moyen des nappes. Le bilan hydrologique est établi sur un cycle hydrologique annuel moyen. Finalement, l'estimation du déstockage est réalisée à partir de l'évolution pluriannuelle des prélèvements et des stocks.

1.1 Test de la méthode du déstockage interannuel

La méthode du déstockage a été appliquée sur l'ensemble de la plaine et a permis de tester son aptitude pour l'évaluation des volumes prélevables des nappes de la Plaine du Roussillon.

La variation interannuelle du stock d'eau d'une nappe (libre ou captive) dépend de la variation interannuelle du niveau piézométrique (différence entre la piézométrie actuelle et la piézométrie antérieure), de l'étendue de la nappe et du coefficient d'emménagement de l'aquifère.

$$\Delta (\text{Stock d'eau souterraine}) = \Delta (\text{Niveau piézométrique}) * \text{Surface} * \text{Coefficient d'emménagement}$$

Cette variation du stock est comparée aux prélèvements exercés sur les nappes. Cette méthode requiert donc de longues chroniques piézométriques et des données fiables de prélèvement représentatives et explicatives de l'évolution observée de la piézométrie.

L'approche du déstockage s'avère donc pertinente pour des séries piézométriques monotones (c'est-à-dire toujours globalement croissantes ou descendantes en moyenne), au sein desquelles les variations climatiques sont alors 'noyées' ou moyennées. Plus la chronique piézométrique est longue, plus cette contrainte peut être satisfaite. Si la série permet de s'affranchir d'une façon ou d'une autre de la variabilité climatique, alors la méthode peut s'appliquer par différence entre les deux états initial et final. Il s'agirait alors d'une comparaison de deux états moyens (passé et actuel).

Les prélèvements AEP sont relativement bien connus depuis plusieurs décennies, du fait de l'enregistrement des volumes pompés et desservis à la population. Après avoir fortement crus, ces prélèvements se sont stabilisés depuis 2000, voire même ont baissé depuis 2004. Par contre, les prélèvements agricoles qui représentent une part importante des prélèvements sont plus difficilement connus, en particulier les prélèvements passés. Il est ainsi plus difficile de connaître précisément les prélèvements exercés, les périodes où ils sont exercés et les nappes impactées. Il est donc difficile d'évaluer l'augmentation ou la diminution des prélèvements sur une longue période. A priori, les prélèvements agricoles n'ont pas augmenté mais plutôt baissé du fait de la

Etude des volumes prélevables des nappes plio-quaternaires de la plaine du Roussillon Phase 2 – Etape 3 : Estimation des volumes prélevables	6
---	---

déprise agricole et du passage accru à l'irrigation par goutte à goutte. Cependant, même si les surfaces agricoles ont diminué, il n'est pas impossible que ce soit en priorité les terres sans irrigation qui l'aient été, en particulier dans certains secteurs de la plaine. Par ailleurs, la baisse de l'irrigation a pu se répercuter principalement sur l'utilisation de l'eau des canaux plutôt que sur l'eau des forages, puisque le goutte à goutte nécessite une eau exempte de particules et d'éléments végétaux. L'évolution des prélèvements agricoles reste donc suffisamment méconnue à ce jour pour pouvoir permettre la confrontation avec les évolutions piézométriques. Finalement, les prélèvements domestiques (puits individuels) sont totalement méconnus.

Suite à son application sur la plaine du Roussillon, la méthode du déstockage n'est donc pas apparue utilisable en l'état pour estimer les volumes prélevables. En prenant une période d'étude plus longue permettant de s'affranchir des variations climatiques, il pourrait être possible de relier l'évolution des prélèvements et les variations observées (stockage / déstockage). Ceci nécessiterait cependant la réalisation d'un travail important d'acquisition des données concernant les prélèvements qui ne pourrait se faire que de façon statistique et au moyen d'une enquête historique minutieuse. Mentionnons de plus que ceci devrait se faire à l'échelle des différents secteurs définis, voire sous-secteurs.

1.2 Débits d'écoulement des nappes

L'existence des cartes piézométriques élaborées à l'étape 2 de cette Phase 2 et de valeurs des paramètres hydrodynamiques fournis par la littérature permet d'évaluer les flux transitant dans les nappes. Pour les nappes quaternaires, l'exercice paraît délicat et peu réaliste du fait de leur manque de continuité spatiale. L'exercice n'a donc pu être réalisé que pour les nappes pliocènes.

Le débit d'écoulement dans une nappe est estimé par l'application de la Loi de Darcy :

$$Q = T \cdot L \cdot i$$

avec Q le débit ($m^3 \cdot s^{-1}$) ; T la transmissivité ($m^2 \cdot s^{-1}$) ; L est la largeur (section linéaire) de nappe traversée par le flux (m) ; i est le gradient hydraulique (sans unité). L'utilisation des transmissivités (déterminées de façon fiable par les pompages d'essai) permet de s'affranchir du besoin de connaissance de l'épaisseur de l'aquifère.

Des valeurs de transmissivité ont donc été recherchées dans la littérature. Le rapport de Marchal (1991) fournit 173 valeurs pour le Pliocène. L'importante hétérogénéité des transmissivités déterminées par les essais de pompage (Figure 2) rend difficile leur interpolation pour la réalisation d'une carte d'iso-transmissivité. Des moyennes locales de ces valeurs ont donc été utilisées.

Sur les limites amont ou aval des différents secteurs, les gradients piézométriques moyens ont été calculés à l'aide des courbes piézométriques qui encadrent la limite. La section linéaire traversée par le flux est quant à elle mesurée sous SIG. Les Figure 3 et Figure 4 présentent les zones sur lesquelles les flux ont été calculés.

Les flux calculés (Tableau 1) fournissent un ordre de grandeur des entrées et des sorties résultant de l'écoulement de la nappe pour les différents secteurs du Pliocène. Ces flux ne sont donc pas des bilans entrées – sorties des nappes pliocènes, puisqu'ils ne prennent pas en compte les autres éléments du bilan (recharge, drainage ou apport par les rivières, drainance entre nappes, prélèvements).

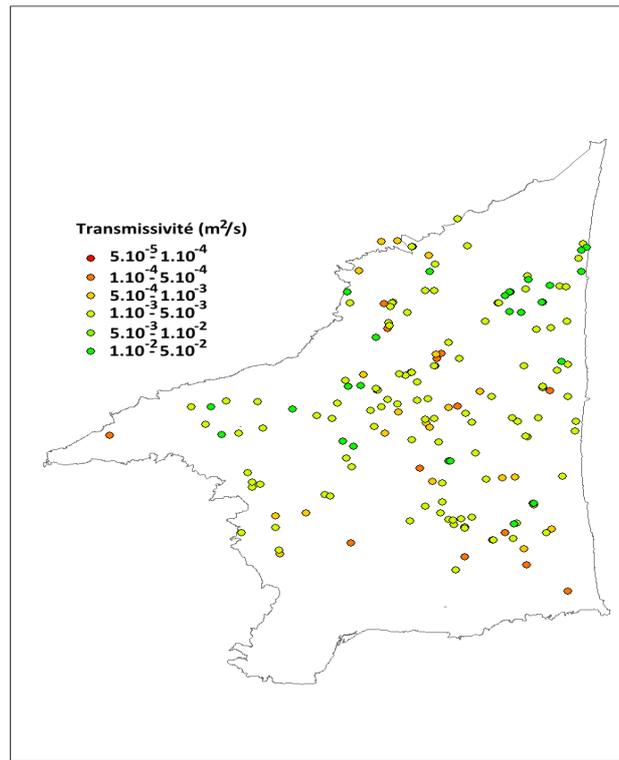


Figure 2 : Transmissivités disponibles pour l'aquifère profond

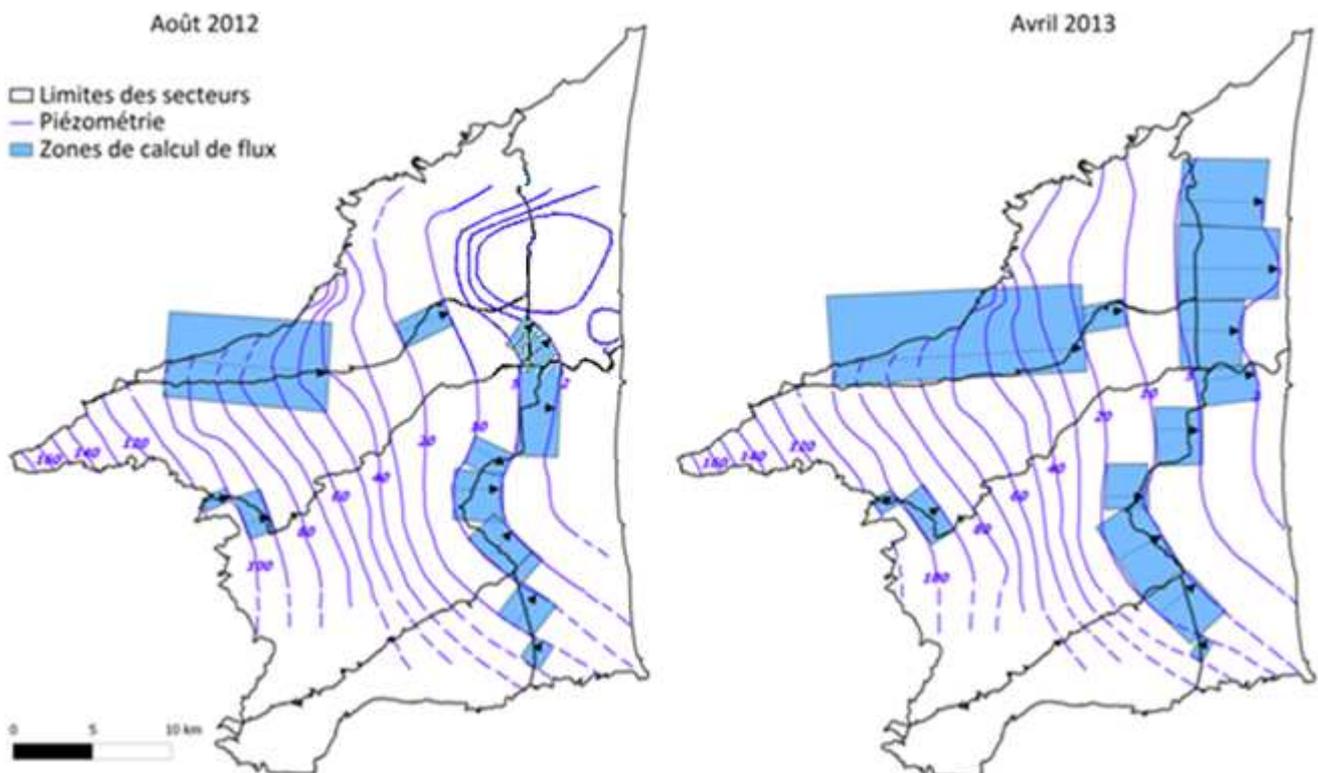


Figure 3 : Zone de calcul des flux entre secteurs du Pliocène profond

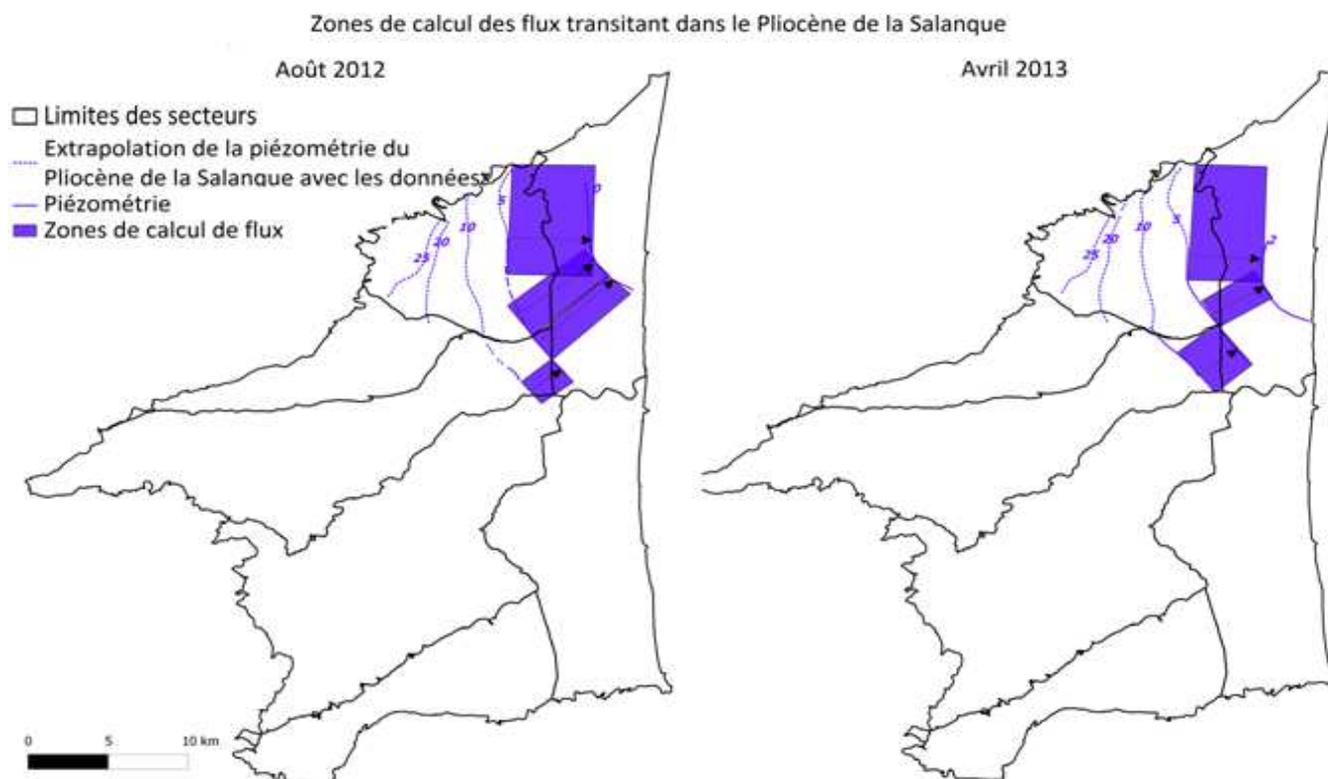


Figure 4 : Zone de calcul de flux entre secteurs du Pliocène de la Salanque

Tableau 1 : Flux d'écoulement moyen annuel entre secteurs

Sortant de :	Entrant dans :	Pliocène Mm ³ /an
Vallée de l'Agly	Bordure côtière Nord	1,9
Vallée de la Têt	Bordure côtière Nord	1,0
Vallée de l'Agly	Vallée de la Têt	5,0
Aspres	Vallée de la Têt	2,1
Aspres	Bordure côtière Sud	2,3
Vallée du Tech	Bordure côtière Sud	0,8

Ces résultats, obtenus par un calcul des flux tenant compte de la piézométrie et des transmissivités du milieu, diffèrent parfois beaucoup des estimations réalisées par ailleurs. Par exemple, pour la bordure côtière nord, les flux entrants (2,9 Mm³/an) sont bien inférieurs à l'estimation des prélèvements (4,5 Mm³/an), et de même remarque pour la bordure côtière sud. En l'absence d'une information plus fiable ou d'une méthode d'estimation plus représentative, ces valeurs doivent donc être considérées avec prudence.

2 Calcul du bilan hydrogéologique

L'objectif du bilan hydrologique est de quantifier les entrées dans les nappes (recharge par les pluies efficaces, alimentation par l'irrigation, alimentation par les massifs périphériques, échange par drainance entre les nappes, alimentation des nappes par les rivières) et les sorties (eaux souterraines drainées par les fleuves, sorties en mer, prélèvements, échange par drainance entre les nappes). Ce bilan est réalisé sur un cycle hydrologique annuel moyen à l'échelle de la plaine pour les nappes pliocènes et pour les nappes quaternaires. Ce bilan s'appuie entre autres sur les données bibliographiques existantes : bilan réalisé par modélisation en 1982 par le BRGM, bilan hydrogéologique par modélisation réalisé en 1996 par Chabart, volumes prélevés estimés en Phase 1 du projet et données pluviométriques disponibles.

