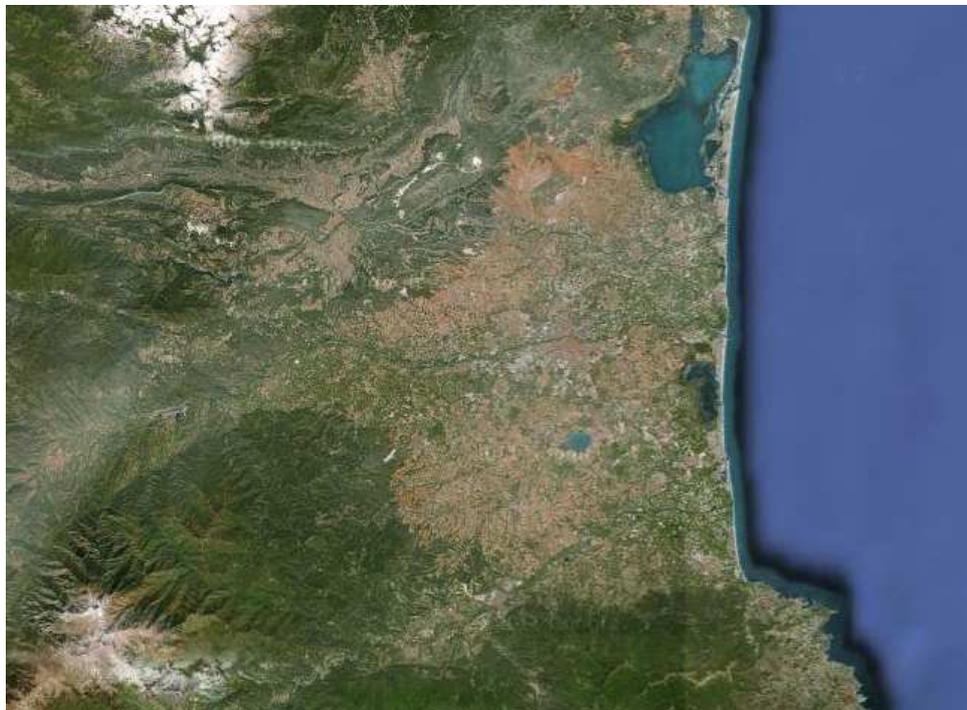




**Etude des volumes prélevables des nappes plio-quaternaires
de la plaine du Roussillon**

Phase 2 : Estimation des volumes prélevables

Etape 2 : Cartes piézométriques



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
2.Méthodologie de réalisation des cartes piézométriques.....	6
2.1Interpolation des données piézométriques par traitement géostatistique.....	7
2.2Traçage manuel des cartes piézométriques.....	7
2.3Finalisation des cartes sous SIG.....	8
3.Cartes piézométriques.....	9
3.1Pliocène profond.....	9
3.2Pliocène de la Salanque	11
3.3Quaternaire.....	12
4.Discussion des cartes piézométriques	14
4.1Pliocène profond.....	14
4.2Pliocène de la Salanque.....	15
4.3Quaternaire.....	16
5.Comparaison des piézométries 1976 et 2012-2013.....	19
5.1 Pliocène.....	19
5.2Quaternaire.....	21
6.Vitesses d'écoulement.....	23
6.1Pliocène profond.....	24
6.2Pliocène de la Salanque.....	25
6.3Quaternaire.....	25
7.Drainance entre nappes	27
7.1Drainance en période hivernale.....	28
7.2Drainance en période estivale.....	29
7.3Discussion de la drainance dans la bordure côtière Nord et l'Agly-Salanque.....	30
7.4Comparaison des situations estivale et hivernale.....	31
8.Pertinence des ouvrages de suivi piézométrique.....	34
9.Conclusion.....	37

1. Introduction

La réalisation de cartes piézométriques a pour but premier de représenter la surface des nappes libres d'eau souterraine ou la surface d'équilibre de pression des nappes captives. De telles cartes intègrent nécessairement un niveau d'incertitude variable selon la densité de points de mesures utilisés, la représentativité intrinsèque des données et la complexité et l'hétérogénéité du milieu.

Ces cartes fournissent aussi des renseignements sur le comportement hydrodynamique des nappes et les fonctions du réservoir (directions d'écoulement, échanges s'effectuant en bordure des formations aquifères ou le long d'éléments caractéristiques de son environnement tels les réseaux hydrographiques, les canaux d'irrigation, la mer, etc.). Elles fournissent une vision instantanée de l'état d'une nappe à un moment précis. Afin de pouvoir juger des variations inter-saisonnières de la surface piézométrique, il est donc nécessaire d'établir des cartes à des époques différentes de l'année, en particulier lors des hautes et basses eaux.

Dans un but de représentativité du secteur hydrogéologique couvert par la cartographie, il est nécessaire de réaliser les mesures piézométriques sur une très courte période afin d'avoir des conditions identiques vis-à-vis des influences locales et des événements périphériques (minimisation des variations climatiques, du débit des cours d'eau etc.).

Concernant son interprétation, la surface piézométrique s'analyse de la même manière qu'une surface topographique, c'est à-dire par sa morphologie, sa pente, ses variations et ses singularités. Les isopièzes correspondent à des courbes de même altitude de l'eau pour les nappes libres ou de même pression de l'eau pour les nappes captives.

A l'échelle de la plaine du Roussillon, l'ensemble des nappes (pliocènes et quadernaires) a fait l'objet de cartographie piézométrique dans les années 1960-1970. Ces cartes ont pour la plupart été réalisées dans le cadre de travaux de thèses. Certaines de ces cartes comportent cependant des limites méthodologiques : relevés non synchrones, ouvrages pas toujours nivelés, densité insuffisante dans certains secteurs, méconnaissance de la nappe mesurée. Depuis les années 1990, des cartographies ont été effectuées localement pour des besoins spécifiques mais aucune à l'échelle de toute la plaine.

C'est pourquoi, il a été demandé dans cette présente étude de réaliser deux nouvelles cartes piézométriques à l'échelle de toute la plaine, l'une en période estivale et l'autre en période hivernale. Ces cartes doivent également servir au reste du travail (ex. calcul des flux, quantification des échanges) et de référence de l'état 2012-2013 des nappes.

2. Méthodologie de réalisation des cartes piézométriques

A l'issue des campagnes piézométriques estivale (Août 2012) et hivernale (Avril 2013), plusieurs cartes piézométriques des nappes pliocène et quadernaire de la plaine du Roussillon ont été élaborées pour la totalité de la plaine et en distinguant les parties de nappe suivantes :

Nappes quadernaires :

- Ensemble de la plaine ;
- Nappe de l'Agly et de la Salanque entre Espira-de-l'Agly et Perpignan à l'Ouest et la mer Méditerranée à l'Est ;
- Nappe de la Têt entre Bouleternère et Perpignan ;
- Nappe du Réart dans la plaine de l'Illobérís ;
- Nappe du Tech entre Céret et la mer.

Nappes pliocènes :

- Nappe du pliocène profond sur l'ensemble de la plaine (nommée N4 dans la bibliographie) ;
- Nappe du pliocène de la Salanque entre Espira-de-l'Agly et Perpignan à l'Ouest et la Méditerranée à l'Est (nommée N3 dans la bibliographie).

L'objectif de cette cartographie est multiple puisqu'elle doit permettre :

- d'avoir un aperçu de la piézométrie et des écoulements actuels sur la plaine,
- de mettre en évidence les interactions entre les compartiments,
- de comparer les comportements entre les périodes actuelles (estivale et hivernale) et les années 1970-1980 (période des dernières cartes globales élaborées sur le territoire).

Afin d'obtenir les cartes les plus représentatives possible, leur tracé a été réalisée selon les étapes suivantes :

- interpolation de la piézométrie par traitement géostatistique à l'aide du logiciel Surfer afin d'avoir une première vision d'ensemble, rapide et objective de la piézométrie globale sur la plaine ;
- traçage manuel des cartes avec prise en compte des limites du système aquifère permettant d'affiner les zones extrapolées par Surfer ainsi que les zones portant à réflexion ;
- réalisation des cartes par couplage des résultats obtenus par les deux méthodes précédentes et traçage des isopièzes sous SIG (Système d'Information Géographique).

La mise en forme sur SIG permet par la suite de comparer la piézométrie actuelle avec celle de 1976 et d'effectuer les différents calculs requis par les autres volets de l'étude (calculs des flux entrants et sortants, drainance et échanges).

2.1 Interpolation des données piézométriques par traitement géostatistique

La première étape a été l'élaboration de cartes préliminaires avec un outil d'interpolation (logiciel Surfer). Cette technique permet la création de cartes à partir des données récoltées sur le terrain et de nombreuses manipulations ultérieures de calcul, comparaison etc. Diverses techniques d'interpolation ont été utilisées pour en comparer les résultats obtenus : interpolation linéaire, interpolation inverse à la distance au carré, krigeage et minimum courbure. Ces différentes techniques ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients, et ne fournissent pas (nécessairement) le même résultat. La méthode la plus appropriée (mais pas nécessairement la plus juste à tout coup) pour tracer les cartes s'est avérée être celle du krigeage.

Le krigeage permet d'estimer des valeurs inconnues à partir d'un voisinage de points échantillonnés. Il permet d'avoir une interpolation spatiale des données garantissant le minimum de variance. Il s'agit d'un bon estimateur linéaire non biaisé permettant l'interpolation des données irrégulières et l'extrapolation dans les secteurs où les points de mesures sont peu nombreux ou inexistant. Mentionnons cependant que le krigeage peut générer des valeurs aberrantes aussi bien à l'extérieur du domaine des mesures qu'à l'intérieur de celui-ci. Un regard critique doit donc être porté sur les résultats ainsi obtenus.

2.2 Traçage manuel des cartes piézométriques

Au regard des cartes obtenues, l'extrapolation effectuée de façon automatique ne semble cependant pas à même de représenter correctement la piézométrie sur les bordures du domaine qui sont entre autres influencées par les conditions aux limites y prévalant. Ceci illustre l'intérêt, la nécessité et l'importance de coupler à cette approche 'automatique' une démarche cartographique manuelle. Les zones de bordure des cartes ont donc été analysées plus finement lors du traçage manuel afin de différencier éventuellement des nappes perchées, l'influence de pompes voisins ou encore des artefacts piézométriques causés par la topographie. La recherche d'informations sur ces limites a permis de moduler le tracé des isopièzes (courbes piézométriques) effectué par Surfer.

Avant de réaliser les cartes, une analyse hydrogéologique a été menée dans plusieurs buts :

- connaître les limites du système aquifère, les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques qui peuvent influencer le tracé des isopièzes sur le pourtour de la plaine comme la présence d'une limite à potentiel imposé (mer, étang) qui entraîne des isopièzes parallèles à la limite ou une limite imperméable ou peu perméable (granite, schistes) qui induit des isopièzes perpendiculaires à cette limite ;
- analyser la topographie et la profondeur du toit des nappes et les caractéristiques hydrodynamiques des formations aquifères dans les zones incertaines, afin d'identifier les phénomènes pouvant expliquer la piézométrie.

Il est ressorti de cette analyse que, pour une grande partie de son périmètre, les limites du système aquifère alluvial de la plaine du Roussillon sont plus ou moins perméables et constituent donc pour certaines des sources d'alimentation au profit des formations sédimentaires du Roussillon (Fiches de caractérisation des masses d'eau souterraines; AERMC, 2012). Ces limites sont :

- la mer Méditerranée (potentiel imposé pour la nappe supérieure qui implique que les isopièzes du Quaternaire soient parallèles à cette limite) ;
- les étangs qui constituent également des conditions aux limites pour les nappes quaternaires ;

- les massifs périphériques :
 - massif karstique des Corbières au Nord (limite perméable qui induit la présence de courbes isopièzes parallèles ou obliques à cette limite) ;
 - massif granitique et gneissique des Albères au Sud qui constitue une limite globalement étanche bien qu'il semble pouvoir exister une alimentation du plio-quaternaire soit par drainance du socle via la fracturation soit par infiltration des ruissellements sur le socle ; les isopièzes sont alors perpendiculaires ou légèrement obliques à la limite selon les deux cas évoqués ;
 - massif schisteux des Aspres qui paraît imperméable en grand, mais dont quelques calcaires dévoniens semblerait constituer une zone perméable au contact de la bordure de la plaine ;
 - granite de Millas, qui semble imperméable en grand, mais qui pourrait permettre des apports par drainance ou ruissellement sur le socle ;
- les schistes du bassin versant de l'Agly et de la Têt, où de faibles alimentations par drainance sont possibles au profit des formations sédimentaires de la plaine.

Rappelons que la réalisation de cartes piézométriques intègre les données hydrogéologiques et géologiques, les données topographiques et hydrographiques (entre autres les connexions avec les cours d'eau, leur niveau d'eau et leur rôle drainant ou perdant), mais également l'ensemble des informations issues des connaissances fournies par la bibliographie.

Après avoir analysé en détail ces informations, les cartes manuelles ont été réalisées en extrapolant les isopièzes sur les extrémités de la plaine en fonction des conditions aux limites mises en évidence. Ces extrapolations qui demeurent discutables sont alors représentées par des courbes en pointillés sur les cartes.

Les cartes des nappes quaternaires ont été réalisées par secteur puisque ces dernières ne couvrent pas la totalité de la plaine.

Il ressort de ces cartes que, même après un traçage manuel des isopièzes, certaines zones restent questionnables.

2.3 Finalisation des cartes sous SIG

Les cartes finales sont la représentation sous SIG (Système d'Information Géographique) des isopièzes obtenues des tracés automatiques (Surfer) et manuels.

La première étape a été le géo-référencement des cartes piézométriques et des massifs et formations géologiques bordant la plaine constituant les limites du système aquifère. Les isopièzes ont ensuite été tracées en conservant les isopièzes interpolées jugées valides et en modifiant les autres, en particulier au niveau des bordures. Dans les zones extrapolées, les courbes isopièzes sont représentées par des pointillés pour indiquer leur caractère interprétatif.

3. Cartes piézométriques

3.1 Pliocène profond

Les ouvrages dans lesquels ont été effectuées les mesures ont été sélectionnés en utilisant plusieurs sources de données, puis validés après la réalisation d'une campagne piézométrique préliminaire effectuée de mai à juillet 2012. Cette étape a été relativement longue et complexe en raison de plusieurs facteurs : impossibilité de rejoindre les propriétaires, changements de propriétaires, réticence à ce que les mesures soient effectuées, configuration des ouvrages ne permettant pas la réalisation des mesures.

La sélection des ouvrages a été opérée de la manière suivante :

- positionnement sur carte des ouvrages connus sur la plaine et répertoriés dans la base de données unique homogénéisée lors de la Phase 1 du projet ;
- suppression des ouvrages localisés dans le rayon d'influence des pompes supérieures à 8 m³/h (limite d'autorisation auprès des administrations en Zone de Répartition des Eaux, soit 21 900 m³/an avec un pompage de 7,5 h/j) afin que les mesures piézométriques correspondent à la nappe au repos (état d'équilibre) ; le rayon d'influence moyen à respecter a été estimé à 250 m ;
- ajout d'ouvrages complémentaires à la première sélection à partir des connaissances des mairies ;
- prise en compte d'ouvrages issus des connaissances de terrain du SMNPR ;
- utilisation des ouvrages du réseau de suivi ;
- suppression des ouvrages peu profonds, considérés comme interceptant des horizons superficiels du Pliocène peu productifs.

La sélection initiale des ouvrages a été réalisée sur la base de la profondeur des ouvrages et des logs géologiques disponibles. Il a cependant été nécessaire par la suite de vérifier l'adéquation des points en regard des nappes qu'ils étaient sensés représenter.

La réalisation des cartes piézométriques du pliocène profond exploité par l'AEP disposait ainsi de :

- 41 mesures piézométriques réalisées dans des puits, forages et piézomètres de la plaine du Roussillon lors de la campagne piézométrique du mois d'août 2012 ;
- 42 mesures lors de la campagne piézométrique du mois d'avril 2013.

La cartographie des isopièzes s'arrête du côté Sud à la limite du Pliocène productif considéré par le BRGM dans sa carte piézométrique de 1976.

Peu d'ouvrages sont disponibles dans les zones Sud et Sud-Ouest (secteur amont de la vallée du Tech, du Réart et de la Canterrane) de même qu'au Nord de la vallée de la Têt pour la réalisation des cartes piézométriques. Cette faible densité de points disponibles est cohérente avec la distribution des pressions de prélèvement sur la plaine illustrée à la Figure 1 qui résulte de l'exploitation de la base de données harmonisées réalisée en Phase 1 - Etape 1 du présent projet. Ceci pourrait donc indiquer la plus faible productivité du Pliocène profond ou la limite de son extension dans ces secteurs.

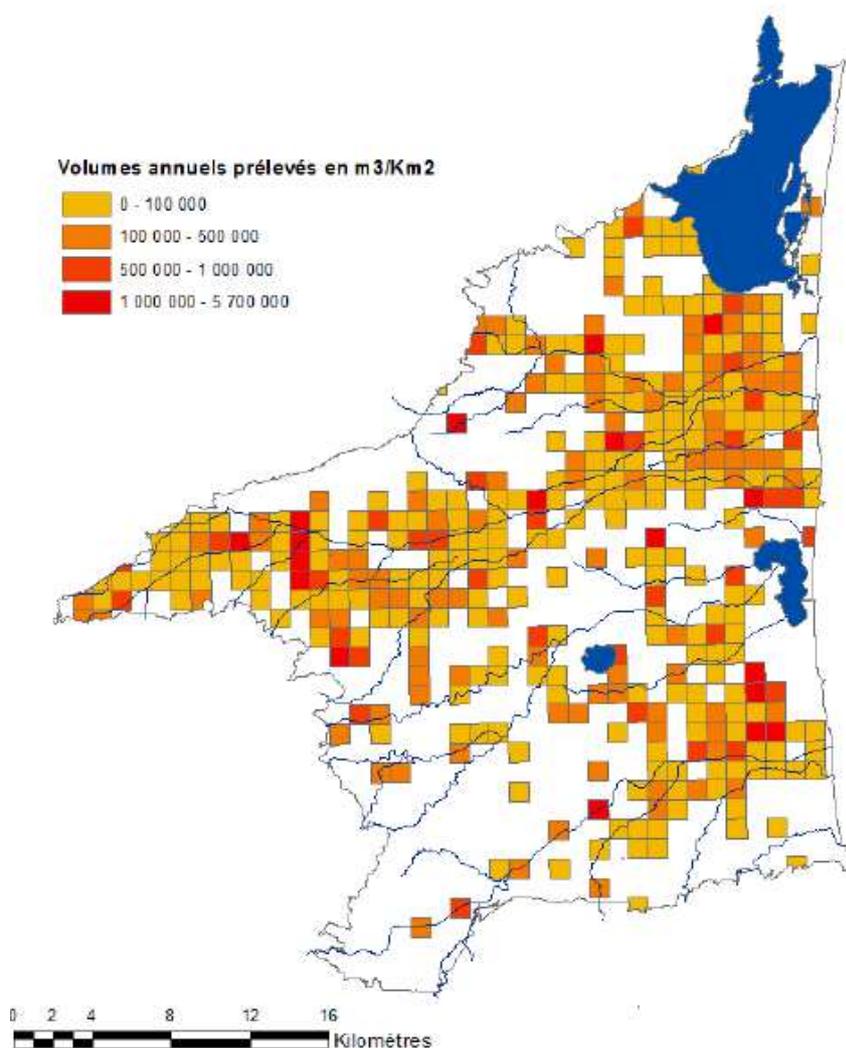


Figure 1 : Carte des pressions exercées sur les eaux souterraines (tous usages confondus)

Les points mesurés sont présentés à la Figure 2 et listés dans le Tableau A1 présenté en annexe.

Pour la réalisation de la carte d'août 2012, nous avons de plus utilisé les niveaux piézométriques mesurés dans certains des captages AEP du secteur Barcarès – St-Hippolyte – St-Laurent-de-La-Salanque – Torrelles. Les piézométries prises en compte sont celles des captages F6N4 à St-Hippolyte (-3.41 mNGF) et F7N4 à St-Hippolyte (-16.62 mNGF). Afin de ne pas biaiser la carte par l'utilisation de niveaux dynamiques (puits en pompage), nous avons pris les plus hauts niveaux mesurés durant la semaine concernée, correspondant à la situation du puits à l'arrêt. Précisons que 18 ouvrages AEP prélèvent dans ce secteur sur le Pliocène un volume annuel total de 3.65 Mm³ (10 000 m³/j).

L'ensemble des ouvrages mesurés a permis de tracer les cartes piézométriques d'août 2012 et avril 2013 de la nappe du Pliocène profond exploité pour l'AEP (Figure 3 et Figure 4).