Pour que le système soit en équilibre, la somme des entrées devrait égaler celle des sorties.

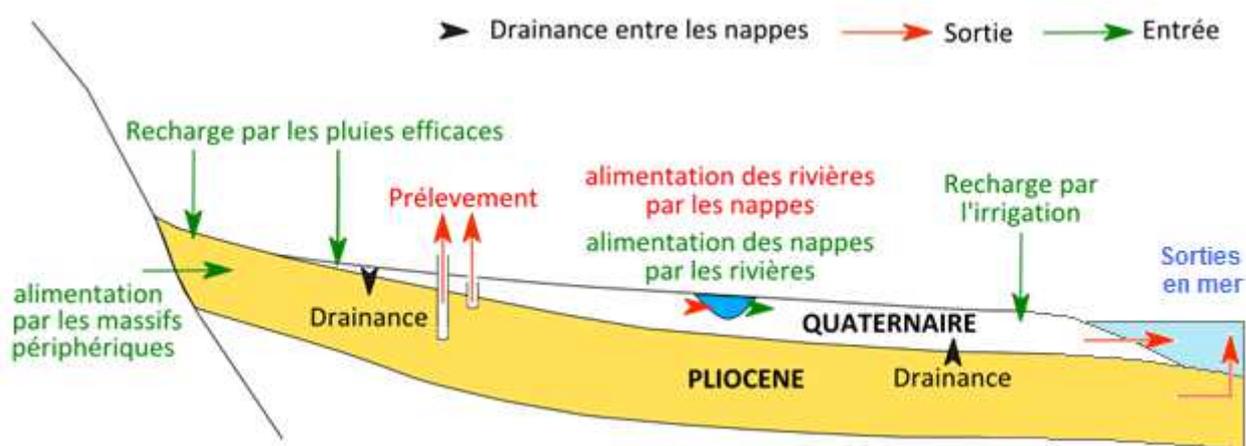


Figure 5 : Eléments du bilan hydrologique de la plaine du Roussillon

2.1 Données bibliographiques : bilans hydrologiques antérieurs

Un premier bilan hydrologique a été réalisé dans les années 1970 par les services de l'Etat. Deux autres bilans hydrologiques (issus de travaux de modélisation) ont été réalisés avec le logiciel MARTHE en 1992 par le BRGM¹ puis en 1996 lors du travail de doctorat de Chabart (1996). Ce dernier travail de thèse reprend, en les approfondissant, une partie des résultats de la modélisation réalisée en 1992.

¹ Auroux F., Marchal J.P., Martin J.C, 1992 – Modèle mathématique de gestion de l'aquifère plio-quaternaire du Roussillon - Modèle mathématique des risques d'intrusion d'eau marine dans l'aquifère plio-quaternaire. Rapport BRGM – R 34 981 LRO 4S 92.

2.1.1 Modélisation réalisée en 1982 par le BRGM

Le plus ancien bilan retracé est celui réalisé par modélisation par le BRGM en 1982 (Figure 6). Il considère des prélèvements basés sur l'inventaire des ouvrages de 1974-1975. Les prélèvements annuels des collectivités sont estimés à 9.3 Mm^3 , ceux de l'industrie à 3.0 Mm^3 , ceux de l'agriculture à 3.5 Mm^3 (190 ouvrages) et ceux des particuliers à 0.5 Mm^3 , soit un total 'connu' de 16 à $17 \text{ Mm}^3/\text{an}$. Considérant les ouvrages non déclarés, le volume prélevé n'excéderait pas $25 \text{ Mm}^3/\text{an}$.

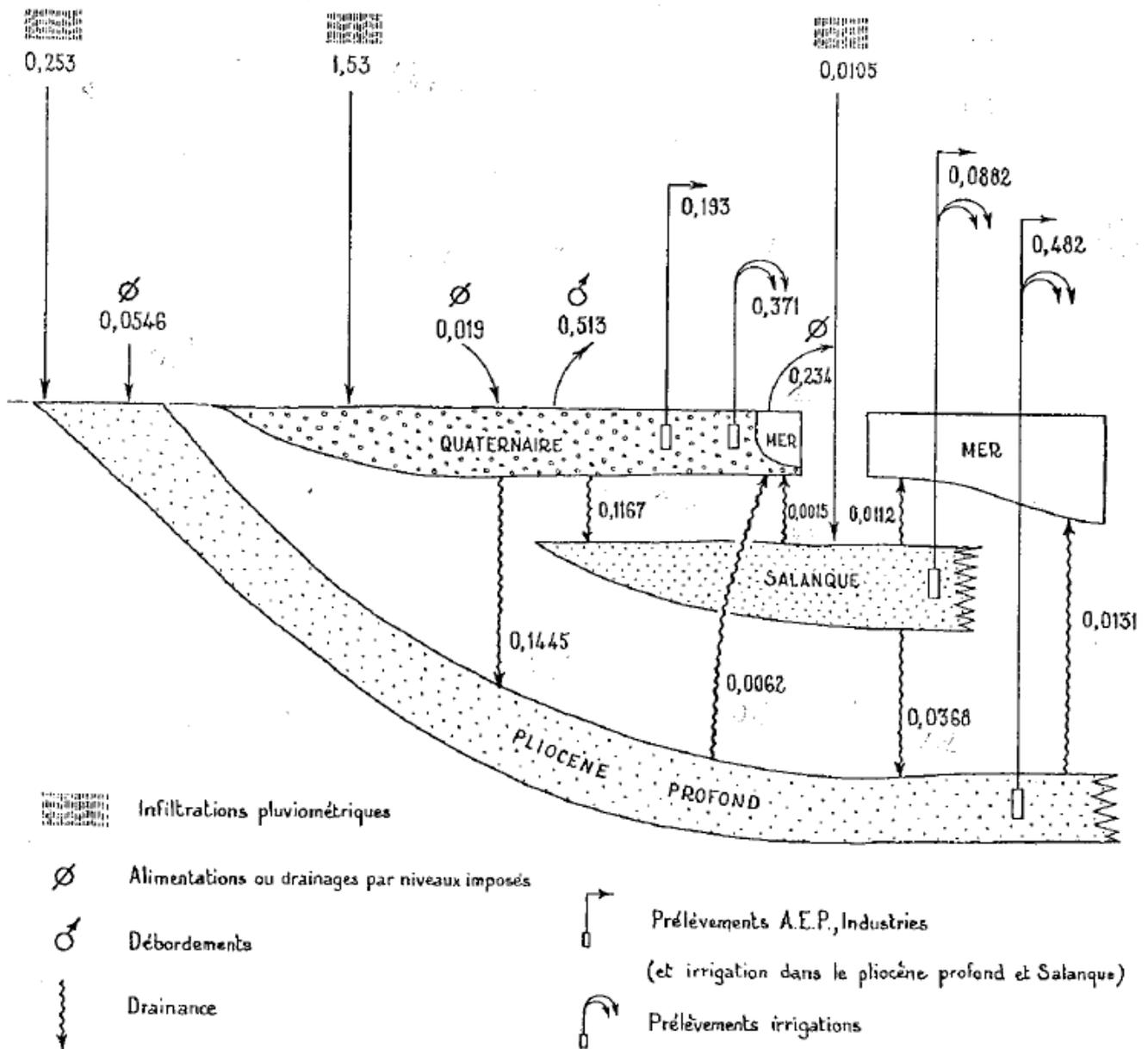


Figure 6 : Bilan (m^3/s) réalisé par modélisation par le BRGM en 1982

Ce bilan estime les entrées à $68.5 \text{ Mm}^3/\text{an}$ ($49.1 \text{ Mm}^3/\text{an}$ pour le Quaternaire contre $19.4 \text{ Mm}^3/\text{an}$ pour le Pliocène) et le total des sorties à $69.8 \text{ Mm}^3/\text{an}$ ($49.6 \text{ Mm}^3/\text{an}$ pour le Quaternaire contre $20.2 \text{ Mm}^3/\text{an}$ pour le

Etude des volumes prélevables des nappes plio-quaternaires de la plaine du Roussillon Phase 2 – Etape 3 : Estimation des volumes prélevables	11
---	----

Pliocène). Ce premier bilan montre un débalancement de 1.3 Mm³/an, qui est largement inférieur aux erreurs et incertitudes sur les termes du bilan.

Tableau 2 : Bilan hydrogéologique réalisé en 1982 par le BRGM

ENTREES (Mm ³ /an)	Quaternaire	Pliocène	Pliocène Salanque	TOTAL
Pluie efficace	48.3	8.0	0.3	56.6
Entrées diverses*	0.6	1.7		2.3
Drainance	0.2	5.7	3.7	9.6
TOTAL	49.1	15.4	4.0	68.5

* irrigation, massif périphérique, alimentation des nappes par les rivières

SORTIES (Mm ³ /an)	Quaternaire	Pliocène	Pliocène Salanque	TOTAL
Sorties en mer	7.4	0.4	0.4	8.2
Prélèvements	17.8	15.2	2.8	35.8
Sorties diverses*	16.2			16.2
Drainance	8.2	0.2	1.2	9.6
TOTAL	49.6	15.8	4.4	69.8

* alimentation des rivières par les nappes

2.1.2 Modélisation réalisée en 1992 par le BRGM

Le bilan hydrologique obtenu par la modélisation réalisé par le BRGM en 1992 est présenté au Tableau 3. Pour le Quaternaire, les entrées contrebalancent les sorties, de même que pour le Pliocène.

Ce bilan est globalement équivalent au précédent bilan obtenu par modélisation. Cette modélisation précise la contribution des massifs périphériques.

2.1.3 Modélisation réalisée en 1996 par Chabart

Le modèle de Chabart utilise des mailles carrées de 1 km de côté et trois couches :

- Alluvions quaternaires à nappe libre
- Pliocène de la Salanque
- Pliocène profond à nappe semi captive à captive

Dans ce modèle, les trois nappes d'épaisseur moyenne respective de 15, 10 et 50 m sont séparées entre elles par des niveaux semi perméables dont l'extension est considérée continue sur l'ensemble de la plaine du Roussillon. La perméabilité des épontes est estimée à 2,5 10⁻⁹ m/s, contre 3,5 10⁻⁹ m/s pour celle utilisée dans la modélisation de 1982.

Tableau 3 : Bilan hydrogéologique réalisé en 1992 par le BRGM

ENTREES (Mm ³ /an)	Quaternaire	Pliocène	Pliocène Salanque	TOTAL
Pluie efficace		16.4	0.7	17.1
Pluie efficace +irrigation	45.2			45.2
Massifs périphériques		2.1		2.1
Drainance		3.7	2.9	6.6
TOTAL	45.2	22.2	3.6	71.0

SORTIES (Mm ³ /an)	Quaternaire	Pliocène	Pliocène Salanque	TOTAL
débordement (drainage par les rivières)	16.4			16.4
Sorties en mer	13.0			13.0
Prélèvements	9.7	21.7	3.7	35.1
Drainance	6.1	0.5		6.6
TOTAL	45.2	22.2	3.7	71.1

Tableau 4 : Bilan hydrogéologique réalisé en 1996 par Chabart

ENTREES (Mm ³ /an)	Quaternaire	Pliocène	Pliocène Salanque	TOTAL
Pluie efficace		16,5	0,7	17,2
Pluie efficace +irrigation	48,7			48,7
Massifs périphériques		2,8		2,8
Drainance		3	2,6	5,6
TOTAL	48,7	22,3	3,3	74,3

SORTIES (Mm ³ /an)	Quaternaire	Pliocène	Pliocène Salanque	TOTAL
débordement (drainage par les rivières)	14,4			14,4
Sorties en mer	20,2			20,2
Prélèvements	9,7	21,6	3,7	35
Drainance	5	0,7		5,7
TOTAL	49,3	22,3	3,7	75,3

La thèse de Chabart reprenant une partie de la modélisation réalisée en 1992, ces résultats sont du même ordre de grandeur. Nous retiendrons donc les termes du bilan de Chabart dans la suite de ce rapport lorsque nous réaliserons des comparaisons avec les données issues de notre propre étude.

Etude des volumes prélevables des nappes plio-quadernaires de la plaine du Roussillon Phase 2 – Etape 3 : Estimation des volumes prélevables	13
---	----

Le bilan issu de la modélisation de Chabart (Tableau 4) indiquerait un déséquilibre annuel moyen de l'ordre du Mm³. Le déséquilibre serait de 0,6 Mm³ pour le Quaternaire et de 0,4 Mm³ pour le Pliocène de la Salanque.

2.1.4 Analyse des différents bilans hydrologiques

Les différences entre les deux modélisations réalisées en 1982 et en 1996 sont présentées à La Figure 7. Cette figure met en évidence les points suivants :

- La modélisation de 1982 ne prend pas en compte l'apport par les massifs périphériques ; dans la thèse de Chabart leur contribution est cependant limitée (2.8 Mm³/an).
- La recharge du Pliocène par les pluies efficaces est deux fois plus importante dans Chabart. La recharge appliquée au Pliocène est de l'ordre de 25 mm/an dans la modélisation de 1982 et de 45 mm/an dans celle de Chabart. Le bilan de cette dernière semble cependant mieux fondé, même si cet aspect demeure une incertitude pour les différents modèles réalisés.
- Les apports au Pliocène profond par drainance et entrées diverses sont plus élevés dans la modélisation de 1982, mais ne compensent pas totalement la différence des recharges appliquées dans les deux modélisations (15.4 Mm³/an en 1982 versus 19.5 Mm³/an en 1996 + 2.8 Mm³/an par les massifs périphériques).
- Cette différence pourrait être expliquée pour partie par l'augmentation des prélèvements exercés sur le Pliocène profond qui passe de 15.2 Mm³/an en 1982 à 20.2 Mm³/an en 1996. Cette augmentation des prélèvements pourrait favoriser l'entrée d'eau dans le Pliocène profond par recharge ou par drainance en baissant le flux de drainance ascendante ou en inversant le sens de celle-ci.
- Les prélèvements et sorties diverses sont presque du même ordre dans les deux modélisations mais ne sont pas répartis de la même façon. Entre autres, les prélèvements appliqués au Quaternaire sont beaucoup plus importants (du double) dans la modélisation de 1982. Les prélèvements dans le Quaternaire et le Pliocène semblent cependant faibles, voire sous-estimés, dans les résultats de Chabart (prélèvement dans le Quaternaire de 9,7 Mm³/an contre 25,3 Mm³/an dans le Pliocène). Elle estime en effet que les prélèvements AEP dans le Quaternaire sont de l'ordre de 16 Mm³/an et de l'ordre de 28 Mm³/an dans le Pliocène.
- Les valeurs des sorties en mer sont très différentes dans les deux modélisations : 8,2 Mm³/an en 1982 contre 20,2 Mm³/an en 1996. Ce terme du bilan semble donc une inconnue importante.
- Suite à l'étude réalisée par le BRGM sur le karst de Corbières en 2009 ² (étude la plus complète existant à l'heure actuelle sur cette entité géologique), les apports de ce massif au système plio-quadernaire ont été évalués de l'ordre de 17 Mm³/an. La modélisation de Chabart sous-estimait donc les apports par ce massif. Aucune information ne permet pour l'heure actuelle de quantifier avec précision la part de ces apports qui alimente le Quaternaire de celle alimentant le Pliocène. Chabart émettait l'hypothèse que le karst alimente en totalité le Pliocène.

²Fleury, P., Ladouche, B., Dewandel, B., Dörfliker, N., P. Le Strat, Grunenwald, G., Izac, J-L., Cubizolles, J., 2009. Evaluation des ressources en eau souterraine des systèmes aquifères karstiques des Corbières. Phase III – Démonstration de la ressource. Rapport final. BRGM/RP-57612-FR, 148 p, 58 ill., 4 ann.