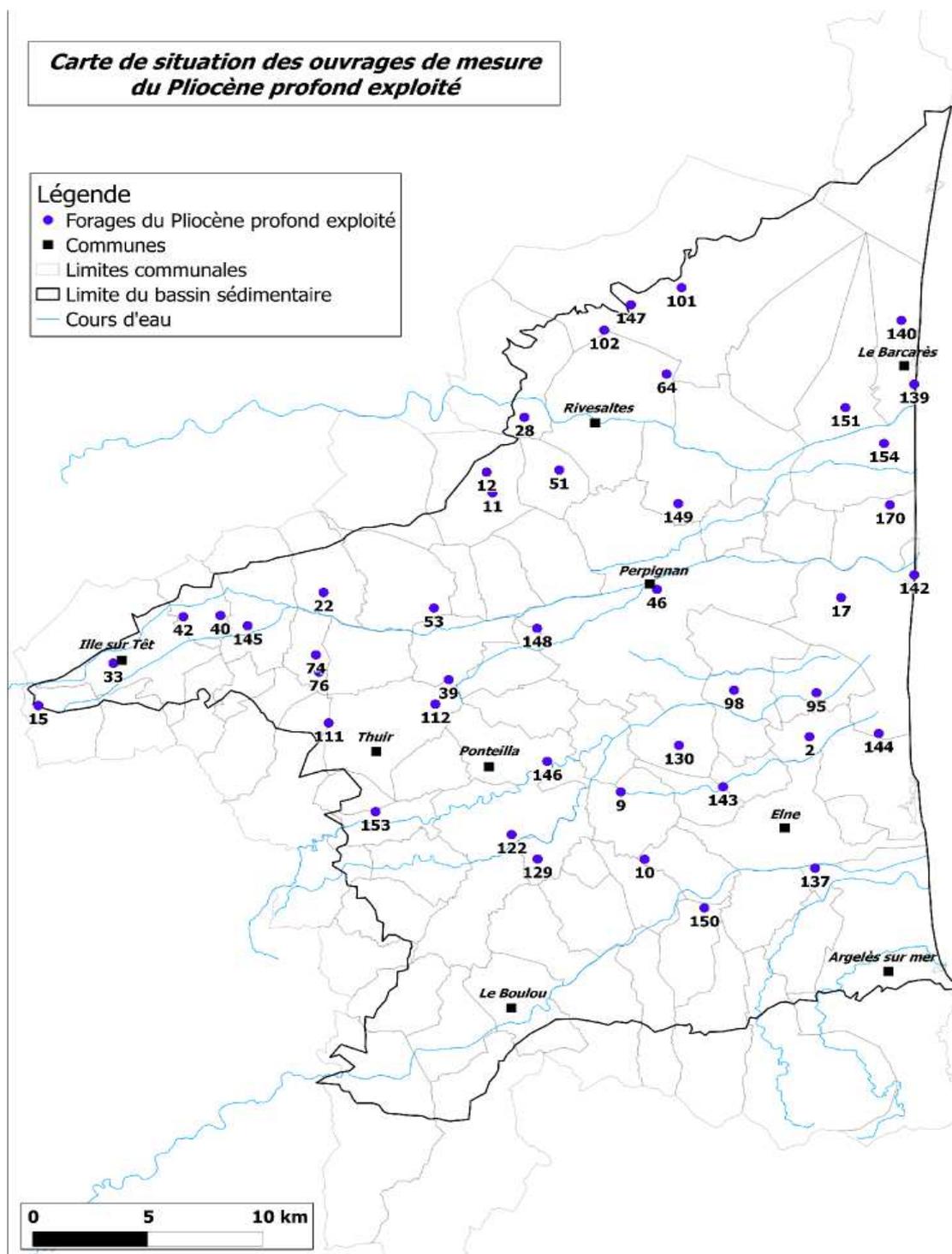


Figure 2 : Points de mesure piézométrique du Pliocène profond

La carte piézométrique d’Août 2012 (Figure 3) montre la présence d’une vaste dépression piézométrique sur la bordure côtière Nord vraisemblablement due à l’impact des importants prélèvements locaux. Dans la zone concernée, les piézométries mesurées sont :

- Barcarès Saultlebar N4 (No 140) : 1.55 mNGF
- Barcarès Plage N4 (No 139) : 0.06 mNGF
- St-Laurent-de-la-Salanque (No 151) : -0.27 mNGF
- Torreilles (No 154) : 1.31 mNGF

- Ste-Marie N4 (No 170) : -0.68 mNGF
- F6N4 à St-Hippolyte : -3.41 mNGF
- F7N4 à St-Hippolyte : -16.62 mNGF

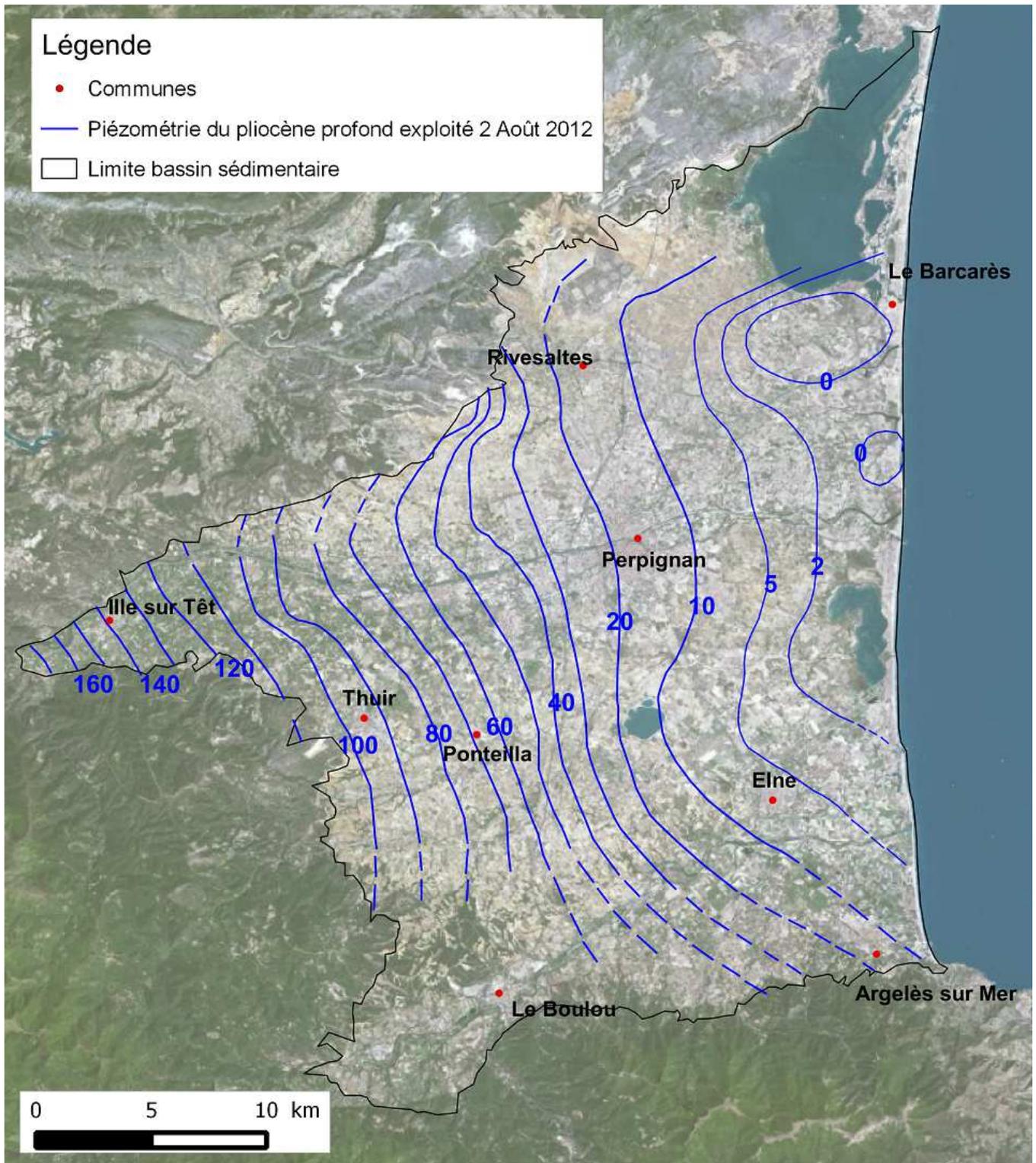


Figure 3 : Piézométrie du Pliocène profond d’Août 2012

Pour la situation d'Avril 2013 (Figure 4), cette dépression piézométrique semble absente. Dans le reste de la plaine, les piézométries d'Août 2012 et Avril 2013 ont globalement la même allure.

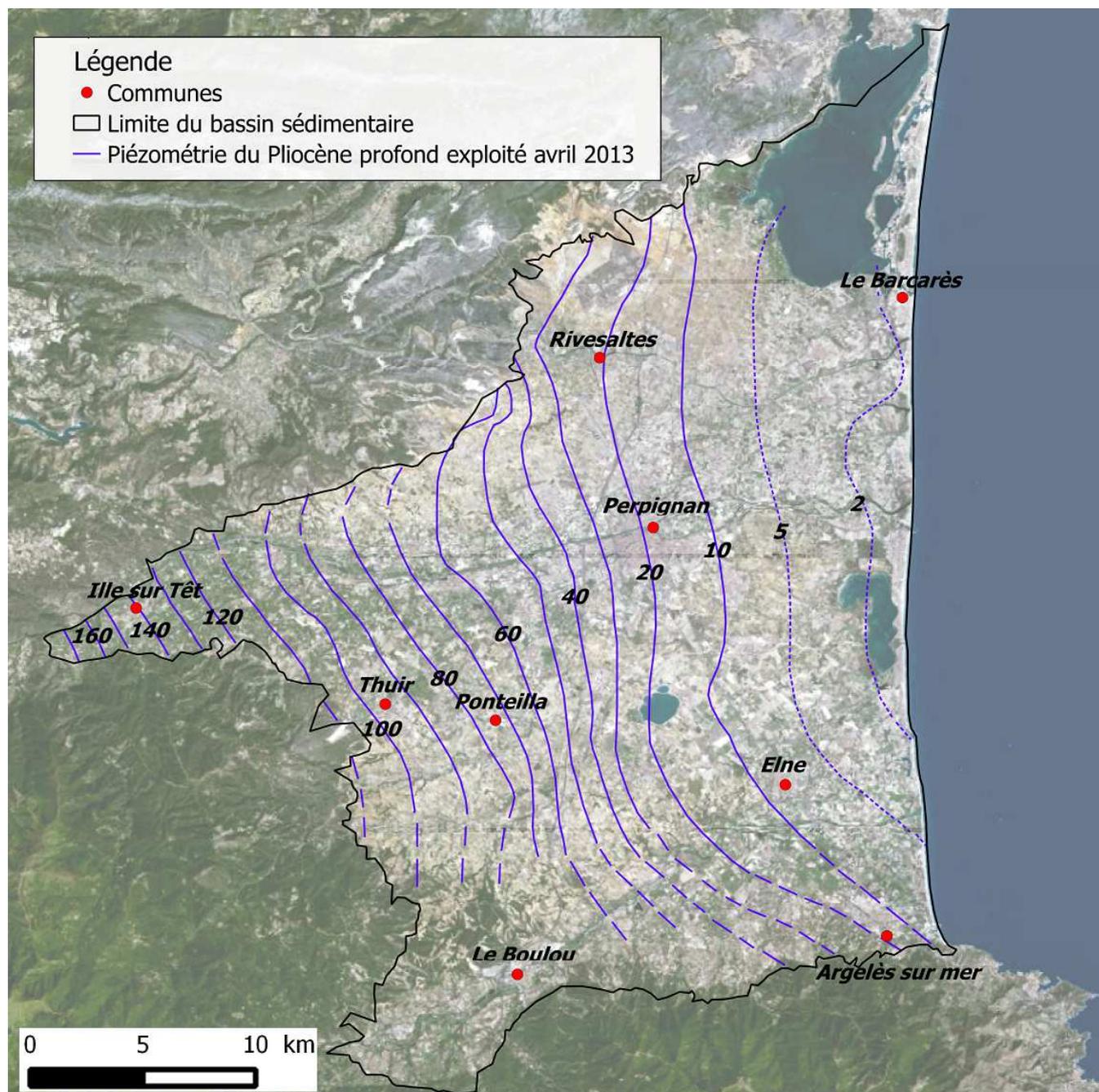


Figure 4 : Piézométrie du Pliocène profond d'Avril 2013

3.2 Pliocène de la Salanque

Les ouvrages dans lesquels ont été effectuées les mesures ont été sélectionnés de la même manière que les ouvrages du Pliocène profond. A la suite de cette première sélection une analyse a été effectuée par comparaison de la profondeur de l'ouvrage avec celle de la côte du substratum du Pliocène de la Salanque afin de vérifier si les ouvrages captent le Pliocène profond ou celui de la Salanque.

Les cartes piézométriques du Pliocène de la Salanque ont été tracées à l'aide de :

- 10 mesures piézométriques réalisées dans des puits, forages et piézomètres lors de la campagne piézométrique du mois d'août 2012 ;
- 8 mesures lors de la campagne piézométrique du mois d'avril 2013.