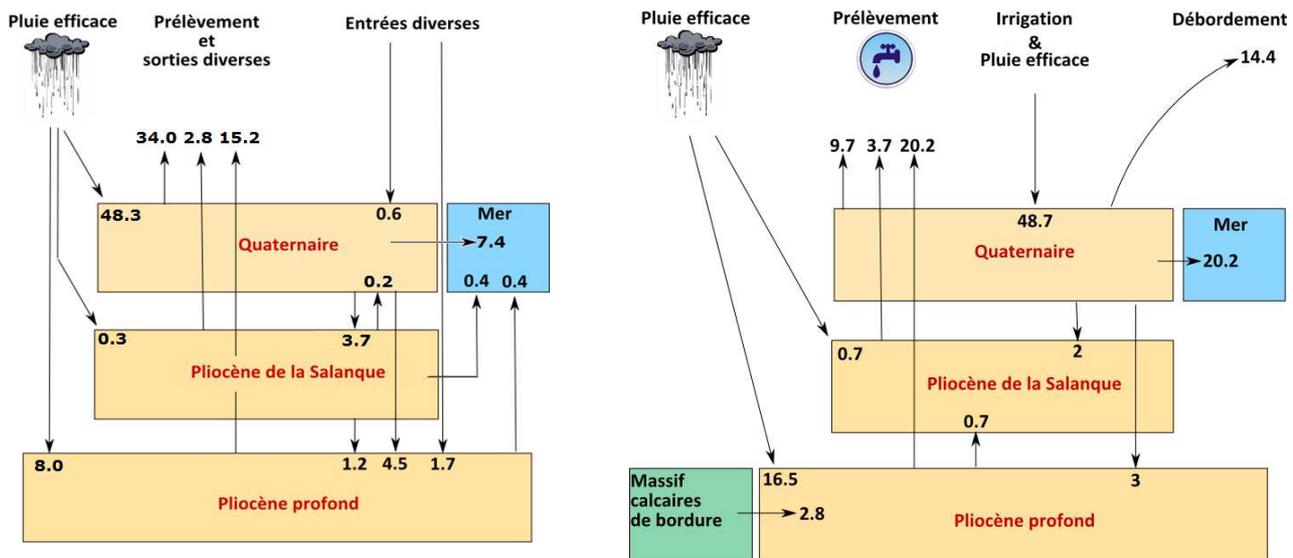


Figure 7 : Bilans (Mm^3/an) réalisés par le BRGM en 1982 (à gauche) et en 1996 par Chabart (à droite)

2.2 Evaluation des entrées

2.2.1 Alimentation par les massifs périphériques

Mise à part l'étude du BRGM sur le Karst des Corbières, aucune autre étude n'a été retracée qui quantifierait soit les flux sortant des massifs périphériques, soit entrant dans la plaine du Roussillon à leur limite. L'utilisation des cartes piézométriques précédentes ou réalisées dans le cadre de cette étude ne permet pas de quantifier les entrées d'eau par les massifs périphériques en raison de la méconnaissance des épaisseurs exactes et des perméabilités des aquifères dans ces secteurs. Les gradients piézométriques observés aux limites de la plaine correspondent en effet vraisemblablement plus au biseautage des formations pliocènes sur le substratum qu'à l'existence d'apports importants depuis les massifs périphériques. Calculer un flux d'entrée en utilisant ces gradients et les transmissivités mesurées plus au centre de la plaine entraînerait une surestimation de ces entrées.

Les limites du système plio-quaternaire avec les massifs environnant sont discutées ci-après.

Au Nord, il existe une alimentation reconnue de l'aquifère multicouche par les entités karstiques des Corbières (système de Cases-de-Pène et système du Bas-Agly). D'après l'étude du BRGM (2009), l'ensemble des apports du karst des Corbières aux formations sédimentaires plio-quaternaires est évalué à 550 l/s au total (soit $17 \text{ Mm}^3/\text{an}$). Ces apports ont lieu dans les secteurs de Rivesaltes d'une part et de l'Etang de Salses d'autre part (avec sans doute quelques dizaines de litres par seconde au plus dans le secteur de Rivesaltes). L'essentiel des flux se produit en hautes eaux, période pendant laquelle les sources temporaires sont actives. Les cartes piézométriques confirment ces apports.

A l'Ouest, il existerait une alimentation par les calcaires des causses dévoniens de Thuir (Karst de Ste-Colombe). Ces calcaires étant de faible extension, cette alimentation semble cependant peu importante comparée à l'apport du Karst des Corbières. Certains ruisseaux arrivant de l'amont (massif schisteux des Aspres) pourraient se perdre dans le massif de Ste-Colombe, contribuant alors à augmenter les apports potentiels par ce massif. A notre connaissance, aucune étude quantitative n'a été réalisée sur le Karst de Ste-Colombe. Ce système karstique pourrait faire l'objet d'une étude hydrogéologique pour tenter d'évaluer son fonctionnement et ses apports au

Etude des volumes prélevables des nappes plio-quaternaires de la plaine du Roussillon Phase 2 – Etape 3 : Estimation des volumes prélevables	15
---	----

système plio-quaternaire (recharge, débit des sources, échange avec les rivières, etc.). Les cartes piézométriques dans ce secteur laissent supposer qu'une alimentation dans ce secteur est possible, sans qu'elle ne puisse préciser s'il s'agit de l'infiltration des ruissellements provenant de ce massif ou d'apports souterrains. Une étude spécifique semblerait donc nécessaire, surtout que l'hydrochimie des eaux captée à Thuir semble indiquer qu'elle pourrait être influencée par le massif calcaire amont.

Au Nord-Ouest, le contact avec le massif granitique de Millas est vraisemblablement une limite de type imperméable (étanche). Nous n'avons donc pas considéré d'apport souterrain dans ce secteur. Faute de données bibliographiques et de connaissances plus précises à ce sujet, il est cependant possible que notre bilan ait négligé des apports latéraux.

Les limites Sud-Ouest avec le massif des Aspres (schistes) et Sud avec les Albères (schistes) sont globalement étanches en grand. Au regard des cartes piézométriques, il pourrait exister une alimentation des nappes par ces massifs bien qu'il semble plus vraisemblablement que les gradients observés soient dus à un biseautage des formations sédimentaires. Les apports par les cours d'eau pourraient par contre être significatifs. Le Boulès est en effet pérenne toute l'année jusqu'à son entrée dans la plaine où il est sec l'été. Une étude des champs captant de Perpignan indique que l'infiltration serait de 17 Mm³/an sans qu'il soit possible de préciser s'il s'agit de sous-écoulement dans le lit ou d'une réelle réalimentation des nappes. Malheureusement, en l'absence d'informations plus précises, il n'est pas possible de considérer des apports souterrains dans ce secteur, qui pourraient cependant être significatifs localement.

Aucune information n'a été trouvée sur une possible alimentation du système aquifère par le ruissellement prenant place sur les massifs schisteux et granitiques périphériques. Nous n'avons donc pas considérés d'apport souterrain dans ce secteur.

En conclusion, seule l'alimentation par le système karstique des Corbières a été reconnue et quantifiée dans le secteur de la vallée de l'Agly. Cependant, les parts respectives alimentant le Pliocène et le Quaternaire ne sont pas identifiées. Rappelons que Chabart (1996) a considéré que seul le Pliocène était bénéficiaire des apports du Karst des Corbières.

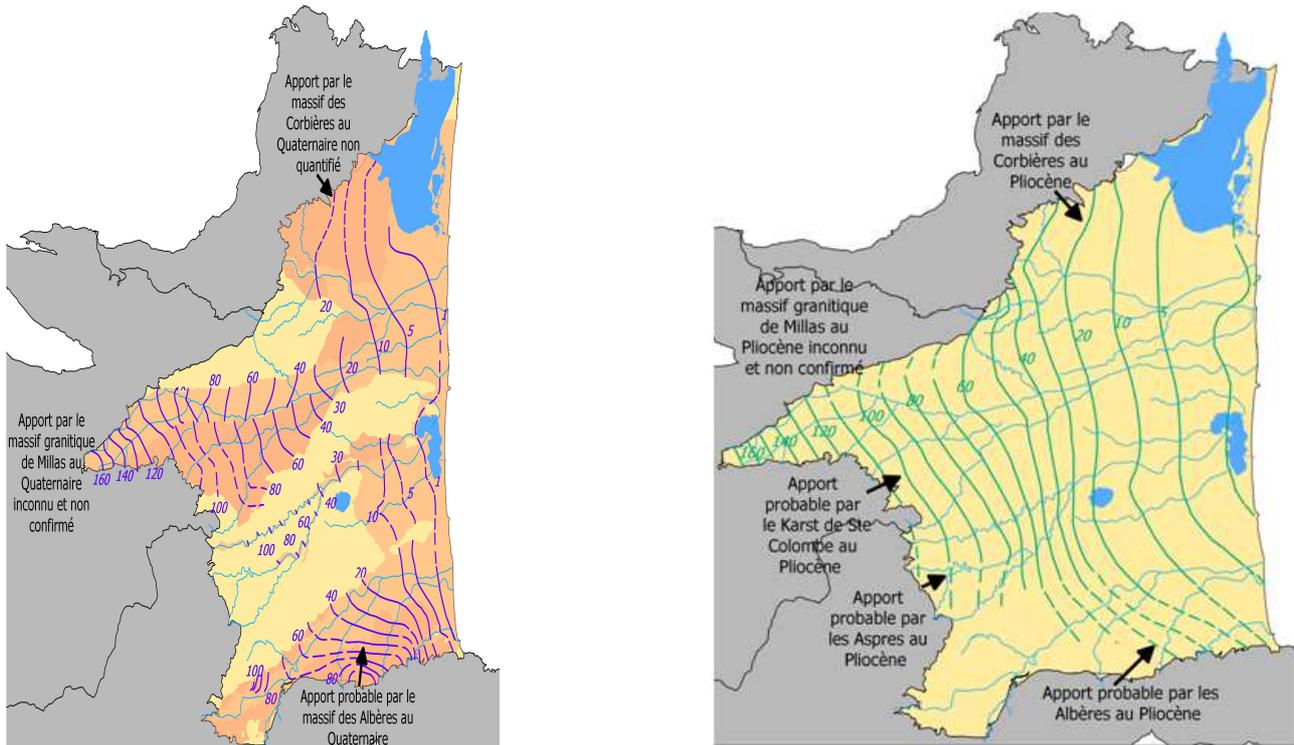


Figure 8 : Piézométrie observée (avril 2012) et possibilité d'alimentation du Quaternaire (à gauche) et du Pliocène (à droite) par les massifs périphériques

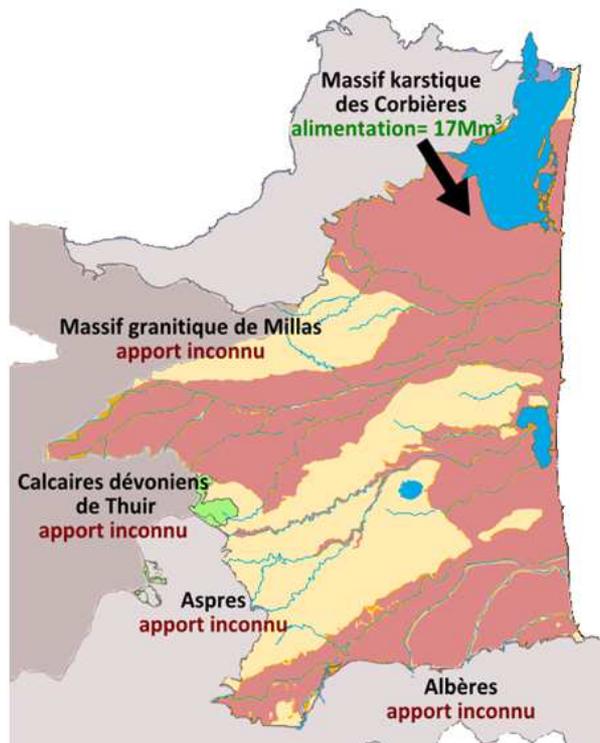


Figure 9 : Alimentation considérée à partir des massifs périphériques

2.2.2 Alimentation par les eaux superficielles et l'irrigation

Le réseau de distribution d'eau gravitaire est très ancien dans la plaine du Roussillon et majoritairement constitué de canaux en terre. L'ensemble des acteurs s'accorde à constater que la distribution d'eau par les canaux a un effet non négligeable sur la recharge de la nappe quaternaire. En été, l'infiltration dans le fond des canaux et dans les champs recharge la nappe superficielle, et son niveau piézométrique est alors élevé. Ainsi, lorsque le niveau de la nappe quaternaire baisse, les gestionnaires de certains canaux reçoivent des demandes des usagers des nappes pour réaliser des lâchers spécifiques dans le lit de certains cours d'eau temporaires ou faire circuler de l'eau dans certains secteurs afin de recharger localement la nappe et faire remonter le niveau d'eau dans les forages. Cependant, ces flux sont pour l'heure mal connus et ont été évalués de manière imprécise dans les études de volumes prélevables de la Têt, du Tech et de l'Agly.

L'estimation des échanges entre les nappes et les rivières sur la plaine du Roussillon n'a pas fait l'objet d'étude spécifique pour l'Agly et le Tech. Les chiffres présentés pour la Têt proviennent de l'étude des volumes prélevables et restent entachés d'imprécision.

a. Alimentation des nappes quaternaires via l'irrigation.

Une étude a été réalisée par le bureau d'études GAEA³ pour l'ADASIA sur le bilan général des eaux dans les périmètres irrigués des canaux gravitaires de la plaine du Roussillon. Elle a permis d'évaluer les volumes d'eau s'infiltrant pendant la campagne d'irrigation sur le canal de Corneilla-la-Rivière. Selon l'étude, 25,7 % des volumes prélevés en rivière percolent vers la nappe quaternaire. Si on extrapole ce chiffre à l'ensemble des canaux dérivés des cours d'eau, on arrive à une estimation de l'alimentation des nappes quaternaires par les canaux et réseaux d'irrigation gravitaires de 64 Mm³/an (pour 248 Mm³/an distribués par les canaux d'irrigation). Cette recharge serait largement supérieure à l'ensemble des prélèvements souterrains de la zone : AEP, industrie, irrigation. Bien que le piézomètre du Pliocène de Millas présente la même dynamique que son homologue du Quaternaire, il est peu probable que les infiltrations liées aux canaux et réseaux d'irrigation gravitaire jouent un rôle aussi important dans l'alimentation des aquifères quaternaires. Nous n'avons donc pas retenu cette estimation des flux.

D'après les études des volumes prélevables sur l'Agly et le Tech⁴, les restitutions diffuses à l'hydro-système de la rivière ont été estimées selon les canaux entre 5 et 20 %, et le plus souvent prises égales à 10 %. Cette estimation a été réalisée à partir de mesures indirectes réalisées sur 12 canaux dans l'Agly et 9 canaux dans la vallée du Tech tenant compte des caractéristiques physiques et de l'occupation des sols (distance au cours d'eau, pente et végétalisation des espaces entre canal et cours d'eau). Les volumes distribués par les canaux gravitaires sont d'un peu plus de 11,5 Mm³/an pour l'Agly (Agly du Mas-de-Jau à St Laurent-de-la-Salanque) et 31 Mm³/an pour le Tech (entre Amélie-les-Bains et Elne). Les volumes réalimentant les nappes quaternaires seraient de 1.1 Mm³/an pour l'Agly et 3.1 Mm³/an pour le Tech avec l'hypothèse de 10% des prélèvements bruts retournant à l'hydro-système.

³ GAEA Environnement, 2004. Etude moratoire sur les flux hydrauliques des canaux d'irrigation des Pyrénées orientales, ADASIA. Perpignan, 2 rapports + annexes

⁴ Etude des volumes prélevables de l'Agly et du Tech - Phases 1 à 4, Ginger. Dans ces études les restitutions ont été estimées principalement à partir d'enquêtes de terrain : mesures des débits restitués via les décharges le long des canaux ou en bout de canal.

Pour la vallée de la Têt, en reprenant l'hypothèse faite sur l'Agly et le Tech, 10% des volumes bruts distribués par les canaux réalimenteraient le système nappe-rivière. La recharge de la nappe par l'agriculture serait de 20,6 Mm³/an (les prélèvements bruts annuels dans la Têt et ses affluents en aval du barrage de la Vinça sont de 206 Mm³/an).

Ces estimations restent entachées d'imprécision. Cependant, faute de données plus précises, nous retiendrons ces ordres de grandeur qui paraissent cohérents.