Les points mesurés sont indiqués dans le Tableau A2 en annexe. A ces données a été rajouté le niveau observé dans le captage F3N3 à St-Laurent-de-la-Salanque. Afin de ne pas biaiser la carte par l'utilisation d'un niveau dynamique (puits en pompage), nous avons pris les plus hauts niveaux mesurés durant la semaine concernée, correspondant à la situation du puits à l'arrêt.

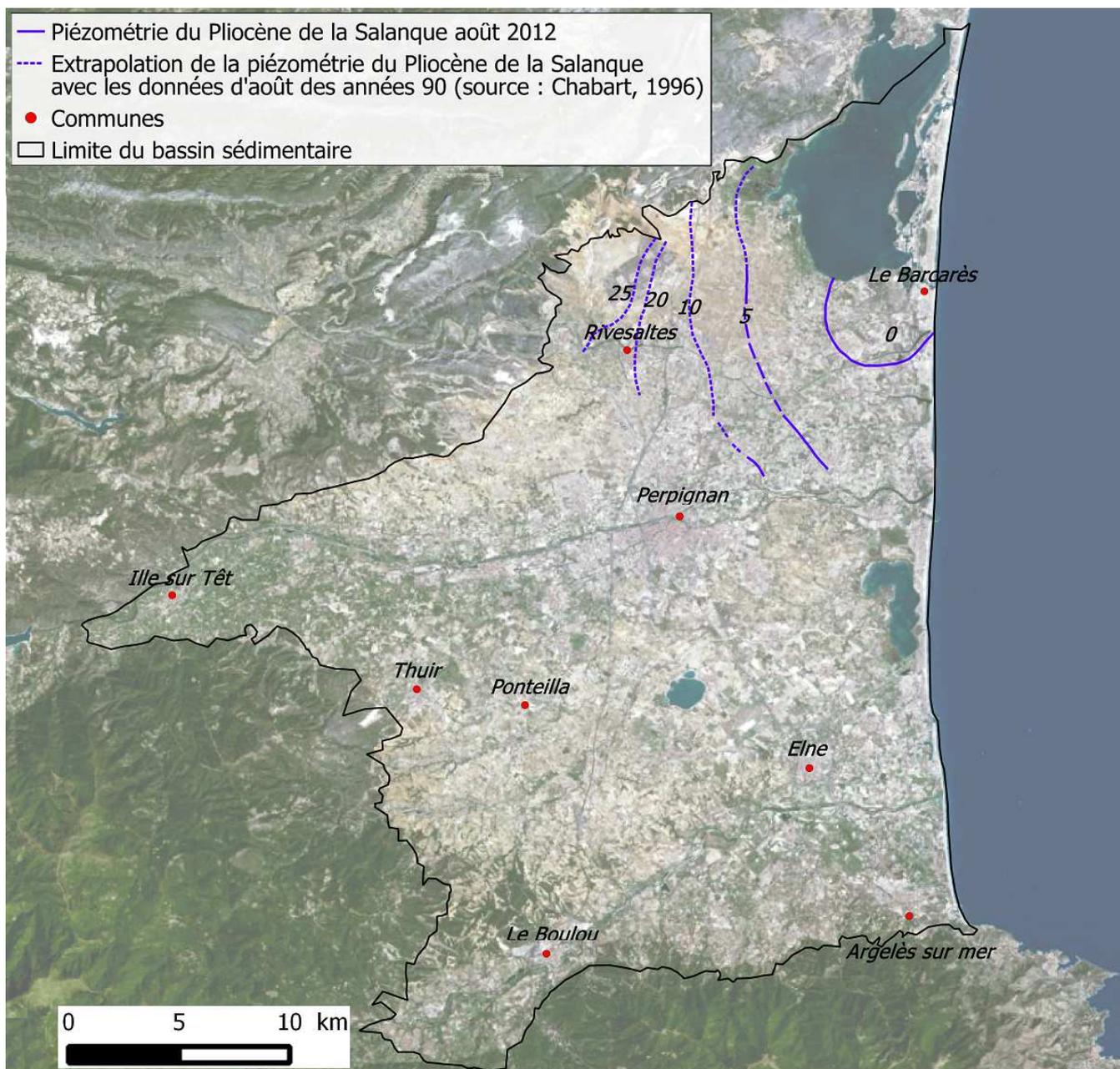


Figure 5 : Piézométrie du Pliocène de la Salanque d' Août 2012

Peu d'ouvrages sont disponibles pour le tracé cartographique et la plupart se situent à hauteur de Salses-le-Château, Rivesaltes et St-Hippolyte. Nous avons donc tenu compte des cartes piézométriques issues d'études antérieures (Chabart, 1996) pour compléter les cartes (Figure 5 et Figure 6).

On remarque sur la carte d'Août 2012 la présence de l'isopièze 0 mNGF sur la bordure côtière Nord indiquant une piézométrie inférieure à 0. Les piézomètres ayant des piézométries négatives sont :

- Forage du Stade de Barcarès (No 13) : -1.87 mNGF
- Barcarès Plage N3 (No 138) : -1.08 mNGF
- F3N3 à St-Laurent-de-la-Salanque : -3.03 mNGF

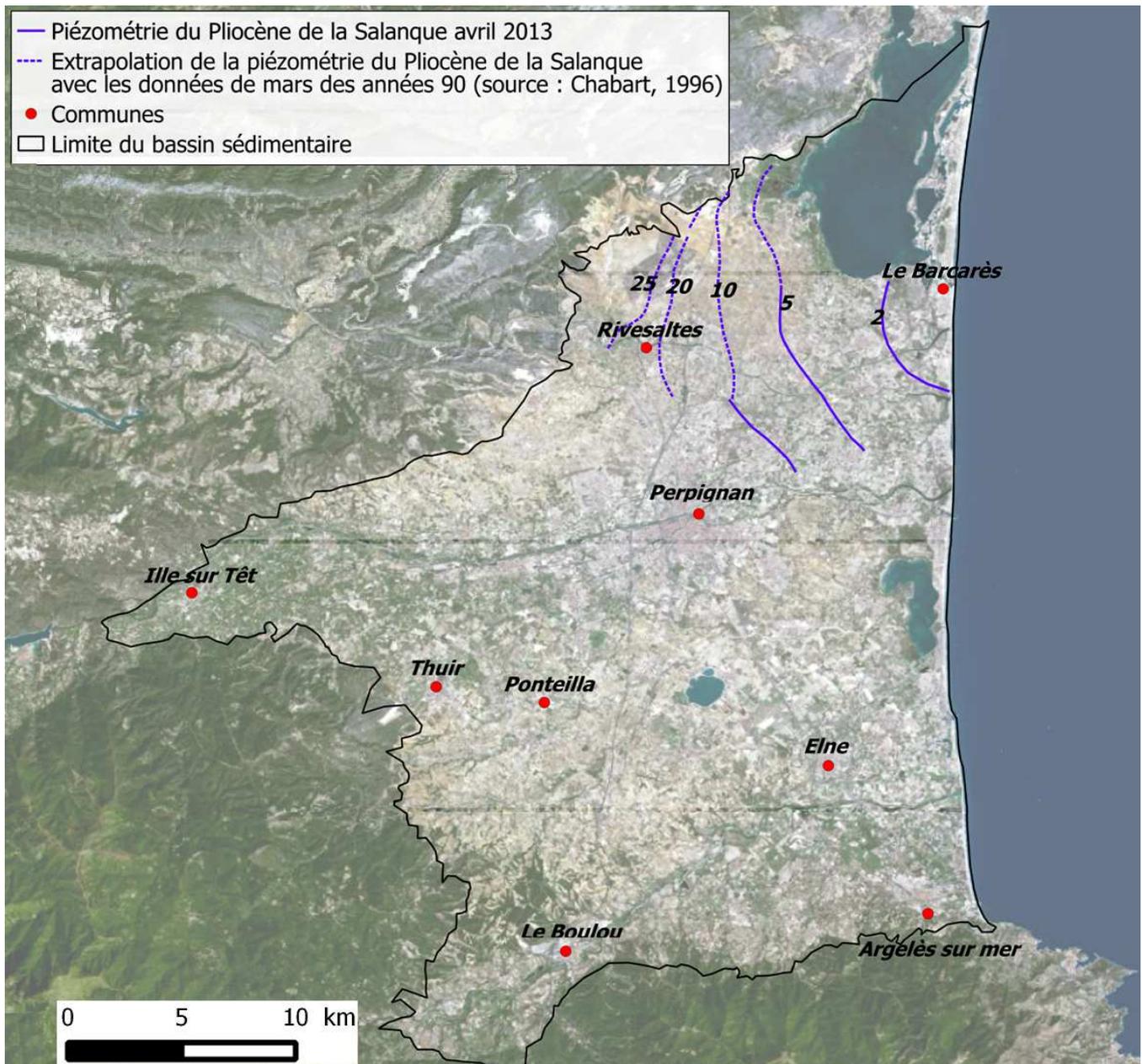


Figure 6 : Piézométrie du Pliocène de la Salanque d'Avril 2013

La piézométrie d'août 2012 du Pliocène de la Salanque (Figure 5) doit cependant être prise avec précaution du fait de la faible densité des points de mesure. Ainsi, il n'est pas exclu que la dépression piézométrique observée (qui est due aux prélèvements importants qui s'exercent dans le secteur Barcarès – St-Hippolyte – Ste-Marie) soit plus étendue et se rapproche de celle observée sur la carte piézométrique du Pliocène profond (Figure 3).

La carte piézométrique d'avril 2013 (Figure 6) ne montre plus quant à elle de piézométrie inférieure à la mer et s'apparente dans sa globalité avec celle du Pliocène profond (Figure 4).

3.3 Quaternaire

Les ouvrages dans lesquels ont été effectuées les mesures piézométriques ont été sélectionnés de la même manière que les ouvrages du Pliocène. A la suite de cette première sélection une analyse a été effectuée par comparaison de la profondeur de l'ouvrage avec celle du toit du Pliocène afin de savoir si les ouvrages captent bien les nappes des formations quaternaires. Plusieurs points considérés initialement comme situés dans le Pliocène ont été (à la suite du recoupement de la profondeur des ouvrages et du toit du Pliocène) utilisés pour le Quaternaire (ou du moins pour les parties superficielles du système aquifère) au vu de leur profondeur et de la faible perméabilité des couches supérieures du Pliocène.

Les cartes piézométriques du Quaternaire ont ainsi utilisé :

- 75 mesures piézométriques réalisées dans des puits, forages et piézomètres lors de la campagne piézométrique du mois d'août 2012 ;
- 78 mesures lors de la campagne piézométrique du mois d'avril 2013.

Les points mesurés présentés à la Figure 7 sont listés dans le Tableau A3 en annexe.

Les ouvrages sont relativement bien répartis sur les alluvions récentes. Toutefois, certaines zones des terrasses récentes restent sans point de mesure. Ceci est le cas sur la partie amont de la bordure côtière Nord, au Nord du Barcarès et de St-Hippolyte, dans la vallée de la Têt entre Villeneuve de la Rivière et St-Estève, dans la vallée du Tech entre le Boulou et St-Génis-des-Fontaines, sur la bordure côtière Sud entre Canet-en-Roussillon et St-Cyprien et enfin dans le Réart entre Ponteilla et Villeneuve-de-la-Raho. Très peu de points de mesures sont également présents sur les alluvions anciennes probablement du fait de la faible productivité des terrasses anciennes.

L'ensemble des ouvrages a permis de réaliser la cartographie piézométrique des nappes du Quaternaire (Figure 8 et Figure 9). Certaines mesures des niveaux d'eau des cours d'eau ont également été utilisées pour affiner la carte piézométrique du Quaternaire dans les secteurs où la connexion nappe-rivière existe.

Cette cartographie a été complétée par les informations piézométriques issues d'études antérieures dans les secteurs où les points de mesures étaient limités, comme par exemple sur la partie amont de la Têt à hauteur de la nappe du Boulès (données tirées du livre des eaux souterraines des Pyrénées catalanes, Salvayre, 2010).

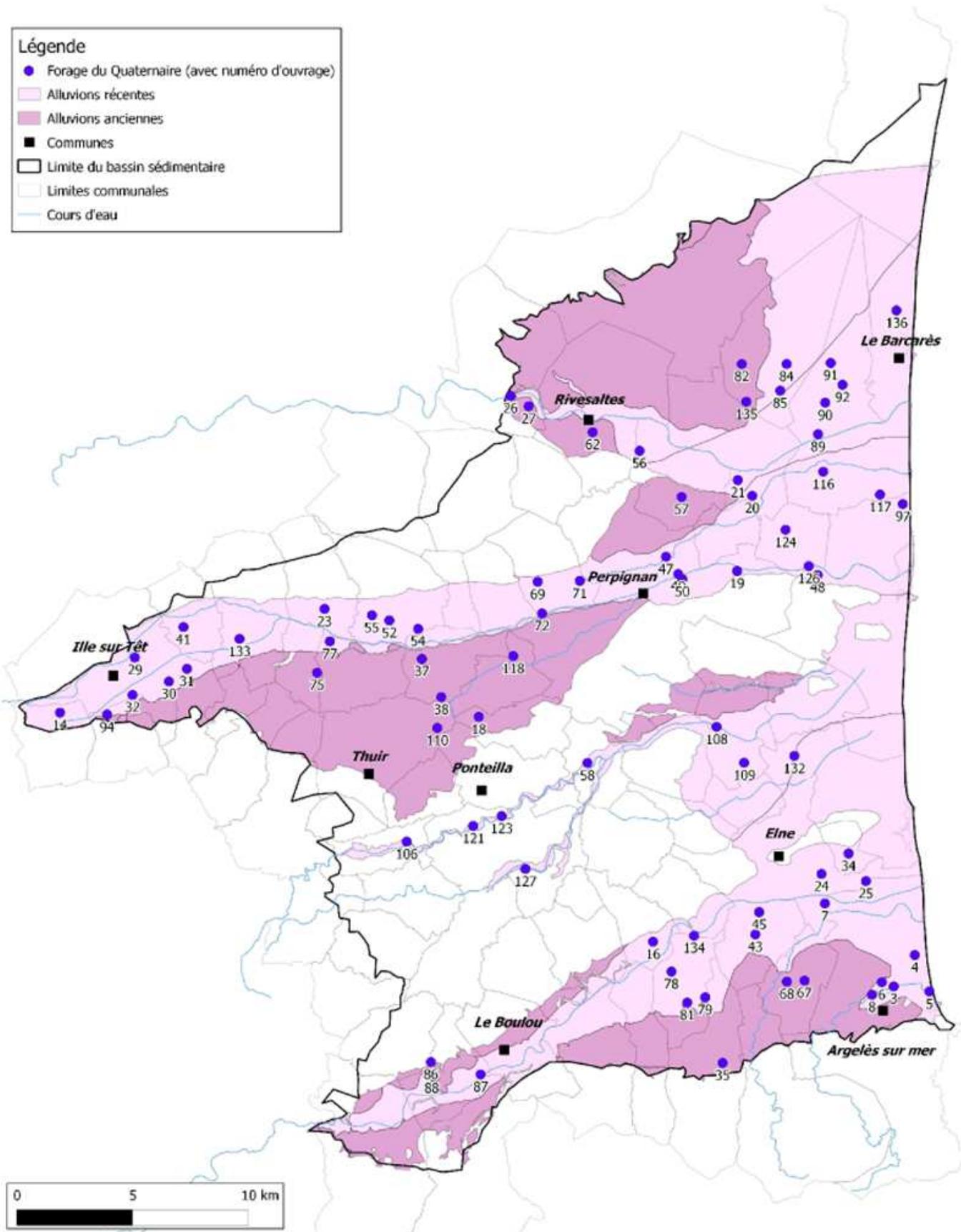


Figure 7 : Points de mesure piézométrique des nappes quaternaires

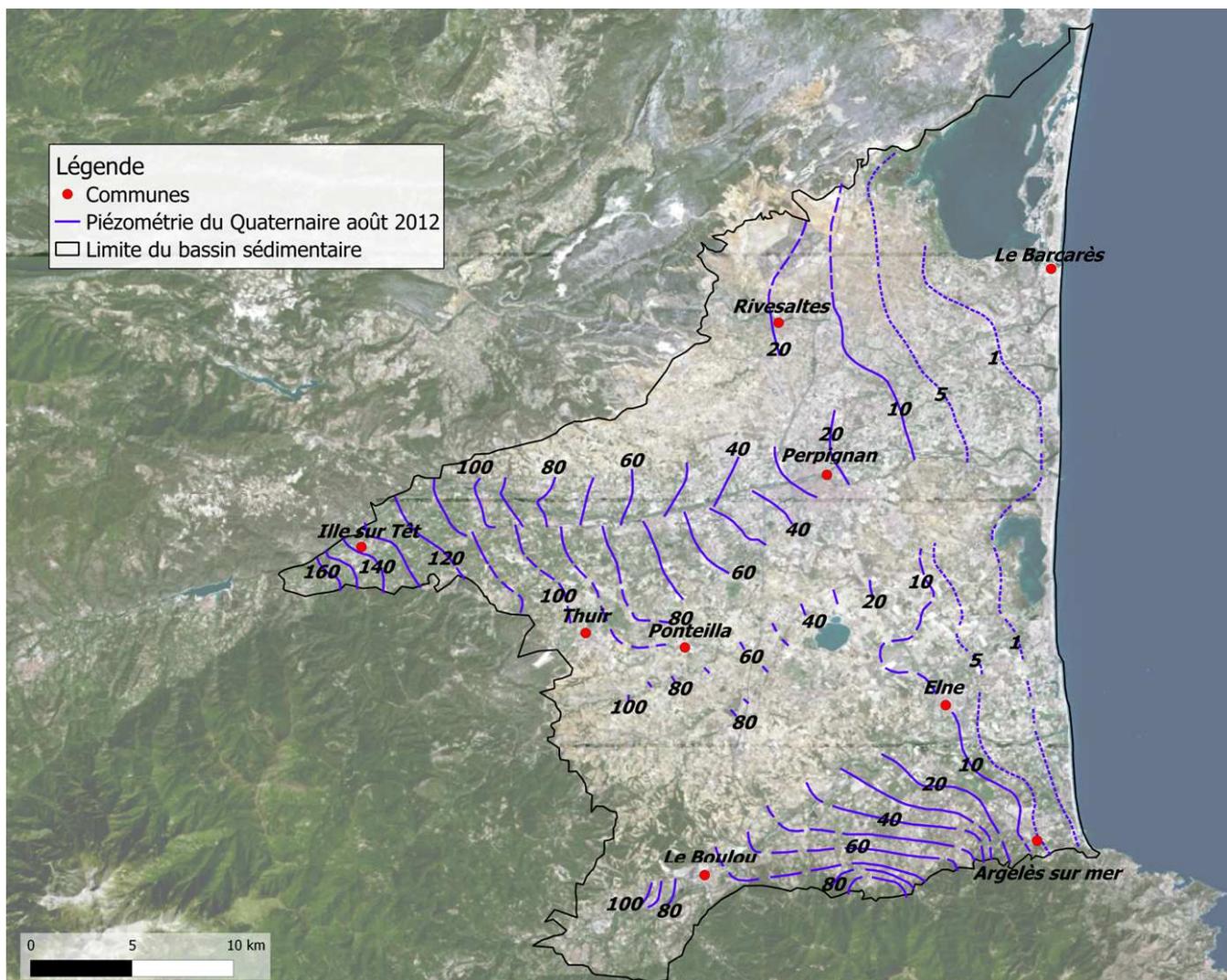


Figure 8 : Piézométrie du Quaternaire d’Août 2012

Il est nécessaire de préciser que le Quaternaire est constitué par des unités très morcelées (terrasses non connectées, fortement découpées et sur-creusées par les cours d’eau et l’érosion) et que les cours d’eau et les canaux d’irrigation perturbent fortement les isopièzes (surtout à l’intérieur des terres). Les cartes réalisées à l’échelle de la plaine du Roussillon ne peuvent rendre compte de ces hétérogénéités locales et de la complexité des isopièzes, mais donnent une allure générale et globale des écoulements y prenant place.

Les nappes du Quaternaire étant en connexion avec la mer Méditerranée, l’isopièze 0 mNGF correspond au trait de côte.