La recharge prenant place depuis les canaux pourrait être évaluée de plusieurs façons, dont en particulier :

- de la même façon que pour la recharge par les pluies efficaces en considérant que les pertes sont proportionnelles à la remontée constatée de la nappe ; le coefficient de proportionnalité étant alors la porosité efficace qui peut être déterminée par essai de pompage ;
- par une approche dynamique en considérant que le dôme piézométrique induit par les pertes du canal s'écoule selon la loi de Darcy ; le calcul requiert alors de connaître la perméabilité des formations (qui peut également être déterminée par essai de pompage) et le gradient piézométrique mesuré de part et d'autre du canal.

Par exemple, si l'on considère la variation moyenne du niveau piézométrique observé dans le Quaternaire à Millas (de l'ordre de 2m, voir graphique en annexe) et cette variation comme uniquement due aux apports par l'irrigation, une superficie des formations quaternaires de 80 km² et un coefficient d'emmagasinement de 0.05, la recharge due à l'irrigation serait de 8 Mm³/an, soit l'équivalent de 100 mm/an. Ceci nécessite cependant de disposer d'informations piézométriques adaptées à cette évaluation dans chaque secteur étudié et de bonnes connaissances sur les valeurs locales du coefficient d'emmagasinement.

Il semble donc difficile d'évaluer précisément les pertes des canaux sans la réalisation d'une étude hydrogéologique spécifique quantifiant la remontée piézométrique imputable à l'irrigation + la porosité efficace, ou bien la perméabilité + le gradient piézométrique de part et d'autre des canaux. Ce type d'études est réalisable avec la mesure de ces paramètres et le suivi de la piézométrie en plusieurs points des secteurs d'irrigation.

Cela pourrait se faire en suivant en parallèle les débits des canaux (par jaugeages sériés), les prélèvements effectués et les restitutions au cours d'eau.

b. Interaction entre les eaux superficielles et souterraines

- L'Agly semble être drainante sur son cours amont et sur son cours aval avec une zone perdante sur son cours intermédiaire (d'après les mesures piézométriques estivale et printanière). En l'absence de données bibliographiques détaillées pour ce fleuve, il est cependant difficile de quantifier les échanges (pertes ou gains) entre le cours d'eau et les nappes. Dans le cours aval de ce fleuve, le quaternaire serait protégé par une couche peu perméable à imperméable. Les échanges entre le cours d'eau et les nappes y sont donc très vraisemblablement limités. Ce fait est cependant questionnable dans la mesure où les fleuves peuvent entailler de façon importante les formations peu perméables en place et où les puits et forages limitrophes des cours d'eau sur leur partie aval sont très productifs (ce qui laisse à penser un lien fort avec le cours d'eau).
- La Têt semble être à la fois drainante et perdante sur sa partie amont entre Ille-sur-Têt et Perpignan (d'après les études de volumes prélevable sur la Têt réalisées par BRL en 2012), puis perdante entre Perpignan et Villelongue-de-la-Salanque et enfin drainante sur son cours aval (de Villelongue-de-la-

Salanque jusqu'à la mer). Dans ce secteur, le Quaternaire est protégé par une couche peu perméable à imperméable. Les échanges entre le cours d'eau et les nappes y sont donc très vraisemblablement limités. D'après les cartes piézométriques, la nappe quaternaire alimente le fleuve en rive gauche entre St-Féliu et Perpignan, ainsi qu'en rive droite au niveau des alluvions récentes (entre Ille-sur-Têt et St-Féliu). En rive droite à partir de St-Féliu-d'Avall et jusqu'en amont de Perpignan, le Pliocène affleure dans le lit de la rivière, entraînant une déconnection de la rivière et des alluvions.

Lors la Phase 3 de l'étude des volumes prélevables du bassin de la Têt ⁵ (BRL, 2012), BRL a reconstitué les débits naturels de la Têt entre le barrage de Vinça et Perpignan, ce qui a conduit à supposer l'existence de pertes en eau de la Têt au profit des nappes plio-quadernaires. Ces pertes ont été estimées à 10 Mm³/an (BRL a jugé difficile la quantification de ces pertes). En amont de St-Féliu-d'Avall, le Quaternaire semble plutôt alimenter la Têt ou montrer un écoulement parallèle à la Têt, et les pertes y seraient donc limitées. A partir de St-Féliu-d'Avall et jusqu'à Perpignan, les formations quaternaires semblent plutôt alimenter le fleuve.

Au regard des cartes piézométriques, les pertes de la Têt dans le Quaternaire semblent limitées. Par ailleurs, le Pliocène est affleurant entre St-Féliu-d'Avall et Perpignan, et son niveau piézométrique est supérieur au niveau piézométrique de la nappe quaternaire et du fleuve. Il semble donc que le Pliocène alimente à la fois le fleuve et la nappe quaternaire (Figure 10) dans ce secteur. Les pertes de la Têt dans le Pliocène semblent donc là aussi limitées. Les cartes piézométriques étant réalisées à l'échelle de la plaine, il est difficile de déterminer les liens entre les différentes nappes et le cours d'eau sur un secteur spécifique. Les cartes piézométriques ne permettent par ailleurs pas de mettre en évidence les écoulements de subsurface de la rivière.

Selon certaines observations, même lorsque les nappes quaternaires sont déconnectées du fleuve et que celui-ci court sur les argiles pliocènes, un drainage des nappes quaternaires peut exister. Cela se voit sur le terrain où par temps sec on peut observer sur le terrain des ruissellements sur les berges argileuses rejoignant le fleuve. Etant donnée la conductivité de cette eau, on peut en déduire que cette eau provient des nappes quaternaires. Puisque les cartes piézométriques indiquent sur toute la partie amont (jusqu'à Perpignan) un drainage des nappes quaternaires par le fleuve, les pertes du fleuve se feraient donc principalement dans le Pliocène. Ce dernier présentant plus en aval une drainance ascendante, cette recharge se ferait a priori principalement sur la partie amont de la plaine.

Au final, il apparaît que les relations entre la Têt et les nappes quaternaires et pliocènes sont complexes et semblent varier rapidement dans le temps et dans l'espace. L'étude des volumes prélevables réalisée sur ce fleuve aurait pu apporter à ce sujet des informations pertinentes, mais semble s'être heurtée aux limites des connaissances et des méthodes d'investigation.

⁵Etude des volumes prélevables du bassin de la Têt – Phase 3 – Avril 2012 - BRL

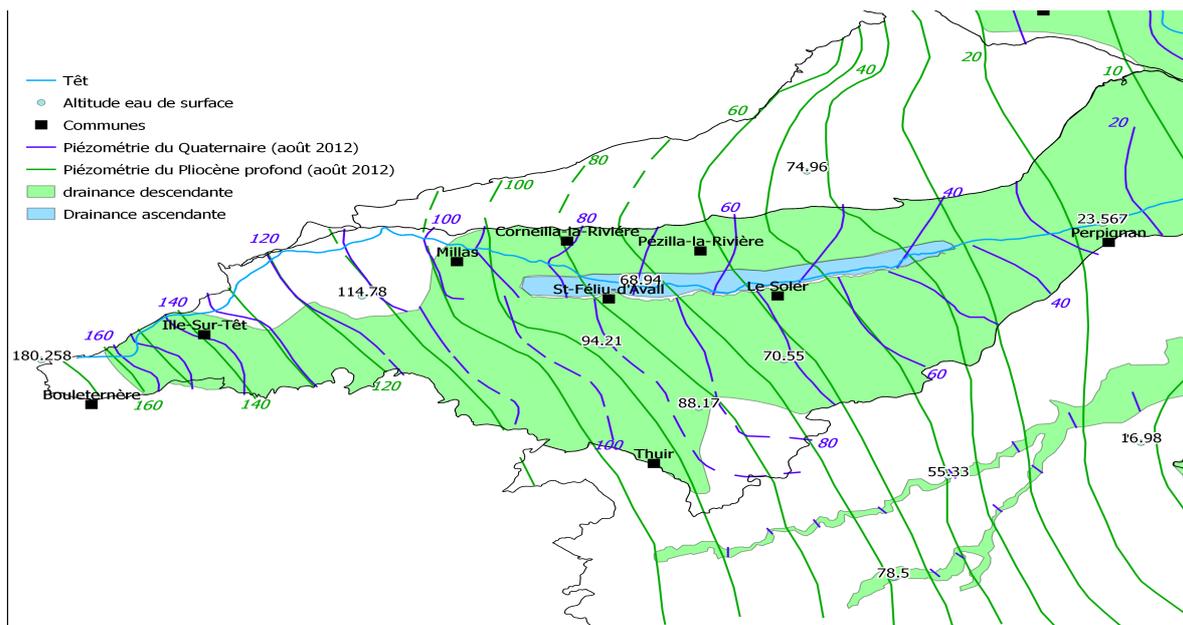


Figure 10 : Piézométrie du quaternaire et du pliocène (août 2012) et altitude de la Têt

- Le Réart est un cours d'eau temporaire qui est a priori perdant. La difficulté pour quantifier ses échanges avec le Pliocène est que la majeure partie de l'écoulement du Réart est occulte puisqu'elle a lieu dans les alluvions grossières de son lit. Etant donné qu'il n'est pas possible d'effectuer des jaugeages sériés dans de telles conditions, il est impossible de déterminer avec précision s'il participe de manière importante à l'alimentation du Pliocène.
- Le Tech semble être drainant sur son cours amont. D'après l'étude des volumes prélevables réalisée sur le bassin versant du Tech ⁶, le fonctionnement de la partie basse de ce fleuve s'avère relativement complexe en période d'étiage. Différents échanges ont lieu entre le lit d'étiage du cours d'eau et la nappe d'accompagnement. Cette nappe alluviale se caractérise dans le secteur d'Ortaffa par la présence d'un paléo-chenal se prolongeant vers Elne, St-Cyprien et la Tour-Bas – Elne. Les échanges avec la nappe alluviale et le paléo-chenal se manifestent en période d'étiage (selon les estimations de débit) par une réduction des écoulements du Tech entre le Boulou et le pont d'Elne et ce dès le QMNA2, dont le débit estival est estimé à hauteur de 100 à 200 l/s. Le gain pour la nappe serait ainsi compris entre 1,6 Mm³/an et 3,2 Mm³/an. Dans le cours aval de ce fleuve, le Quaternaire est protégé par une couche peu perméable à imperméable. Les échanges entre le cours d'eau et les nappes y sont donc vraisemblablement limités.

Il semblerait donc pertinent de mener des études spécifiques sur les échanges entre les nappes et les fleuves. Ces études devraient couvrir tout le linéaire des fleuves et de leur principaux affluents, sur une échelle de temps suffisamment longue pour appréhender les variations, voire les inversions, d'échange. Elles devraient permettre également de répondre à la question de l'impact sur les cours d'eau des prélèvements exercés sur les nappes.

⁶ Etude de détermination des volumes prélevables – Bassin du Tech Phases 1,2 et 3 Bilan et impact des prélèvements Quantification des ressources. Novembre 2011, Ginger Environnement.

c. Synthèse

Le Tableau 5 dresse le bilan des apports aux nappes quaternaires des eaux de surface et de l'irrigation. La Figure 11 illustre les échanges entre les nappes quaternaires et pliocènes et les cours d'eau.

Tableau 5 : Apport par les rivières et par l'irrigation

Entrées (Mm ³ /an)	Alimentation par les eaux de surface	Apport par l'irrigation	Total
Vallée de l'Agly	?	1,1	?
Vallée du Tech	2.4	3.1	5.5
Vallée de la Têt	10	20.6	30.6
Total	12.4	24.8	37.2



Figure 11 : Echanges entre nappes et rivières

2.2.3 Recharge par les pluies

Le calcul de la recharge potentielle des nappes par les pluies a été détaillé dans le rapport d'étape 1 de la Phase 2 discutant les chroniques piézométriques du réseau de suivi. Cette recharge a été calculée au pas de temps décennales à partir des données des stations météorologiques de Perpignan, Opoul, Vinça et Cap-Béar.

Une interpolation de cette recharge potentielle a été réalisée à l'échelle de la plaine en tenant compte des altitudes données par le modèle numérique de terrain (MNT). Cette interpolation a permis d'établir une sectorisation de la plaine en zones de recharge considérée homogènes (Figure 12).

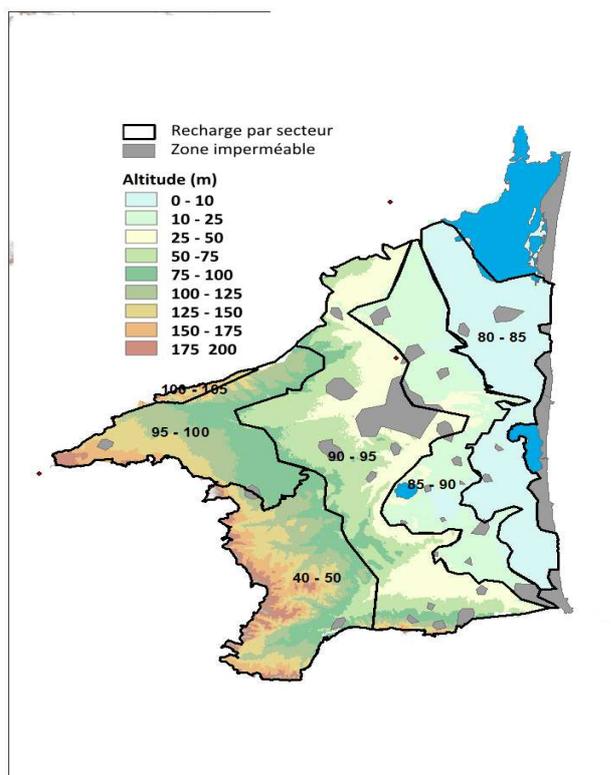


Figure 12 : Sectorisation de la plaine du Roussillon en zones de recharge (mm/an)

La recharge calculée tient compte des caractéristiques hydriques des sols, c'est-à-dire des propriétés de la zone racinaire utilisée par les plantes. La recharge ne tient cependant pas compte des caractéristiques de la formation géologique sous-jacente au sol. Une modification de la recharge calculée a donc été effectuée dans les secteurs suivants :

- sur le Pliocène affleurant où la recharge est réduite par le fait que cette formation est plutôt argileuse en surface, nous avons repris les données de Chabart (1996) et de la modélisation du BRGM de 1992 pour ces secteurs, soit 45 mm/an ;
- sur la frange littorale où la couverture semi-perméable recouvrant le quaternaire réduit aussi la part de la recharge, où nous avons considéré cette même valeur de 45 mm/an ;
- sur les zones urbaines qui sont considérées comme des surfaces imperméabilisées (représentées en gris sur la carte) où la recharge a donc été considérée nulle.

Notion d'imperméabilité et possibilité de recharge de l'aquifère pliocène : Le Pliocène est souvent considéré captif, en particulier le Pliocène profond. Il est cependant d'usage de lui affecter un coefficient d'emmagasinement de 0,1%. Cette valeur de coefficient d'emmagasinement correspond en fait à la valeur limite des nappes captives et des nappes des nappes libres. Actuellement, avec l'introduction de la notion de nappes semi-captives, une telle valeur du coefficient d'emmagasinement correspond plutôt à une nappe semi-captive. Chabart (1996) a d'ailleurs considéré le Pliocène comme un aquifère semi captif. Musy et Higy (2004)⁷ mentionnent par exemple que la porosité efficace (d'une nappe libre donc) varie généralement entre 0,1% à 30%.

⁷ Musy A. et Higy C., 2004, *Hydrologie (1. Une science de la nature)*, Presses polytechniques et universitaires romandes

Etude des volumes prélevables des nappes plio-quaternaires de la plaine du Roussillon Phase 2 – Etape 3 : Estimation des volumes prélevables	23
---	----

Même si la couche ‘confinante’ ne permet pas un écoulement rapide et important, elle peut parfois permettre une recharge significative. Il est par exemple considéré que les formations argileuses ont une perméabilité de 10^{-7} à 10^{-10} m/s. Or une perméabilité de 10^{-7} m/s permet une recharge de 3 m/an et une perméabilité de 10^{-9} m/s une recharge de 30 mm/an. Les notions de captivité et d’imperméabilité sont donc très relatives et fonction de l’échelle de temps considérée. La perméabilité retenue par Auroux (1992) pour l’éponte semi-perméable constituant le toit du Pliocène profond est de $2,5 \cdot 10^{-9}$ m/s. Cette valeur de perméabilité permet donc une recharge de 75 mm/an.