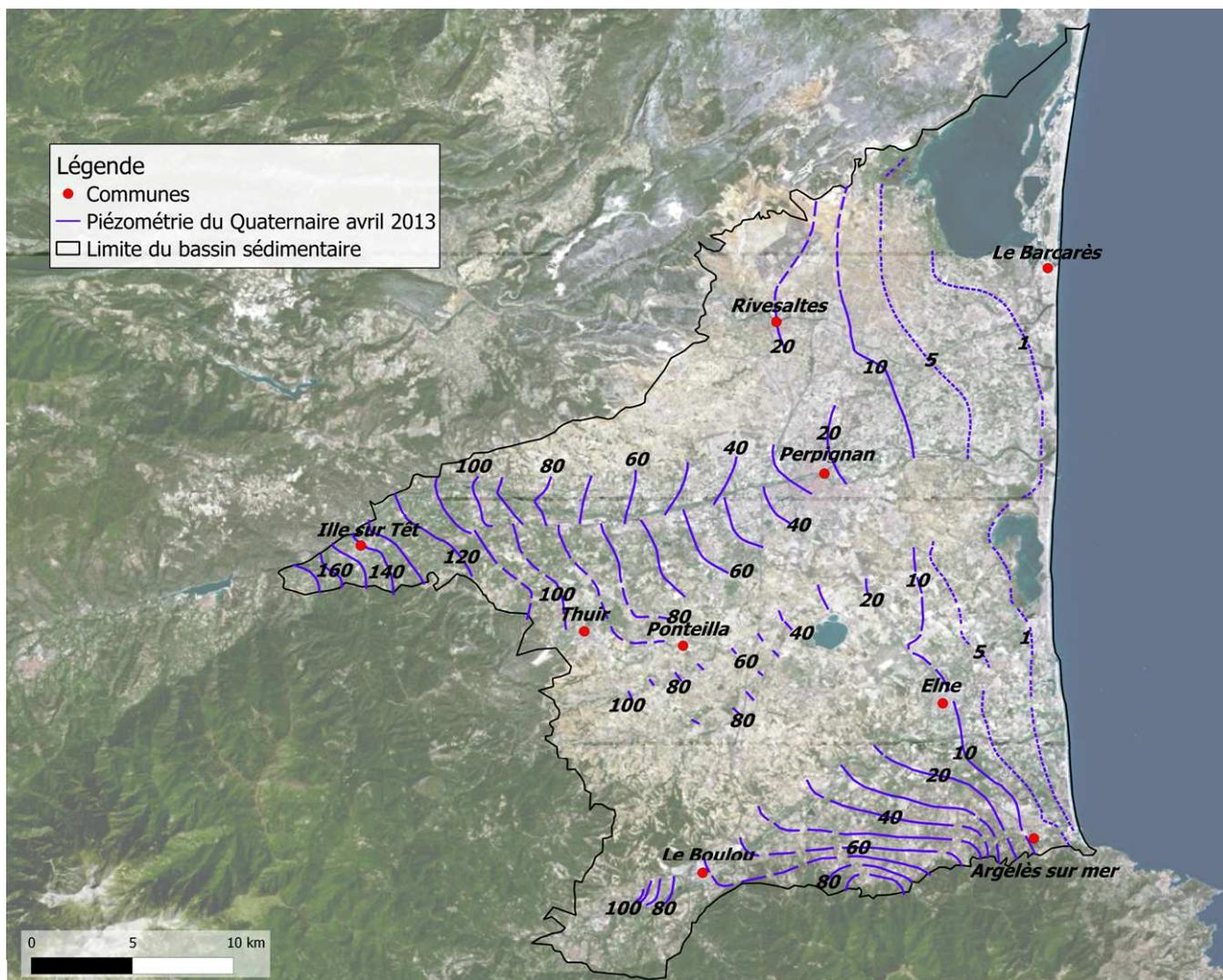


Figure 9 : Piézométrie du Quaternaire d'Avril 2013

4. Discussion des cartes piézométriques

4.1 Pliocène profond

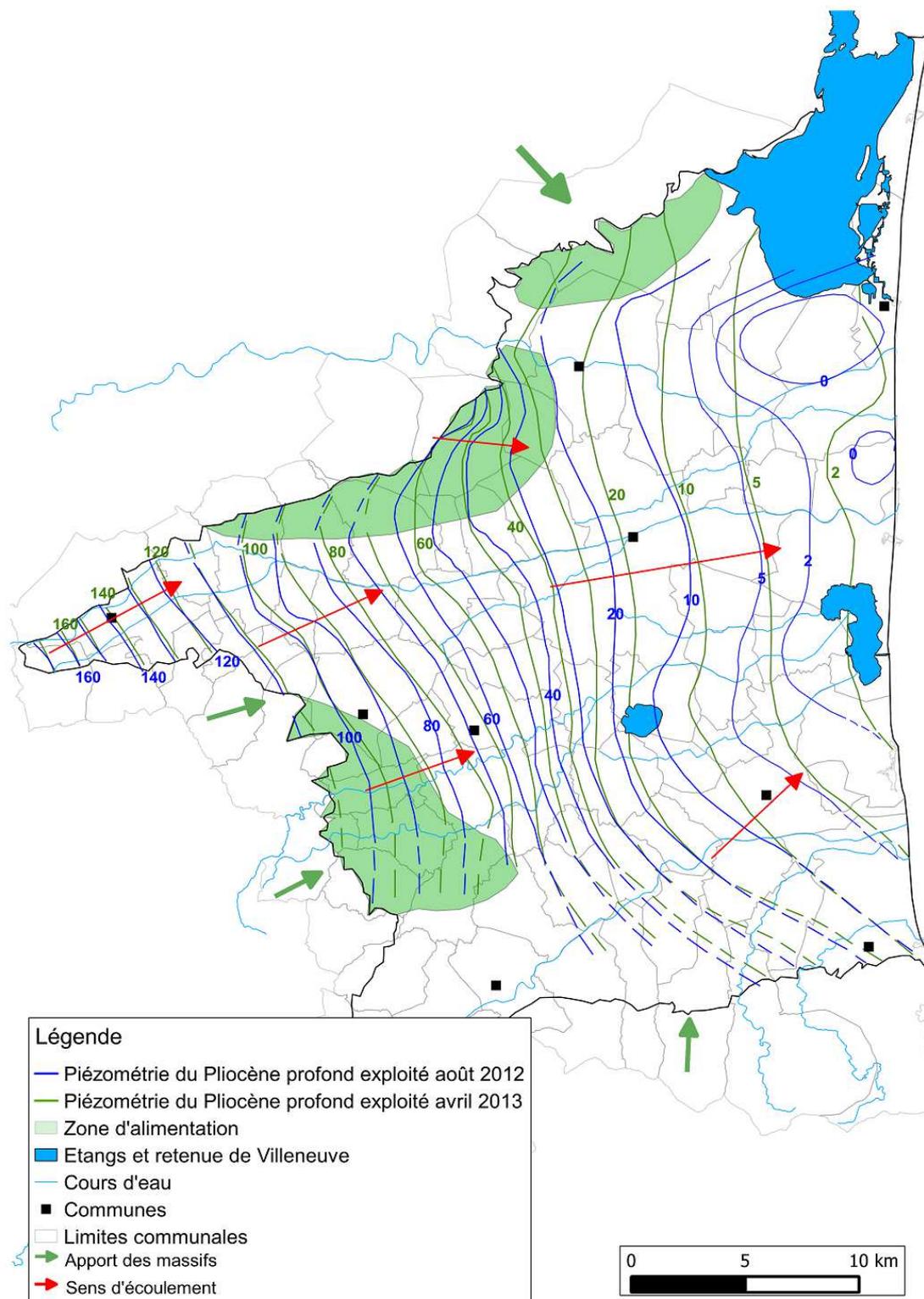


Figure 10 : Piézométries du Pliocène profond d'Août 2012 et Avril 2013

Comparaison hautes eaux – basses eaux

De façon globale à l'échelle de la plaine, la piézométrie d'Août 2012 semble légèrement plus basse que celle d'Avril 2013, hormis dans la bordure côtière Nord où l'on observe l'apparition de la dépression piézométrique très marquée en Août 2012.

Directions d'écoulement

De manière générale, les écoulements se dirigent d'Ouest en Est en direction de la Méditerranée. Une modification significative des directions d'écoulement apparaît entre les mois d'Août 2012 et Avril 2013 au niveau de la bordure côtière Nord du fait de la dépression piézométrique qui y prend place. Localement, ces directions sont orientées Sud-Ouest/Nord-Est comme dans la vallée du Tech (St-Génis-des-Fontaines), dans la partie sud du Réart (Brouilla, Ortaffa, Banyuls-dels-Aspres, Fourques) ou dans la partie amont de la Têt (à hauteur de St-Féliu-d'Avall et Thuir). Cette orientation pourrait suggérer une alimentation des nappes par de l'eau provenant des massifs périphériques. Sur la partie Nord, en Salanque (Salses-le-Château, St-Hippolyte, St-Laurent-de-la-Salanque), les écoulements orientés Nord-Ouest/Sud-Est pourraient résulter d'un apport d'eau depuis les Corbières.

Gradients hydrauliques

Que ce soit en période estivale ou hivernale le gradient hydraulique moyen à l'échelle de la plaine est de 6‰. Il diminue d'Ouest en Est passant d'environ 1‰ en amont du Réart et de la vallée du Tech à 2‰ sur les bordures côtières (Tableau 1). Cette augmentation peut être causée soit par une perméabilité moindre des zones en périphérie de la plaine, soit par une épaisseur moindre de l'aquifère (les deux se traduisant par une transmissivité moindre), soit par un artefact topographique à proximité des massifs environnants. Entre Août 2012 et Avril 2013, le gradient augmente de 1‰ sur la bordure côtière Sud et la Salanque mais diminue de 1‰ sur l'Agly. Sur la bordure côtière Nord le gradient augmente considérablement durant l'été où il passe à 4‰ en direction de la zone de captage AEP de St-Hippolyte – St-Laurent-de-la-Salanque.

Tableau 1 : Gradients hydrauliques du Pliocène profond par secteur et période

Secteur	Gradient d'Août 2012	Gradient d'Avril 2013
Bordure Côtière Nord	(0,004 en direction des captages AEP)	0,001
Agly	0,007	0,006
Salanque	0,002	0,003
Têt	0,006	0,006
Réart	0,010	0,010
Tech	De 0,001 sur la partie Est, à 0,02 à l'Ouest	De 0,001 sur la partie Est, à 0,02 à l'Ouest
Bordure Côtière Sud	0,003	0,004
	De 0,001 sur la partie Nord, à 0,01 au Sud	De 0,001 sur la partie Nord, à 0,01 au Sud
Moyenne	0,006	0,006

Les gradients piézométriques sont globalement cohérents avec la distribution des transmissivités (Figure 11) fournie par Marchal (1990). Les gradients les plus faibles sont en effet obtenus (en hiver) dans la bordure côtière Nord et en Salanque où les transmissivités sont très élevées. Les gradients sont également plus faibles dans le secteur de la Têt que dans ceux de l'Agly, du Réart et du Tech conformément à leurs transmissivités respectives. Dans la partie Sud de la bordure côtière Sud, les gradients élevés observés correspondent également à

des transmissivités faibles. Dans la partie Nord de la bordure côtière Sud, on dispose de peu de valeurs de transmissivités, mais les quelques données existantes semblent élevées et donc expliquer les faibles gradients observés. Dans cette zone, l'Étang de Canet conditionne la structure piézométrique des nappes du Quaternaire et doit vraisemblablement influencer aussi la piézométrie du Pliocène.

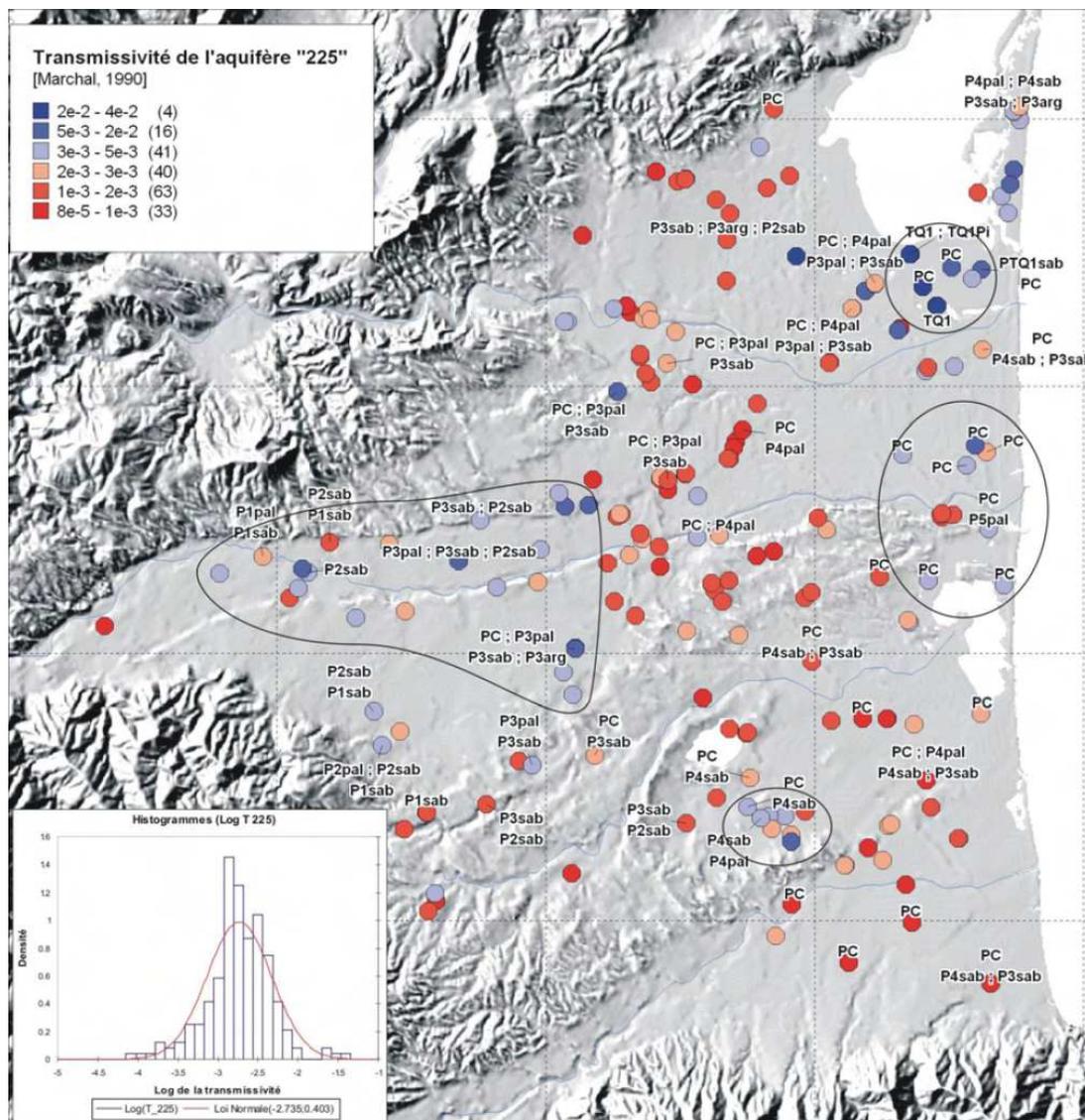


Figure 11 : Transmissivités (m^2/s) de l'aquifère 225 principalement constitué par les formations pliocènes et quaternaire marin en Salanque (Marchal, 1990)