Mise en place du Pliocène : De façon schématique et globale, on peut considérer que les dépôts situés en amont de la plaine correspondent aux formations les plus grossières résultant du démantèlement des reliefs. Au fur et à mesure de leur transport les particules qui se déposent sont de plus en plus fines, et les argiles finissent par se déposer en mer ou dans les lacs présents. Les formations pliocènes sont donc susceptibles d’être de plus en plus argileuses et donc imperméables en allant vers la mer. Lors de la crise messinienne, la Méditerranée étant plus basse (voire absente), des formations sédimentaires grossières se sont déposées bien après l’actuel trait de côte. Lors de la remontée des eaux au Pliocène, ces formations ont été recouvertes par des argiles marines. Sur le continent, les formations grossières (aquifères) sont donc plutôt semi-captives (avec possibilité de drainance ascendante ou descendante) alors qu’elles sont plus nettement captives sous les argiles marines (donc au-delà du trait de côte). Ceci est compatible avec les valeurs faibles, voire nulles, des sorties en mer calculées par les différentes modélisations réalisées depuis 1982 (le bilan 1982 évaluait ces sorties à $0.8 \text{ Mm}^3/\text{an}$).

Les zones de recharge ont été croisées sous SIG avec les zones d’affleurement du Quaternaire et du Pliocène afin de déterminer la recharge pour chacune des nappes. La recharge moyenne ainsi calculée est de $42 \text{ Mm}^3/\text{an}$ pour les nappes quaternaires et de $21 \text{ Mm}^3/\text{an}$ pour les nappes pliocènes, soit une recharge totale de $63 \text{ Mm}^3/\text{an}$. Pour chaque secteur, la recharge a également été définie. Les résultats sont présentés au Tableau 6. La recharge par les pluies s’effectue principalement dans le secteur Aspres-Réart pour le Pliocène tandis que le Quaternaire se recharge principalement dans la vallée de la Têt.

Tableau 6 : Recharge moyenne annuelle du Pliocène et du Quaternaire par les pluies

Recharge (Mm^3/an)	Quaternaire	Pliocène
Bordure côtière Nord	4.2	
Secteur Agly-Salanque *	8.2	6.0
Secteur de la Têt	14.1	
Secteur Aspres-Réart	1.3	13.6
Secteur du Tech	6.0	
Bordure côtière Sud	8.2	1.4
Total par nappe	42.0	21.0
Total toutes nappes confondues	63.0	

* : le secteur Agly-Salanque n’inclut pas que la vallée de l’Agly et la Salanque (voir Figure 1).

La recharge estimée par le bilan hydrologique réalisé en 1982 était de $48,3 \text{ Mm}^3/\text{an}$ pour le Quaternaire et $8.3 \text{ Mm}^3/\text{an}$ pour le Pliocène, soit une recharge globale de $56,6 \text{ Mm}^3/\text{an}$. Le bilan de Chabart (1996) estimait une recharge (pluie + irrigation) de $48.7 \text{ Mm}^3/\text{an}$ pour le Quaternaire et $17.2 \text{ Mm}^3/\text{an}$ pour le Pliocène, soit une recharge globale de $65.9 \text{ Mm}^3/\text{an}$. Nos calculs estiment une recharge de $42.0 \text{ Mm}^3/\text{an}$ pour le Quaternaire et de

Etude des volumes prélevables des nappes plio-quaternaires de la plaine du Roussillon Phase 2 – Etape 3 : Estimation des volumes prélevables	24
---	----

21.0 Mm³/an pour le Pliocène, pour un total de 63.0 Mm³/an. Notre recharge globale sur le système plio-quaternaire est donc intermédiaire aux bilans réalisés en 1982 et 1996.

Les modélisations réalisées dans les années 90 (BRGM et Chabart) ne différencient pas la recharge du Quaternaire par les pluies de celle due à l'irrigation. Dans ces deux estimations, il est donc difficile de comparer nos valeurs de recharge à celles des bilans 1992 et 1996. Si l'on considère les volumes potentiels contribués par l'irrigation provenant de la littérature et discutés à la section 2.2.2, la recharge des nappes quaternaires par les pluies et l'irrigation serait selon nos calculs de 66.8 Mm³/an contre 48.7 Mm³/an pour Chabart. La différence provient vraisemblablement de la minimisation de la recharge par l'irrigation dans les études précédentes. La modélisation réalisée en 1982 mentionne la prise en compte des retours d'irrigation mais n'en donne pas l'importance dans les termes du bilan.

Pour le Pliocène, la différence entre notre estimation (21.0 Mm³/an) et celle de Chabart (16.0 Mm³/an) est de l'ordre de 24%, soit de l'ordre de la fiabilité de l'estimation d'une recharge qui est considérée de l'ordre de $\pm 20\%$.

2.3 Evaluation des sorties

2.3.1 Prélèvements

Tableau 7 : Prélèvements exercés dans le Quaternaire et le Pliocène

Prélèvements (Mm ³ /an)	Pliocène	Quaternaire
Bordure côtière Nord	4.5	4.7
Vallée de l'Agly	4.9	1.6
Vallée de la Têt	21.4	16.0
Aspres	8.1	0.2
Vallée du Tech	2.0	4.3
Bordure côtière Sud	5.4	8.3
Total	46.3	35.1

Les prélèvements globaux par nappe et par secteur ont été estimés pour l'année 2010 en Phase 1 du projet. Ils sont (Tableau 7) de 46.3 Mm³/an pour le Pliocène contre 35.1 Mm³/an pour le Quaternaire.

2.3.2 Eaux souterraines drainées par les fleuves

Comme mentionné dans le paragraphe sur les interactions entre les eaux superficielles et souterraines, les trois fleuves de la plaine sont drainants sur une grande partie de leur parcours. Malheureusement, il n'existe aucune donnée bibliographique (notamment pour l'Agly et le Tech) permettant de quantifier les flux drainés par ces fleuves. L'ordre de grandeur de ces pertes ne pourra être estimé qu'après avoir fait le bilan des entrées et des sorties du quaternaire.

Alimentation de la Têt par la nappe : Lors des phases 1 et 2 de l'étude des volumes prélevables du bassin de la Têt (BRL, 2012), une campagne de mesure a été réalisée en août 2010 entre le barrage de Vinça et l'amont du prélèvement du canal des Quatre Cazals afin d'estimer les apports en eau hors canaux.

Le tronçon de la Têt situé entre l'aval immédiat du barrage de Vinça et l'entrée de Perpignan est confronté aux pressions agricoles les plus importantes du département. Néanmoins, il n'existe aucune station de mesure entre le barrage de Vinça et la ville de Perpignan pouvant apporter des indications précises pour estimer les retours. Deux campagnes de mesures ont donc été réalisées par BRL pour connaître, dans un pas de temps restreint :

- le débit de la Têt (en plusieurs tronçons),
- les prélèvements bruts,
- les apports éventuels.

Selon cette étude, un apport de 3,17 m³/s prendrait place entre le barrage et la prise d'eau du canal des Quatre Cazals. Les apports des affluents ont été mesurés par BRL. La plupart étaient à sec sauf le Riuffages (0.04 m³/s), Le Boulès (0.7 m³/s), la Coumelade (0.08 m³/s) et le Castelnou (0.2 m³/s). L'ensemble constitue un apport total estimé à 0.84 m³/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.

BRL a estimé les apports totaux hors canaux à 0.4 m³/s, débit qui semble a priori être une hypothèse haute. Il semble donc que cet apport provient des nappes (soit directement dans le lit de la Têt, soit par soutien d'étiage des affluents) et d'écoulements hypodermiques. Au regard des cartes piézométriques d'août 2012 et d'avril 2103, les variations piézométriques ne sont pas très importantes. Il semble donc que le flux d'échange serait relativement constant durant l'année puisqu'il est régi par la différence de niveaux d'eau entre les nappes et la rivière. En prenant l'hypothèse que ce débit provienne des eaux souterraines et que le débit estimé par BRL est constant tout au long de l'année, les pertes des nappes seraient donc de 13 Mm³/an. Les parts respectives provenant du Pliocène et du Quaternaire est inconnu, mais il semblerait au regard des cartes piézométriques que ce soit principalement le Quaternaire qui alimente le fleuve.

Tableau 8 : Flux d'eau souterraine drainés par les fleuves

SORTIES (Mm ³ /an)	Pliocène et Quaternaire
Vallée de la Têt	13
Vallée de l'Agly	?
Vallée du Tech	?
Total	13

2.3.3 Sorties d'eau en mer

Dans le bilan réalisé en 1982, les volumes s'écoulant en mer étaient estimés à 0.8 Mm³/an pour le Pliocène et 7.4 Mm³/an pour le Quaternaire. D'après Chabart, 1996, ces volumes étaient de 20.2 Mm³/an pour le Quaternaire et nuls pour le Pliocène.

D'après la thèse d'Aunay, le Pliocène est recouvert en mer par une épaisse couche d'argile (20m) qui le protège des intrusions salines. On peut donc supposer que les sorties d'eau en mer du Pliocène sont faibles et s'exercent exclusivement pas drainance. Le Pliocène étant peu ou pas en charge le long du littoral, la sortie par drainance ascendante est vraisemblablement très faible de nos jours.

A partir des cartes piézométriques estivale et printanière du Quaternaire, une estimation des flux sortant en mer est possible en utilisant la loi de Darcy. Sur un secteur donné, le gradient piézométrique moyen est

Etude des volumes prélevables des nappes plio-quaternaires de la plaine du Roussillon Phase 2 – Etape 3 : Estimation des volumes prélevables	26
---	----

déterminé ainsi que les transmissivités moyennes. Un flux moyen annuel est déterminé à partir des sorties en mer calculées pour les situations printanière et estivale. Les résultats sont présentés au Tableau 9.

Tableau 9 : Flux moyens annuels des sorties en mer pour les bordures côtières Nord et Sud estimés à partir des cartes piézométriques d'août 2012 et avril 2013

Nappe	Secteur	Gradient	Transmissivité (m ² /s)	Distance (m)	Flux (Mm ³ /an)	%
Quaternaire	Bordure côtière Nord	0.0007	1.7 10 ⁻²	18598	7.0	30
	Bordure côtière Sud	0.001	2.6 10 ⁻²	18665	15.3	66
Pliocène	Bordure côtière Nord	~ 0.0	5.0 10 ⁻³	18598	0.0	0
	Bordure côtière Sud	0.001	2.0 10 ⁻³	18665	1.1	5

Le flux total sortant en mer serait de 23.3 Mm³/an. Les cartes piézométriques utilisées sont celles d'août 2012 et d'avril 2013. Ces années ont été plus humides qu'une année climatique moyenne. Les sorties en mer estimées avec ces cartes surestiment donc vraisemblablement les flux moyens des sorties en mer. Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que les valeurs proposées par Chabart (1996) qui étaient de 20.2 Mm³/an.

Concernant la bordure côtière Nord, le gradient durant l'été est pour partie dirigé vers l'intérieur des terres en direction des captages AEP dans le secteur de St-Hippolyte – Barcarès – Ste-Marie. Il est ainsi difficile d'évaluer un gradient moyen estival le long du littoral. Par ailleurs, cet état d'inversion du gradient ne dure que durant les mois des forts prélèvements. Il est donc très difficile d'évaluer un gradient moyen annuel le long du littoral de la bordure côtière Nord. Ce secteur devrait donc faire l'objet d'une étude spécifique prenant en compte l'ensemble des prélèvements et leur variation durant l'année.

2.4 Drainance entre nappes

La drainance verticale potentielle prenant place dans chaque secteur entre les nappes quaternaires et pliocènes a été calculée à l'étape 2 de la Phase 2 de cette étude à l'aide des cartes piézométriques estivale et printanière réalisées. Ces calcul ont considéré une perméabilité de l'éponte semi-perméable de 2,5 10⁻⁹ m/s tel qu'utilisée par Auroux (1992) et des épaisseurs variables de cette éponte tel que renseignées par les logs géologiques d'ouvrages de chaque secteur.

Tableau 10 : Drainance verticale annuelle (minimal, maximal et moyenne) au profit de l'entité mentionnée

Drainance (Mm ³ /an)	Epaisseur maximale de l'éponte		Epaisseur minimale de l'éponte		Epaisseur moyenne de l'éponte		Surface de drainance (km ²)
	Pliocène	Quaternaire	Pliocène	Quaternaire	Pliocène	Quaternaire	
Bordure côtière Nord	3.8		17.8		9.2		106
Vallée de l'Agly-Salanque		0.4		0.2		0.4	69
Vallée de la Têt	3.1		13.0		5.1		107
Aspres-Réart	0.8		1.3		1.1		15
Vallée du Tech	2.0		5.0		2.9		30
Bordure côtière Sud	0.6		1.5		0.8		113
Total	10.4	0.4	38.6	0.2	19.1	0.4	440

A l'échelle annuelle, les flux de drainance verticale (Tableau 10 et Figure 13) s'exercent principalement au profit du Pliocène (drainance descendante), avec un gain de $19.1 \text{ Mm}^3/\text{an}$ pour le Pliocène contre un gain de $0.4 \text{ Mm}^3/\text{an}$ pour le Quaternaire. Le bilan net est donc de $18.7 \text{ Mm}^3/\text{an}$ au profit du Pliocène. Ce bilan net est bien plus élevé que les gains nets évalués dans l'étude de 1982 ($8.0 \text{ Mm}^3/\text{an}$) et de Chabart ($4.3 \text{ Mm}^3/\text{an}$). Cette différence pourrait provenir de l'augmentation des prélèvements AEP qui induisent actuellement une dépression piézométrique très importante dans les secteurs de l'Agly-Salanque et de la bordière côtière Nord, d'une surestimation de son rôle dans notre étude ou d'une sous-estimation dans les études précédentes.

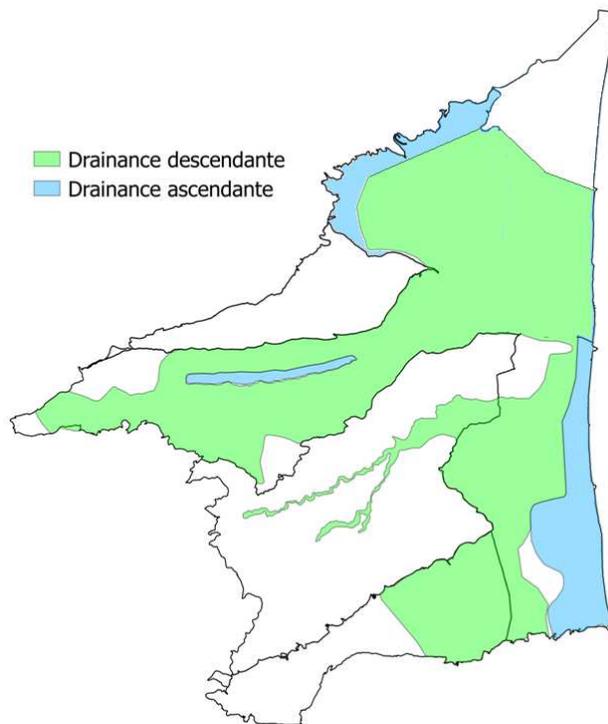


Figure 13 : Zones de drainance moyenne à l'échelle annuelle

Rappelons cependant que nous avons mentionné dans le rapport d'étape 2 de Phase 2, que le rôle du Pliocène de la Salanque est difficile à évaluer. En effet dans les deux secteurs incriminés, la piézométrie du Pliocène de la Salanque n'est pas bien connue. Etant donnée l'hétérogénéité spatiale des matériaux, la perméabilité et l'épaisseur de l'éponte, il est ainsi difficile d'estimer avec précision les drainances entre nappes.

Etude des volumes prélevables des nappes plio-quaternaires de la plaine du Roussillon Phase 2 – Etape 3 : Estimation des volumes prélevables	28
---	----

2.5 Ebauche de bilan hydrologique et incertitudes

Tableau 11 : Bilan entrée/sortie des nappes pliocènes et quaternaires

	Termes du bilan en Mm ³ /an	Pliocène	Quaternaire	Global
Entrées	Massifs périphériques	?	?	17
	Eaux superficielles	?	?	> 12
	Irrigation		25	25
	Recharge par les pluies	21	42	63
	Drainance entre les nappes	19	< 1	
	Total des entrées			> 117
Sorties	Prélèvements	46	35	81
	Eaux drainées par les fleuves	?	?	> 13
	Sorties en milieu marin	1	22	23
	Drainance entre les nappes	< 1	19	
	Total des sorties			> 117

Les termes du bilan ne sont pas tous connus avec le même degré de précision. Les termes les moins bien renseignés sont surlignés en gris. Même si les autres termes (non surlignés en gris) sont mieux renseignés, ils sont cependant entachés d'incertitudes et de lacunes de connaissance. Nous allons donc discuter ci-après de chacun des termes du bilan et des incertitudes qui y sont rattachées.

Le tableau indique que 29 Mm³/an d'eau entrant dans le système plio-quaternaire (17 Mm³ pourraient provenir des massifs périphériques et 12 Mm³ de l'alimentation par les rivières) ne sont pas affectés à l'une ou l'autre des nappes. Les apports par les massifs périphériques semblent assez bien connus dans la mesure où l'étude sur le Karst des Corbières a permis d'évaluer ses apports à la Plaine du Roussillon et où les autres massifs périphériques semblent contribuer peu ou de façon bien moindre.

Les échanges entre les fleuves (notamment pour l'Agly et le Tech) sont pour l'heure méconnus et le bilan des échanges pour la Têt reste d'après BRL entaché d'imprécision.

Les apports par l'irrigation, même s'ils ne sont pas très bien évalués, semblent parmi les termes les mieux connus, du fait des différentes études qui les ont concernés. Ces flux concernent presque exclusivement le Quaternaire.

Les incertitudes concernant la recharge par les pluies sont principalement dues à la variabilité spatiale des conditions locales d'infiltration et de ruissellement et aux caractéristiques des sols. On peut penser que l'erreur locale due à ces incertitudes est importante, mais qu'elle se compense à l'échelle d'un secteur ou d'une nappe. Des incertitudes peuvent également résulter de la variabilité spatiale des pluies et de l'évapotranspiration. On peut estimer que l'incertitude sur la pluviométrie serait de $\pm 20\%$ (soit une fourchette de 40%) comme classiquement considéré dans ce type d'étude. La recharge par les pluies demeurent cependant l'un des paramètres les mieux connus à l'échelle de la plaine.

Les flux de drainance verticale entre les nappes ont été estimés à partir des cartes piézométriques estivale et printanière. Ces cartes sont représentatives de l'état des nappes en hautes et basses eaux. L'estimation des flux

Etude des volumes prélevables des nappes plio-quaternaires de la plaine du Roussillon Phase 2 – Etape 3 : Estimation des volumes prélevables	29
---	----

de drainance a été calculée comme la moyenne des flux de ces deux états, ce qui n'est vraisemblablement pas représentatif du comportement moyen des nappes. Par ailleurs, les états piézométriques utilisés se réfèrent à une année plus pluvieuse qu'à l'accoutumée ce qui peut également fournir des flux de drainance non représentatifs d'une année climatique moyenne. Nonobstant ces remarques, les flux de drainance verticale semblent l'un des termes assez bien connus à l'échelle des secteurs.

Les prélèvements AEP (qui représentent les plus importants volumes prélevés) sont très bien connus. Les prélèvements agricoles et industriels qui font l'objet de déclaration sont assez bien connus. Les prélèvements domestiques ne sont pas connus et ont faits l'objet d'estimation. Les prélèvements sont donc dans leur globalité assez bien connus même si une amélioration de leur connaissance devra être faite.

Comme pour les entrées du bilan, les échanges entre les nappes et les cours d'eau sont très mal connus et devront faire l'objet d'une amélioration des connaissances.

Les sorties vers le milieu marin sont considérées bien connues puisqu'elles résultent des mesures piézométriques et des transmissivités mesurées par essai de pompage.

Les différentes incertitudes existant au niveau de la réalisation du bilan ne permettent pas de statuer sur l'équilibre ou le déséquilibre du bilan et donc du système plio-quaternaire.

3 Discussion sur les volumes prélevables

Les volumes prélevables sont définis comme les volumes d'eau qui peuvent être prélevés annuellement dans les nappes plio-quaternaires sans entraîner une baisse interannuelle des niveaux d'eau ni une dégradation de sa qualité (y compris par une menace d'intrusion du biseau salé). Pour les nappes quaternaires, les volumes prélevables doivent également permettre d'assurer le bon état des eaux superficielles qu'elles alimentent. Nous allons donc tour à tour discuter de ces trois aspects, à savoir des prélèvements potentiels :

- sans entraîner une baisse interannuelle des niveaux d'eau ;
- sans entraîner une dégradation de la qualité (y compris par intrusion du biseau salé) ;
- en assurant le bon état des eaux superficielles que les nappes quaternaires alimentent.

3.1 Vis-à-vis du maintien de la quantité

Pour le Quaternaire, il n'est pas possible de dresser un bilan global à cause des imprécisions sur les termes du bilan. Une analyse secteur par secteur est également hasardeuse étant donnée la nature très compartimentée des entités quaternaires.

Si l'on se base sur les chroniques piézométriques qui sont les seules informations suffisamment précises et longues, il semble qu'il n'y ait pas de déficit avéré sur les nappes quaternaires. Ceci provient vraisemblablement du fait que ces nappes n'ont pas une inertie très importantes et qu'elles se reconstituent donc très rapidement après un épuisement également rapide. Localement, elles apparaissent soutenues par les apports superficiels, en particulier par l'irrigation.

En l'absence de déficit chronique observé, il semblerait donc que les prélèvements actuels respectent l'équilibre des nappes quaternaires dans leur globalité. Le volume prélevable global correspondrait donc aux volumes actuellement prélevés. Sur la bordure côtière, toute augmentation des prélèvements pourrait déséquilibrer la contribution des nappes quaternaires aux zones aval des rivières et favoriser l'intrusion d'eau salée depuis les étangs et la mer.

Pour le Pliocène, il n'est pas non plus possible de dresser un bilan global du pliocène considérant les imprécisions sur les termes du bilan. De même, une analyse secteur par secteur paraît hasardeuse.

Ici encore, les seules informations fiables et objectives sont les chroniques d'évolution piézométrique dont les informations synthétisées sont présentées au tableau ci-après.

De façon globale, on remarque (Tableau 12 et Figure 14) qu'il y a :

- peu de baisses importantes sur 10 ans (Terrats : 3.8 m, Ponteilla Nyls : 1.8 m) ;
- beaucoup de baisses moyennes à faibles (Ste Marie N3 ; Barcarès plage N4 ; Barcarès Saultlebar N4 ; Torreilles F3) à faibles (Bompas ; Barcarès plage N3 ; Argelès - Pont du Tech ; Millas Plio ; Ste Marie N4 ; Saint Nazaire Golf)
- quelques stabilité (Canet Phare ; St Laurent de la Salanque)
- quelques augmentations (Perpignan), voire très fortes augmentations (Pia F3 : 5.2 m ; Ex-Opoul : 6.5 m ; Corneilla : 2.3 m).

Etude des volumes prélevables des nappes plio-quadernaires de la plaine du Roussillon Phase 2 – Etape 3 : Estimation des volumes prélevables	31
---	----

Tableau 12 : Tendances observées sur les piézomètres du Pliocène

Piézomètre	Tendance observée
Pliocène de la Salanque	
Barcarès plage N3 (10912X0112/BAR3)	Baisse de 0.2 m sur 10 ans ; baisse sur 2002-2008 ; stabilisation sur 2008-2012
Ste Marie N3 (10916X0062/F1N3)	Baisse de 0.75m sur 7 ans ; baisse sur 2002-2007 ; stabilisation sur 2007-2009
Bompas (10915X0255/F2N3)	Baisse de 0.15m sur 10 ans ; baisse sur 2003-2008 ; augmentation sur 2008-2012
Pliocène profond	
Ex-Opoul (10911X0137/F2)	Augmentation de 6.5 m sur 7 ans ; baisse sur 2006-2008 ; augmentation sur 2008-2012
Barcarès Saultlebar N4 (10912X0024/F)	Baisse de 1.0 m sur 10 ans ; baisse sur 2002-2008 ; augmentation sur 2008-2012
Barcarès plage N4 (10912X0111/BAR4)	Baisse de 0.6 m sur 10 ans ; baisse sur 2002-2008 ; stabilisation sur 2008-2012
St Laurent de la Salanque (10912X0061/F3N4)	Stable sur 10 ans ; stabilisation sur 2002-2008 ; augmentation sur 2008-2012
Torreilles F3 (10912X0110/TOR3)	Baisse de 0.8 m sur 10 ans ; baisse sur 2002-2008 ; baisse sur 2008-2012
Ste Marie N4 (10916X0061/F1N4)	Baisse de 0.3 m sur 10 ans ; baisse sur 2002-2008 ; baisse sur 2008-2012
Canet Phare (10916X0090/PHARE)	Stable sur 10 ans ; baisse sur 2002-2008 ; augmentation sur 2008-2012
Pia F3 (10915X0316/F3)	Augmentation de 5.2 m sur 10 ans ; augmentation sur 2002-2008 ; stabilisation sur 2008-2012
Perpignan (10908X0263/FIGUER)	Augmentation de 0.3 m sur 10 ans baisse sur 2002-2008 ; stabilisation sur 2008-2012
Millas Plio (10906X0038/C2-2)	Baisse de 0.2 m sur 10 ans baisse sur 2002-2008 ; stabilisation sur 2008-2012
Terrats (10963X0059/MEDALU)	Baisse de 3.8 m sur 10 ans ; baisse sur 2002-2008 ; augmentation sur 2008-2012
Ponteilla Nyls (10964X0119/NYLS-1)	Baisse de 1.8 m sur 10 ans ; baisse sur 2002-2008 ; augmentation sur 2008-2012
Corneilla (10971X0155/PD5)	Augmentation de 2.3 m sur 10 ans ; augmentation sur 2006-2008 ; augmentation sur 2008-2012
Saint Nazaire Golf (10972X0098/FE1)	Baisse de 0.1 m sur 10 ans ; baisse sur 2002-2008 ; augmentation sur 2008-2012
Argelès - Pont du Tech (10972X0137/PONT)	Baisse de 0.2 m sur 10 ans ; baisse sur 2002-2007 ; augmentation sur 2007-2012

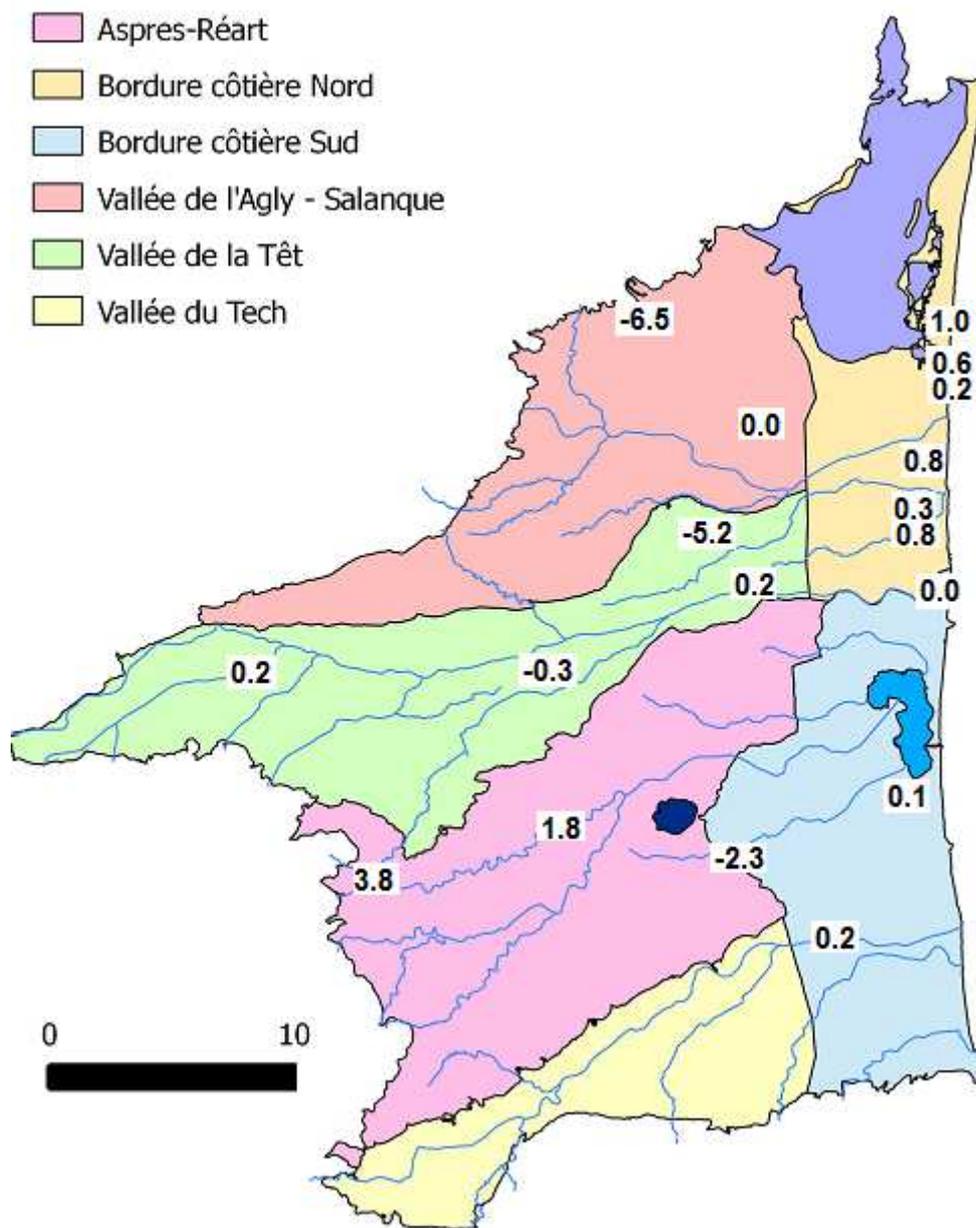


Figure 14 : Baisse piézométrique observée sur 10 ans (une valeur négative indique une augmentation)

L'augmentation observée sur le piézomètre de Pia qui remonte à partir de 2006 correspond à la baisse des prélèvements AEP situés non loin de lui et au déplacement du prélèvement à l'autre extrémité de la commune. Pour Corneilla, la remontée observée la deuxième partie des années 2000 correspond à la baisse régulière des prélèvements sur le champ captant de Montescot situé à quelques kilomètres (passant de 2,5 Mm³/an à 1,5 Mm³/an en 10 ans).

Sur 10 ans (2003-2012), la piézométrie des nappes pliocènes semble avoir peu baissé en moyenne, de l'ordre de 20 cm (considérant la médiane des valeurs ci-dessus). Elle a particulièrement baissé dans le secteur des Aspres et dans la bordure côtière Nord. Des remontées sont quant à elles observées dans les secteurs intermédiaires.

La tendance à la stabilisation, voire à la remontée, observée dans les dernières années (depuis 2008) sur la quasi-totalité des ouvrages de suivi peut être liée pour partie à la stabilisation, voire à la baisse des prélèvements, et pour partie à une pluviométrie plus importante que la moyenne.

Comme le montrent les valeurs de précipitations efficaces annuelles (Figure 15), la recharge potentielle varie considérablement d'une année sur l'autre.