Zones d'alimentation périphérique

Pour le Pliocène profond, les principales zones d'alimentation que semblent indiquer la piézométrie sont localisées à hauteur des Corbières sur la portion Nord de l'Agly et de la Salanque (Baixas, Salses le Château) et sur la partie occidentale du Réart à hauteur des calcaires du Causse de Thuir (Thuir, Terrats, Fourques). En Salanque, l'alimentation se fait par les apports issus du massif karstique des Corbières. Dans le Réart, l'eau alimentant le Pliocène provient vraisemblablement de l'infiltration des eaux de pluies et de ruissellement, mais peut-être aussi dans une moindre mesure, des calcaires dévoniens du Causse de Thuir et Ste-Colombe. Une réalimentation du Pliocène par la Têt semble également possible, juste à l'entrée du fleuve dans la plaine.

Finalemeut, mais de manière moins significative, des apports d'eau peuvent provenir des massifs environnants par contribution des ruissellemeuts ou par drainage du socle en fonction de la densité de fracturation affectant les massifs.

4.2 Pliocène de la Salanque

Directions d'écoulement

Les écoulements sont principalement orientés d'Ouest en Est (Figure 12) en direction de la Méditerranée pour la période estivale comme pour la période hivernale, hormis au niveau du littoral où la dépression qui apparaît en été modifie les directions d'écoulement dans cette zone. Sur la partie Sud de cette nappe, à hauteur de Villelongue-de-la-Salanque et de Torreilles, les écoulements sont plutôt orientés Sud-Ouest/Nord-Est.

Une hausse d'environ 2m du niveau piézométrique est observable entre Août 2012 et Avril 2013.

Très peu de points de mesure étant disponibles pour cette nappe, la carte piézométrique n'est pas complète et très précise, et les résultats sont donc à prendre avec précaution.

Gradient hydraulique

Du fait du peu de points de mesure, la détermination du gradient hydraulique sur la partie amont de la zone (Rivesaltes, Espira-de-l'Agly, Salses-le-Château) n'est possible que par extrapolation. Les gradients sont relativement similaires entre les deux périodes comme le montre le tableau ci-dessous excepté sur la bordure côtière Nord où le gradient diminue légèrement au mois d'Avril.

Tableau 2 : Gradients hydrauliques du Pliocène de la Salanque par secteur et période

Secteur	Gradient d' Août 2012	Gradient d' Avril 2013
Bordure Côtière Nord	0,0015	0,0006
Salanque	0,002	0,002
Têt	0,002	0,002

Zones de recharge

Aucune zone de recharge n'est clairement observable. Nous pouvons toutefois penser qu'il s'agit vraisemblablement des mêmes zones potentielles que pour le Pliocène profond, c'est à-dire en provenance du massif karstique des Corbières dans la partie Nord (à hauteur de Salses-le-Château et Espira-de-l'Agly).

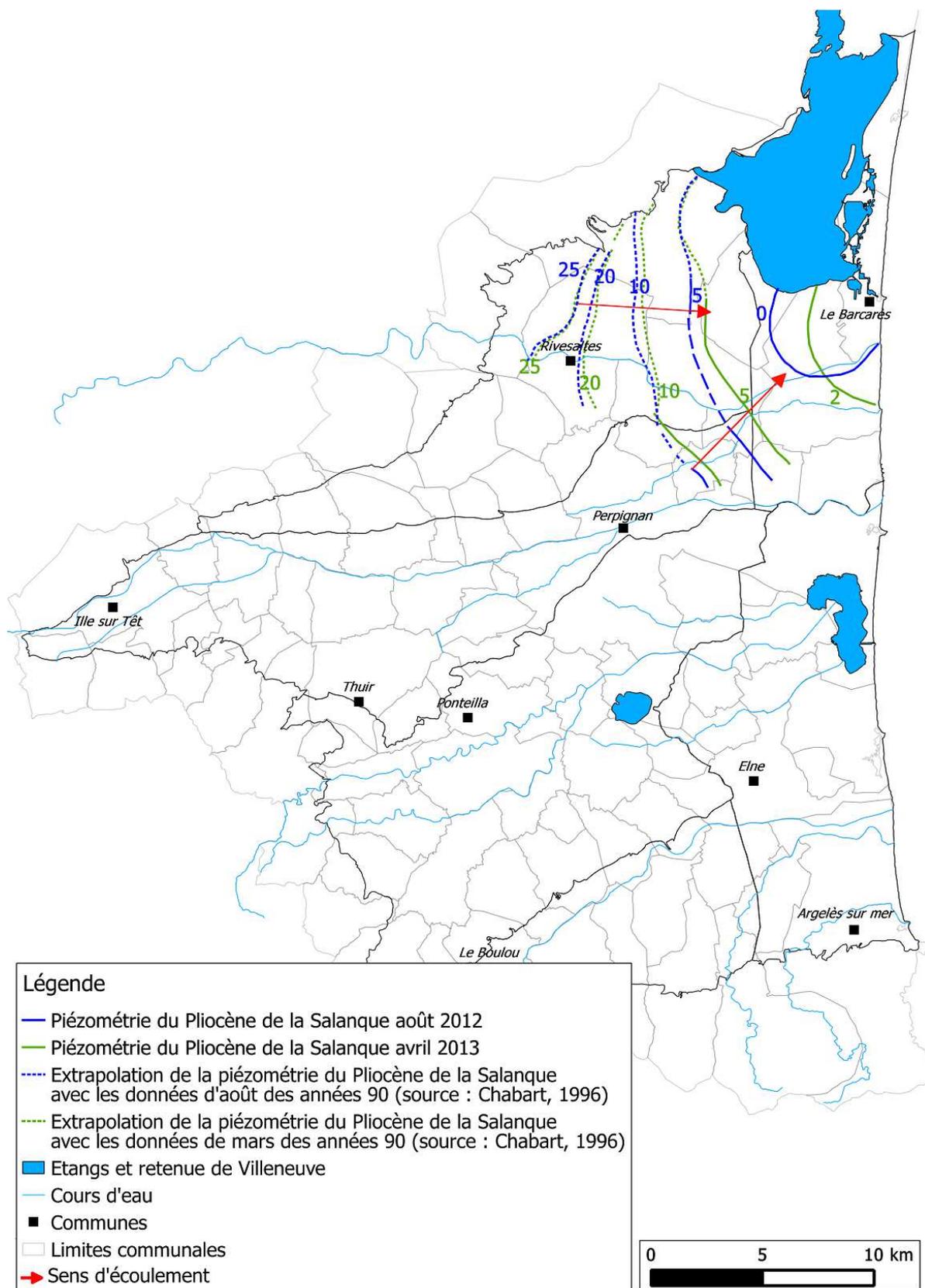


Figure 12 : Piézométrie du Pliocène de la Salanque d' Août 2012 et Avril 2013

4.3 Quaternaire

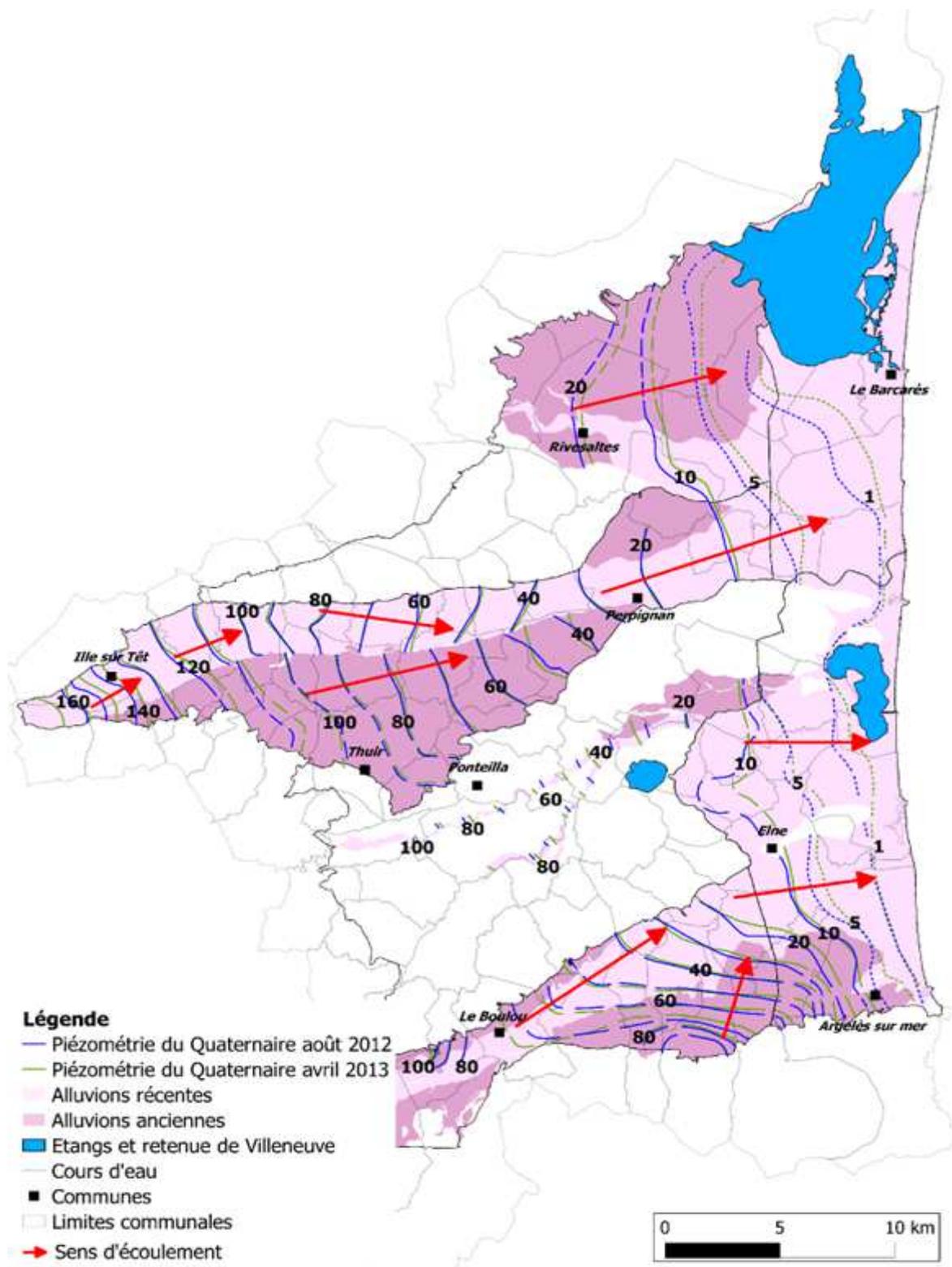


Figure 13 : Piézométrie du Quaternaire d' Août 2012 et Avril 2013

Directions d'écoulement

Concernant le Quaternaire, il est nécessaire de rappeler que la densité de mesures est faible compte tenu du caractère très discontinu des formations quaternaires (terrasses déconnectées, dépôts fortement découpés et entaillés par les cours d'eau et l'érosion). Les interpolations réalisées pour les cartes piézométriques peuvent donc conduire à des artéfacts locaux et induire des biais non négligeables. Les éléments discutés ci-après doivent donc être considérés avec précaution à la lumière de ces réserves.