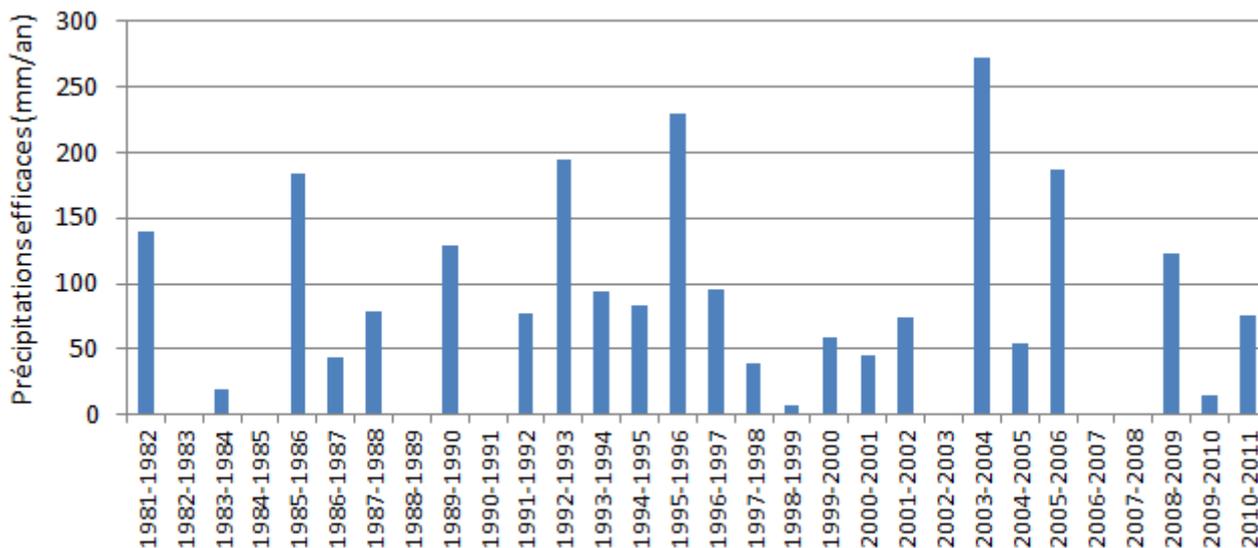


Figure 15 : Précipitations efficaces des 30 dernières années (station météo de Perpignan)

Le lissage sur deux années (moyennes sur 2 ans) des précipitations efficaces (Figure 16) montre clairement que les années 2002 à 2007 ont connu une baisse continue de la recharge (lissée) des nappes, alors que les années suivantes ont connu une certaine stabilisation de cette recharge (lissée). Les évolutions piézométriques semblent donc refléter cette même tendance.

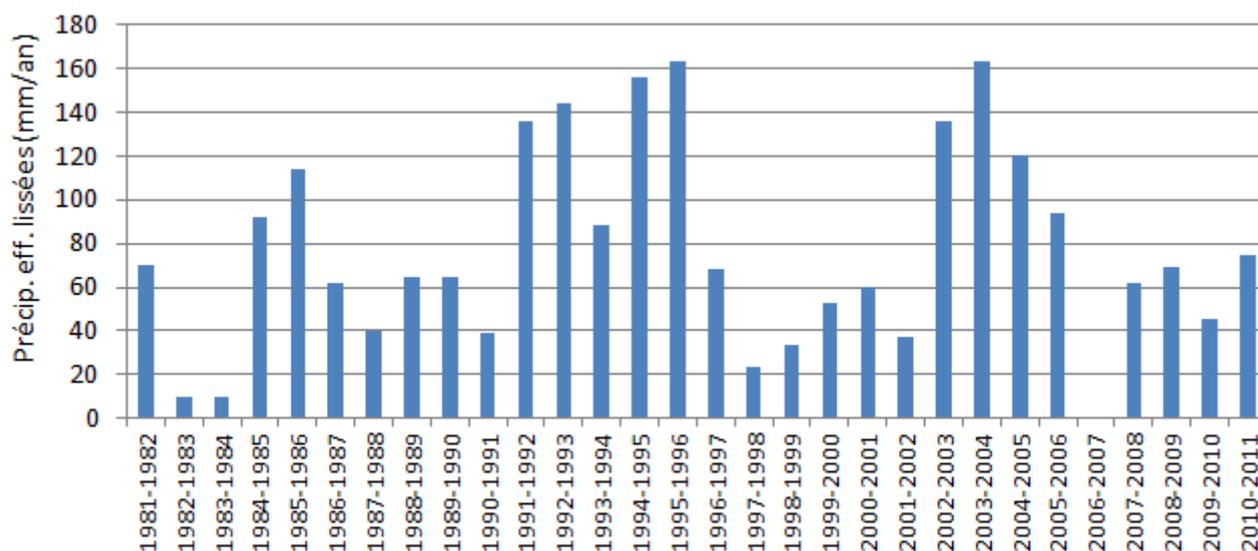


Figure 16 : Précipitations efficaces lissées sur deux ans (station météo de Perpignan)

Dans le cadre du projet Vulcain, Caballero et al (2012)⁸ ont évalué à 46.3% la contribution moyenne de la recharge au signal piézométrique de Perpignan, à 25.5 % celle des pompages « saisonniers » et à 28.3% celle du pompage de « base ». Selon cette analyse, le signal piézométrique serait donc expliqué pour moitié par la recharge par les pluies et pour l'autre par les prélèvements. Cette proportion peut bien entendu varier selon les secteurs en fonction des prélèvements exercés.

L'analyse statistique réalisée à l'étape 1 de la Phase 2 de ce présent projet a montré des corrélations croisées moyennement significatives entre les variations piézométriques et les précipitations (moyenne de 0.40 et écart-type de 0.16) et les précipitations efficaces (moyenne de 0.34 et écart-type de 0.15). Ceci confirmerait la dépendance partielle du signal piézométrique aux événements pluviométriques.

Les évolutions piézométriques observées et les tests statistiques semblent indiquer que :

- lorsque les prélèvements locaux sont diminués ou déplacés (cas des piézomètres de Pia et Corneilla par exemple), la piézométrie locale observée montre une réponse rapide à l'augmentation ; cette conclusion a également été faite par le projet Vulcain qui indique un retour rapide à une situation d'équilibre naturel dans le cas d'un arrêt des prélèvements, dont le délai a été évalué à environ 3 ans d'après leur calcul ;
- lorsque les prélèvements sont stabilisés (cas de la majorité des secteurs durant les dernières années), les variations interannuelles de la piézométrie seraient alors principalement dues aux variations de la recharge ; cette recharge varie en effet bien plus sur un cycle de quelques années que ne varient les prélèvements d'une année sur l'autre ;
- lorsque les prélèvements présentent une tendance à l'augmentation (cas de l'évolution globale des 40 dernières années), alors la piézométrie présente une tendance globale à la baisse.

De ceci ressortent les constats suivants :

- Les déficits saisonniers actuellement observés du fait de l'augmentation saisonnière des prélèvements, en particulier dans les secteurs de la Salanque et de la bordure côtière Nord, semblent se résorber durant la période hivernale suivante.
- Les déficits annuels observés en cas de baisse de la recharge sur une ou quelques années semblent être récupérés lors des années pluviométriques normales et excédentaires.
- **Les volumes prélevables sur les nappes pliocènes correspondraient donc aux volumes actuellement prélevés qui sont de 46 Mm³/an, en se basant sur les chiffres collectés.**

3.2 Vis-à-vis du maintien de la qualité

Nous nous sommes intéressés à la méthodologie utilisée par le BRGM dans le cadre de l'étude des volumes prélevables du Karst Mosson. Cette méthodologie consiste à mettre en relation l'évolution de la piézométrie et de la conductivité électrique de l'eau en fonction des prélèvements. Les augmentations de prélèvement entraînent en effet des baisses de la piézométrie (en particulier à l'étiage) qui peuvent favoriser l'intrusion d'eau salée en milieu côtier et être responsables de l'augmentation de la conductivité électrique de l'eau. Dans son étude sur le Karst Mosson et afin de corriger la situation dégradée de la ressource, le BRGM a ainsi recherché le débit optimal de prélèvement pour lequel la piézométrie à l'étiage augmentait positivement et

⁸ Impact du changement climatique sur un aquifère captif côtier : le pliocène du Roussillon. 18^e Journées Techniques du Comité Français d'Hydrogéologie. 15-17 mars 2012 - Cassis, France

Etude des volumes prélevables des nappes plio-quaternaires de la plaine du Roussillon Phase 2 – Etape 3 : Estimation des volumes prélevables	35
---	----

entraînait une diminution de la conductivité. Les auteurs avaient pour cela à leur disposition l'historique des prélèvements.

Sur notre secteur, l'évolution des prélèvements est malheureusement inconnue sauf pour l'AEP. Depuis une dizaine d'années les prélèvements pour l'agriculture pourraient avoir diminué en raison de la disparition de près d'un quart de la Surface Agricole Utile (SAU) sur la plaine du Roussillon (différence entre la SAU des RGA 2000 et 2010), mais aucune information sur la répercussion de cette baisse sur la consommation agricole en eau n'existe. Nous n'avons donc aucun historique fiable et suffisant des prélèvements pour que cette méthode puisse être mise en œuvre.

Les observations réalisées par le BRGM ⁹ (2012) sur la plaine du Roussillon montrent sur les 30 dernières années :

- une stabilité, voire une légère baisse, des teneurs en chlorures dans le secteur Elne – St-Cyprien ;
- une stabilité, voire une augmentation localisée, des teneurs en chlorures dans le secteur de St-Nazaire ;
- une stabilité, voire une augmentation localisée, des teneurs en chlorures dans le secteur de Canet ;
- une stabilité, voire une légère baisse avec augmentation localisée, des teneurs en chlorures dans les secteurs de Ste-Marie – Villelongue, et Torrelles ;
- une baisse ; avec augmentation localisée, des teneurs en chlorures dans les secteurs de Salses, St-Laurent – St-Hippolyte et Leucate ;
- une stabilité ou tendance à l'augmentation dans le secteur du Barcarès sur le N3.

Hormis sur le N3 du secteur du Barcarès, il ne semble donc pas y avoir de tendance marquée à l'augmentation des chlorures dans les ouvrages pliocènes de la plaine.

D'après l'état initial du SAGE ¹⁰, l'origine des chlorures dans le Quaternaire serait naturelle, notamment pour les secteurs du cordon dunaire en lien direct avec les étangs saumâtres et la mer. Certains secteurs entre Saint Nazaire et Salses étaient des zones humides saumâtres, ce qui est là encore une cause naturelle des chlorures dans la nappe quaternaire. Toujours d'après l'état initial du SAGE, les contaminations en chlorure sur les secteurs littoraux sont ponctuelles et sont principalement imputables à une contamination locale par les eaux saumâtres provenant des nappes quaternaires par l'intermédiaire d'ouvrages défectueux et non d'une avancée du biseau salé marin. Il est constaté depuis les années 1980, malgré l'augmentation des prélèvements, que la concentration en chlorures reste stable malgré ces problèmes de contaminations ponctuelles.

Concernant le possible impact d'une augmentation des prélèvements sur la position de l'interface eau douce/eau salée, Aunay (2007) indique que la position de l'interface n'est pas directement influencée par les prélèvements en raison d'écoulements contrôlés par des phénomènes de diffusion au sein de formations géologiques très peu perméables. Un risque d'intrusion saline dans les aquifères captifs du Pliocène est donc selon lui très peu probable.

Il semble donc que les prélèvements actuels n'entraînent qu'une légère détérioration localisée de la qualité des eaux du Pliocène, et que cette détérioration provienne des ouvrages défectueux qui favorisent l'entrée

⁹ Surveillance de l'aquifère plio-quaternaire du Roussillon. Observations réalisées en 2011. Rapport final BRGM/RP-60806-FR, Février 2012

¹⁰ SAGE des nappes plio-quaternaires de la plaine du Roussillon – Etat Initial – 2012.

d'eau salée depuis le Quaternaire. Ce point a d'ailleurs été discuté dans le rapport d'étape 2 de la Phase 2 du présent projet dans le cadre de la drainance entre nappes.

Les volumes prélevables correspondraient donc, selon les résultats du bilan et les évolutions piézométriques observées, aux prélèvements actuels dans la mesure où ces derniers n'entraînent pas de dégradation observée de la ressource. Il paraît cependant difficile de proposer des volumes prélevables supérieures aux prélèvements actuels, en particulier dans le Pliocène des secteurs littoraux dans la mesure où cette augmentation ne pourrait que favoriser les apports d'eau salée ou contaminée par les activités anthropiques depuis le quaternaire par drainance verticale descendante (surtout en période estivale) ou via les ouvrages mal conçus mettant en relation les nappes pliocènes et quaternaires.

De ces constats qualitatifs, les volumes prélevables sur les nappes pliocènes correspondraient donc aux volumes actuellement prélevés qui sont de 46 Mm³/an, en se basant sur les chiffres collectés.

3.3 Vis-à-vis de l'apport aux cours d'eau

La question qui se pose ici est de savoir si le cumul de tous les prélèvements dans les nappes a un impact sur le débit des cours d'eau durant les 3 mois d'étiage. Cette question peut être scindée en deux sous-questions :

- Est-ce que les prélèvements ou certains des prélèvements exercés sur les eaux souterraines se réalisent en fait directement ou indirectement sur les eaux superficielles ?
- Est-ce que les prélèvements ou certains des prélèvements exercés sur les eaux souterraines interceptent de l'eau qui aurait, autrement, soutenu le débit des cours d'eau ?

Les relations entre les nappes, en particulier celles du Quaternaire, et les cours d'eau sont contrôlées par la structure en terrasses des alluvions quaternaires (Figure 17). La notice de la carte géologique BRGM de Rivesaltes mentionne par exemple qu'une discontinuité hydraulique existe entre, d'une part les alluvions récentes et celles des basses terrasses comprises entre Ille-sur-Têt et St-Féliu, et d'autre part les alluvions de la terrasse située entre Toulouges et le Sud de Millas où la nappe est alors en position perchée. Les nappes quaternaires ne doivent donc pas être considérées comme constituant une entité continue même à l'échelle d'une vallée, du fait de cette organisation en terrasses.

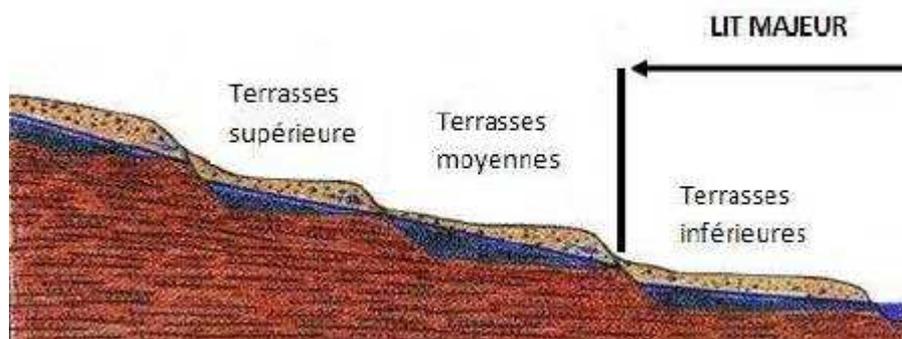


Figure 17 : Structure des nappes liée à la disposition en terrasses des formations alluviales quaternaires (tiré de SMNPR, 2013 : Etat initial du SAGE)

Les prélèvements exercés au voisinage des cours d'eau le sont dans des nappes en équilibre avec ces cours d'eau. Il s'agit donc ici des nappes d'accompagnement des cours d'eau circulant dans les alluvions actuelles. Dans ces secteurs, un prélèvement exercé en nappe ou en rivière a donc le même impact quantitatif sur

le cours d'eau. L'extension des nappes récentes potentiellement en équilibre avec les cours d'eau est représentée à la Figure 18. Ces nappes occupent principalement les secteurs de St-Laurent-de-la-Salanque – Canet-en-Roussillon, de St-Nazaire à St-André, la vallée de la Têt et moindrement celle du Tech.

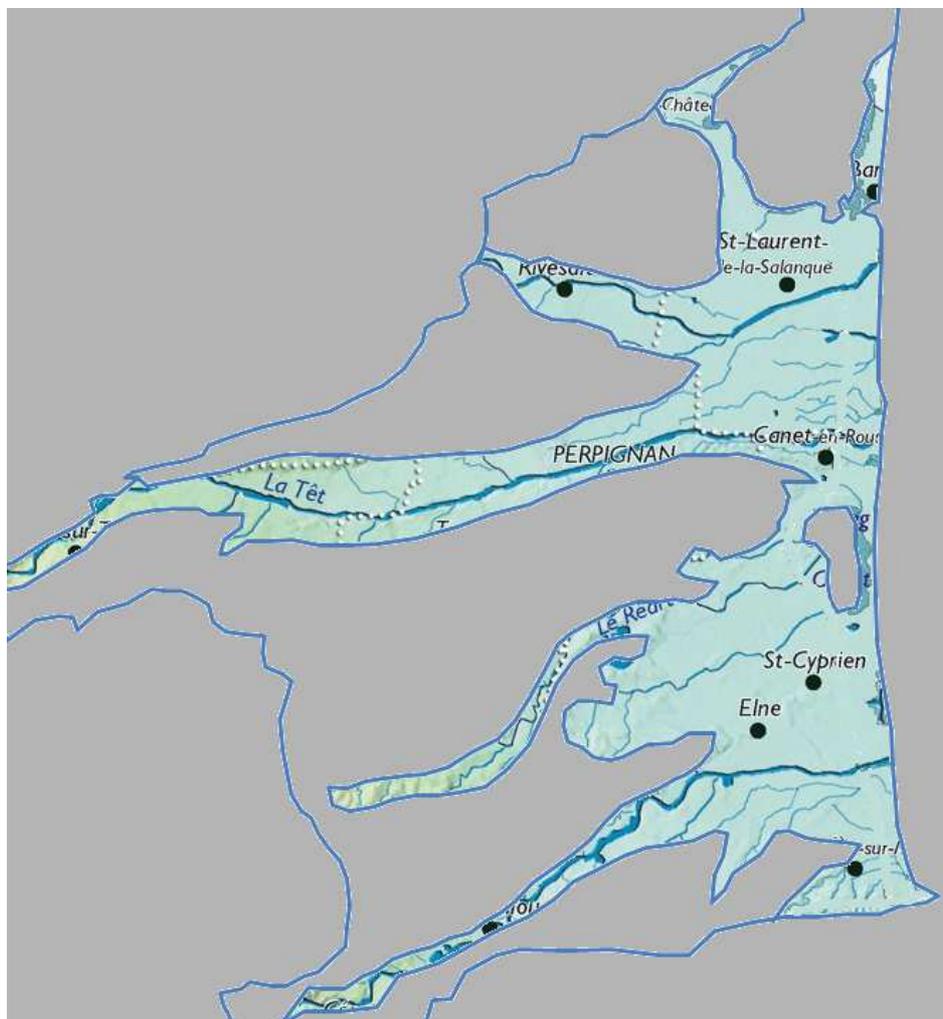


Figure 18 : Etendue des alluvions holocènes (post-glaciaires)

Tous les captages prélevant dans les nappes d'accompagnement des cours d'eau, c'est-à-dire dans les nappes des alluvions actuelles, peuvent être considérés comme exerçant leur prélèvement de façon indirecte dans les cours d'eau concernés. Les délais d'écoulement mis en jeu dans ces nappes alluviales sont suffisamment courts pour ne pas différer l'impact du prélèvement dans le temps.

Malheureusement le bilan de ces nappes n'a pu être fait car :

- les études de volumes prélevables réalisées sur les bassins versants des fleuves de la plaine n'ont pu établir l'importance des échanges entre les cours d'eau, leur écoulement de subsurface et leurs nappes d'accompagnement, de même que les pertes et gains pouvant provenir des échanges avec les nappes des terrasses et du Pliocène ;
- les contributions de l'irrigation lors de l'arrosage ou par retour des canaux sont mal connues ;
- les prélèvements domestiques et agricoles exercés sur ces nappes sont nombreux, pas tous recensés et leurs prélèvements sont très mal connus.

Etude des volumes prélevables des nappes plio-quadernaires de la plaine du Roussillon Phase 2 – Etape 3 : Estimation des volumes prélevables	38
---	----

D'après l'étude des volumes prélevables réalisée sur le bassin versant du Tech (Ginger, 2011), l'écoulement dans la nappe alluviale du Tech ainsi que dans le paléo-chenal serait de l'ordre de 150 à 300 l/s. Il s'agit d'un calcul hors influence des prélèvements par pompage. Les observations faites sur la partie aval de la nappe du Tech conduisent à des estimations des prélèvements de l'ordre de 200 l/s en juillet-août. Les prélèvements actuels seraient donc du même ordre de grandeur. Ginger considère que les prélèvements dans la plaine du Roussillon sont sensiblement équivalents à la capacité naturelle de dérivation de la nappe d'accompagnement et plus particulièrement du paléo-chenal. Selon Ginger, le bon état des eaux superficielles du Tech serait donc plus lié à une diminution des prélèvements directs sur le cours d'eau pour l'irrigation qu'à celle des pompes dans la nappe d'accompagnement.

Dans l'étude sur les volumes prélevables dans la nappe quadernaire de la Têt, les prélèvements AEP réalisés sur le bassin de la Têt (essentiellement dans les nappes) sont faibles en comparaison de ceux des canaux gravitaires.

Les volumes prélevables de ces nappes d'accompagnement en équilibre avec les cours d'eau correspondraient donc aux débits d'écoulement du système nappe – cours d'eau permettant le maintien des débits d'objectif d'étiage et de crise des cours d'eau. Ceci nécessiterait donc de simuler précisément les écoulements de chaque système nappe + rivière, de fixer les niveaux d'objectif de la rivière qui correspondraient alors aux niveaux d'objectif de nappe puisque ces niveaux sont en équilibre.

Les prélèvements exercés dans les nappes des terrasses ne constituent pas un prélèvement direct dans les cours d'eau mais un 'manque à gagner' pour les cours d'eau dans la mesure où les eaux souterraines prélevées sur ces terrasses ne s'écouleront plus vers le corridor alluvial. Ainsi, tout prélèvement dans ces nappes de terrasses aura un impact quantitatif sur le cours d'eau, mais différé dans le temps. Cet impact sur le cours d'eau pourrait ainsi survenir plusieurs mois plus tard. Seule une modélisation détaillée réalisée secteur par secteur peut permettre d'évaluer l'importance de l'impact et le délai de réalisation sur le cours d'eau.

Le Pliocène profond est généralement captif ou semi-captif et sa connexion avec les cours d'eau est donc faible. Les nappes pliocènes ne peuvent donc soutirer de l'eau au cours d'eau que par drainance descendante ou créer un 'manque à gagner' pour ceux-ci en supprimant la drainance ascendante (suppression de l'artésianisme) qui pourrait les alimenter. Cependant, considérant les perméabilités faibles des épontes assurant la semi-captivité des nappes pliocènes et les faibles variations temporelles de la piézométrie des nappes pliocènes, la drainance s'exerce vraisemblablement de façon continue et lissée tout au long de l'année.

4 Conclusion

La dernière étape de l'étude visait l'appréciation des volumes prélevables dans les nappes plio-quaternaires de la Plaine du Roussillon. Les volumes prélevables sont les volumes d'eau qui peuvent être prélevés annuellement dans les nappes plio-quaternaires sans entraîner une baisse interannuelle des niveaux d'eau ni une dégradation de sa qualité (y compris par la menace d'intrusion saline). Pour les nappes quaternaires, les volumes prélevables doivent également permettre d'assurer le bon état des eaux superficielles qu'elles alimentent.

Parmi les différentes approches qui existent pour apprécier les volumes prélevables, différentes méthodes ont été testées. Celle du bilan hydrogéologique est a priori la plus complète : l'objectif du bilan hydrogéologique est de quantifier les entrées d'eau dans les nappes quaternaires et pliocènes (recharge, apport par l'irrigation, apport par les massifs périphériques, échange par drainance entre les nappes) et les sorties (drainage par les fleuves, sorties en mer, prélèvements, échange par drainance entre les nappes). Ce bilan a été réalisé à l'échelle de la plaine, pour les nappes pliocènes et quaternaires séparément. Il s'est appuyé sur les données bibliographiques existantes, dont les différents bilans réalisés par modélisation depuis 1982, et sur les données acquises dans le cadre de cette étude. Nous disposons également pour ce bilan de l'estimation des prélèvements pour l'année 2010 réalisée en Phase 1 de l'étude. Ce bilan a permis d'estimer certains échanges (flux entre nappes, infiltration pluviométrique) avec des précisions variables. Cependant certains termes restent largement méconnus, en particulier les échanges entre cours d'eau et nappes. Au final la précision du bilan n'est pas suffisante pour statuer précisément sur l'équilibre ou le déséquilibre du bilan et donc du système plio-quaternaire.

La seule approche pertinente et objective s'avère donc l'étude des chroniques piézométriques. Ces chroniques sont en effet la signature directe de l'évolution quantitative des nappes.

Sur les dernières années, les constats suivants ressortent :

- Les déficits piézométriques saisonniers actuellement observés du fait de l'augmentation estivale des prélèvements, en particulier dans les secteurs de la Salanque et de la bordure côtière Nord, semblent se résorber durant la période hivernale suivante.
- Les déficits annuels observés en cas de baisse de la recharge sur une ou quelques années semblent également être récupérés lors des années pluviométriques normales et excédentaires.

La piézométrie semble donc montrer une certaine stabilisation interannuelle, contrairement aux trente années précédentes où l'évolution piézométrique montrait une tendance assez constante et généralisée à la baisse.

Malgré l'importance des prélèvements actuels, on ne constate qu'une légère détérioration localisée de la qualité des eaux du Pliocène dont la cause pourrait être l'existence d'ouvrages défectueux permettant l'entrée d'eau salée depuis le Quaternaire. Ceci nécessiterait de mettre en place une surveillance accrue des eaux du Pliocène de la bordure côtière Nord afin de s'assurer que ce phénomène ne s'amplifie pas.

De ces constats qualitatifs (équilibre précaire mais dégradation marquée non avérée), les volumes prélevables sur les nappes pliocènes correspondraient donc aux volumes actuellement prélevés qui sont de 46 Mm³/an, en se basant sur les chiffres collectés lors de la phase 1 de l'étude.

Concernant les nappes quaternaires, on ne constate pas d'évolution marquée de la piézométrie sur toute la durée des suivis disponibles.

Etude des volumes prélevables des nappes plio-quaternaires de la plaine du Roussillon Phase 2 – Etape 3 : Estimation des volumes prélevables	40
---	----

Les captages qui prélèvent dans les nappes d'accompagnement des cours d'eau, c'est-à-dire dans les nappes des alluvions actuelles, exercent en fait leur prélèvement mais de façon indirecte dans les cours d'eau. Les délais d'écoulement mis en jeu dans ces nappes alluviales sont suffisamment courts pour ne pas différer de façon importante l'impact du prélèvement.

Les volumes prélevables dans les nappes d'accompagnement des cours d'eau correspondraient donc aux débits d'écoulement du système nappe – cours d'eau permettant le maintien des débits d'objectif d'étiage et de crise des cours d'eau en relation avec les débits biologiques.

Les prélèvements exercés dans les nappes des terrasses quaternaires (alluvions anciennes) ne constituent pas un prélèvement direct dans les cours d'eau mais un 'manque à gagner' pour les cours d'eau, dans la mesure où les eaux souterraines prélevées sur ces terrasses ne s'écouleront plus vers le corridor alluvial. Ainsi, tout prélèvement dans ces nappes des terrasses aura un impact quantitatif sur le cours d'eau, mais différé dans le temps, et ce jusqu'à plusieurs mois. Comme ces nappes des terrasses ne contiennent pas des volumes importants d'eau (nappes de faible épaisseur), elles peuvent être facilement surexploitées jusqu'à leur épuisement, mais également facilement reconstituées avec les recharges suivantes.

Concernant les nappes Pliocènes, les constats suivants ressortent :

- Les nappes pliocènes ont montré une baisse marquée et relativement constante durant trente ans. Les évolutions piézométriques des dernières années semblent cependant montrer une stabilisation à l'échelle interannuelle.
- Cette stabilisation à l'échelle interannuelle pourrait être due à une stabilisation des prélèvements : l'étude des chroniques piézométriques a montré pour le Pliocène que l'évolution des prélèvements donne sur le long terme la tendance de la chronique piézométrique (alors que d'une année sur l'autre, ce sont les conditions pluviométriques qui induisent les rapides variations observées à court terme). Une augmentation des prélèvements dans le Pliocène engendrera donc à terme une baisse de la piézométrie, alors qu'une baisse des prélèvements permettrait à terme une remontée piézométrique.
- Nonobstant cette stabilisation interannuelle, certaines chroniques piézométriques du Pliocène montrent des baisses très marquées durant la période estivale du fait des prélèvements très importants qui s'y exercent. Parmi les secteurs homogènes définis précédemment, il s'agit principalement de la bordure côtière Nord et du secteur de la Salanque.

- Les baisses piézométriques saisonnières actuellement observées du fait de l'augmentation estivale des prélèvements, en particulier dans les secteurs de la Salanque et de la bordure côtière Nord, semblent se résorber durant la période hivernale suivante. Cependant, les déséquilibres locaux et courts imputables aux prélèvements estivaux pourraient favoriser sur la bordure côtière Nord une contamination saline, soit par drainance entre les nappes, soit par les ouvrages mal conçus ou abandonnés. Les calculs présentés dans le rapport sur les cartes piézométriques ont montré qu'il n'y avait a priori pas de traversée de l'éponte semi-perméable par les eaux salées, pour les paramètres moyens considérés. Très localement, les paramètres peuvent cependant être moins favorables et permettre l'intrusion d'eau salée. Il en est de même de la présence des puits abandonnés ou détériorés permettant une connexion directe entre le Quaternaire et le Pliocène.
- Pour le secteur de la bordure côtière Nord, il semble donc requis de préconiser une baisse des prélèvements estivaux afin de limiter le risque de détérioration de la ressource, dont les impacts se répercuteraient sur le long terme. Un suivi local renforcé des chlorures au droit des points problématiques devrait également y être réalisé conjointement.
- Sur le secteur des Aspres malgré la stabilisation observée ces dernières années, les fortes baisses observées au milieu des années 2000 met en évidence une fragilité particulière qui justifie une vigilance accrue.

En l'état des connaissances actuelles, il ne semble donc pas y avoir de marge pour une augmentation des prélèvements dans le Pliocène à l'échelle de la plaine. Les volumes prélevables dans le Pliocène correspondraient ainsi globalement aux volumes actuellement prélevés, puisque les évolutions piézométriques et le suivi des chlorures de ces dernières années ne montrent pas de déficit quantitatif ou qualitatif avéré. Les volumes prélevables seraient en conséquence les volumes prélevés estimés en phase 1 de l'étude et rappelés au Tableau 13.

Tableau 13 : Prélèvements annuels (Mm³) réalisés par secteur dans les nappes pliocènes tous usages confondus

Secteur	Pliocène
Bordure côtière Nord *	4.5
Vallée de l'Agly-Salanque	4.9
Vallée de la Têt	21.4
Aspres-Réart	8.1
Vallée du Tech	2.0
Bordure côtière Sud	5.4
Total	46.3

* vigilance particulière à avoir quant aux prélèvements estivaux et aux risques d'intrusion saline

Concernant les nappes quaternaires :

Etude des volumes prélevables des nappes plio-quaternaires de la plaine du Roussillon Phase 2 – Etape 3 : Estimation des volumes prélevables	42
---	----

- Pour les nappes quaternaires, les suivis piézométriques ne montrent pas de baisse interannuelle sur le long terme : on ne constate pas d'évolution marquée de la piézométrie sur toute la durée des suivis disponibles. Hormis sur la bordure côtière, ceci pourrait résulter de la faible capacité de ces nappes, en particulier des nappes des terrasses qui peuvent presque totalement s'épuiser en basses eaux, mais peuvent facilement se reconstituer d'une année sur l'autre.
- L'exploitation de ces nappes quaternaires a cependant un impact direct ou indirect sur les cours d'eau. Les volumes prélevables dans les nappes d'accompagnement des cours d'eau correspondraient donc aux débits d'écoulement du système nappe – cours d'eau permettant le maintien des débits d'objectif d'étiage et de crise des cours d'eau en relation avec les débits biologiques. Comme les échanges avec ces cours d'eau sont mal connus, il n'est pas possible de statuer sur les prélèvements potentiels qui peuvent être exercés sur ces nappes quaternaires.