De manière générale les écoulements se font d'Ouest en Est vers la Méditerranée que ce soit en période estivale ou hivernale.

Localement ces directions d'écoulement sont orientées Sud-Ouest/Nord-Est comme dans la partie amont de la Têt (à hauteur d'Ille-sur-Têt) ou dans la vallée du Tech (entre le Boulou et Brouilla). Dans le Tech, entre Montesquieu-des-Albères, St-Génis-des-Fontaines et Sorède, les écoulements sont orientés Sud/Nord. Ces directions peuvent être causées par l'alimentation des nappes par l'eau provenant des massifs périphériques. Sur la partie Nord, en Salanque (Salses-le-Château, St-Hippolyte), les écoulements sont quant à eux plutôt orientés Nord-Ouest/Sud-Est et possiblement induit par un apport en eau depuis les Corbières.

Plusieurs observations ressortent. Premièrement, une inversion des périodes de hautes et basses eaux est observable sur certains secteurs de la plaine. Les hautes eaux ont lieu au mois d'avril sur la partie aval de la vallée de la Têt à hauteur de Perpignan. En amont de Perpignan, entre Soler et Millas, les niveaux piézométriques des deux périodes sont plutôt équilibrés. Enfin, en amont de Millas, les hautes eaux se situent à nouveau au mois d'Avril. Ce phénomène peut être dû en partie à la fonte printanière des neiges des massifs périphériques qui contribue à l'alimentation des nappes ainsi qu'aux pertes des canaux d'irrigation ou à la contribution de l'irrigation durant la période estivale. Ce phénomène semblerait être le cas dans la partie centrale du Réart entre Trouillas et Perpignan, ainsi que dans le Tech au Boulou. Dans ces deux secteurs, il est difficile de savoir s'il s'agit d'une réelle inversion des périodes de hautes et basses eaux ou d'une incertitude sur le tracé des cartes. En effet, très peu, voire aucun canal d'irrigation n'est présent sur ces deux secteurs. De plus, les données et connaissances ne sont pas suffisantes pour confirmer ou infirmer ce fait. Plusieurs de ces secteurs ne possèdent en effet pas de points observation, et les constats établis le sont à partir des cartes piézométriques interpolées.

Si l'on superpose la cartographie des alluvions anciennes et récentes, il semblerait qu'il n'y ait pas de liaison hydraulique entre les alluvions de la rive droite et ceux de la rive gauche de la Têt. En effet la présence du Pliocène le long de la Têt provoque une rupture de la continuité hydraulique et un décrochement des isopièzes que ce soit en période estivale ou en période hivernale. La direction des écoulements en est modifiée au passage entre les deux formations, comme cela peut être observé en Salanque entre Clairà et Salses-le-Château ou dans la partie centrale de la vallée de la Têt entre Millas et Perpignan. La lithologie des alluvions ainsi que leurs propriétés hydrodynamiques conditionnent en partie les directions d'écoulement que ce soit en période estivale ou hivernale.

Gradient hydraulique

Le gradient hydraulique varie très légèrement entre Août 2012 et Avril 2013, passant de 3 à 4% en moyenne à l'échelle de la plaine. Il augmente de 4 à 6% dans la vallée de la Têt, de 5 à 6% dans le Réart et de 6 à 7% dans le Tech (Tableau 3).

Tableau 3 : Gradients hydrauliques du Quaternaire par secteur et période

Secteur	Gradient d’Août 2012	Gradient d’Avril 2013
Bordure Côtière Nord	0,001	0,001
Salanque	0,002	0,002
Têt	0,004	0,006
Réart	0,005	0,006
Tech	0,008	0,008
Bordure Côtière Sud	0,003	0,003
Moyenne	0,003	0,004

Zones de recharge

D’une manière générale, l’alimentation des nappes quaternaires se fait par infiltration des eaux de pluie et de ruissellement sur les zones affleurantes (soit sur toute l’étendue des nappes) et par les échanges avec les cours d’eau (cartographiés dans la partie 2.2). De manière moins significative, des apports d’eau pourraient provenir des massifs environnants par ruissellement ou par drainance du socle en fonction de la densité de fracturation.

Pour la Salanque, la zone de recharge principale (par le massif des Corbières) est située sur la partie Nord-Ouest à hauteur de Rivesaltes, Espira-de-l’Agly et Salses-le-Château.

Dans la vallée de la Têt la recharge est principalement localisée sur Bouleternère et Ille-sur-Têt et résulterait de l’infiltration des eaux de pluie et ruissellement, mais également de l’infiltration des eaux du Boulès (Figure 14). La recharge pourrait s’effectuer dans une moindre mesure depuis les massifs périphériques (calcaire dévoniens du Causse de Thuir-Ste-Colombe) par drainance du socle en fonction de la densité de fracturation ou par ruissellement comme dans le Tech avec les Albères.

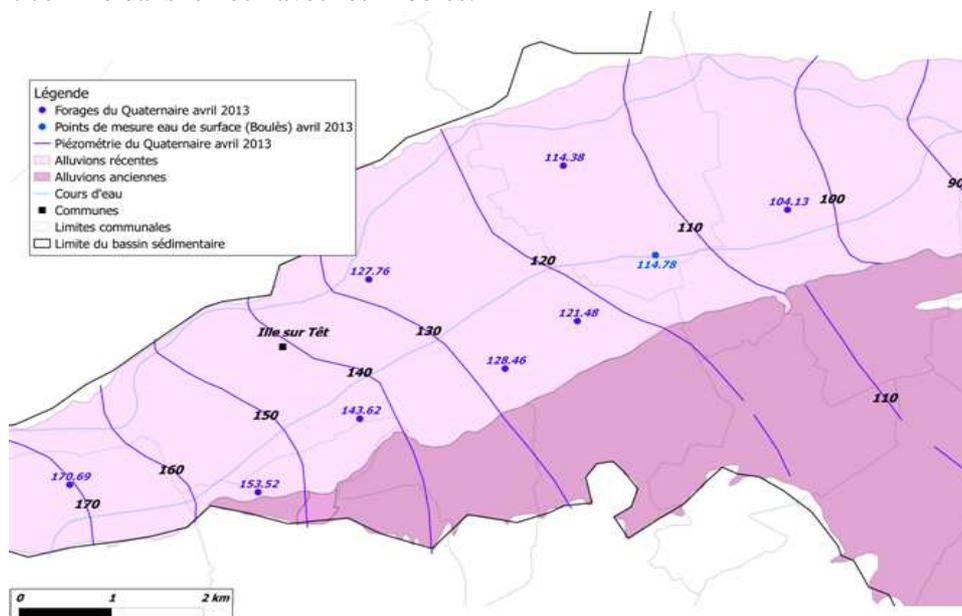


Figure 14 : Piézométrie du Quaternaire dans le secteur du Boulès en avril 2013

Dans le Réart, la recharge se fait essentiellement par infiltration des eaux de pluie et de ruissellement. On peut localement concevoir une recharge par le Réart, mais les données ne sont pas suffisantes pour confirmer ou infirmer ce fait.

5. Comparaison des piézométries 1976 et 2012-2013

5.1 Pliocène

Les cartes piézométriques des nappes datant de 1976 permettent une comparaison avec les cartes actuelles afin de mettre en évidence des éventuelles modifications de comportement, des secteurs ayant évolués ou étant restés stables depuis une quarantaine d'années.

Ne connaissant pas la période de l'année à laquelle ces cartes ont été réalisées, nous allons les comparer avec les cartes du mois d'Avril 2013, c'est à-dire en sortie d'hiver, où la piézométrie est la moins perturbée par les apports d'irrigation, les pertes de canaux et les prélèvements locaux.

Directions d'écoulement et niveau de nappe

De manière générale, la direction actuelle des écoulements est inchangée par rapport à celle de 1976. L'orientation est toujours d'Ouest en Est en direction de la Méditerranée. On remarque cependant que les axes de drainage semblent davantage marqués en 1976 sur l'Agly, la Têt, le Tech qu'à l'heure actuelle. Il se pourrait cependant que cela résulte d'une différence dans la façon dont ont été faites les cartes. La piézométrie de 1976 montre néanmoins au niveau de Fourques, Passa et Trouilla une orientation Sud-Ouest / Nord-Est alors que la piézométrie d'avril 2013 semble indiquer une orientation Ouest Est. Le prolongement des isopièzes d'Avril 2013 dans ce secteur restant une supposition, il est fort probable que la variation de la direction d'écoulement soit due à cette incertitude.

Pour ce qui est du niveau piézométrique une baisse semble observable entre 1976 et 2013 (Avril) sur l'ensemble de la plaine. Les deux bordures côtières sont les secteurs où s'observe la plus forte baisse du niveau piézométrique. Dans une moindre mesure, une baisse est observée en Salanque, plus légèrement dans la vallée de la Têt. Les secteurs de l'Agly, des Aspres et du Réart ne semblent pas avoir diminué de façon très significative. Dans le cas présent, il est peu pertinent de donner une valeur de variation du niveau piézométrique puisque la période à laquelle la carte de 1976 a été réalisée n'est pas connue.

Gradient hydraulique

Le gradient hydraulique était il y a 40 ans, comme à l'heure actuelle (en hiver), très faible à proximité du littoral (2‰ en moyenne). Il était plus élevé en amont à proximité des massifs périphériques, atteignant 2% entre Passa et Villemolaque pour les mesures de 1976 et 1% entre Trouillas et Bages pour les mesures réalisées en avril 2013. Le gradient hydraulique moyen de 1976 (de la plaine) était légèrement plus faible qu'actuellement avec un gradient de 5‰ contre 6‰ en avril 2013 (mesuré entre Thuir et Théza).

Zones de recharge

Les mêmes zones potentielles d'alimentation se retrouvent sur les deux cartes, que ce soit à hauteur des Corbières sur la portion Nord de l'Agly et de la Salanque (Baixas, Calce, Espira de l'Agly et Salses le Château) et sur la partie occidentale du Réart à hauteur des calcaires du causse de Thuir (Thuir, Terrats, Fourques).

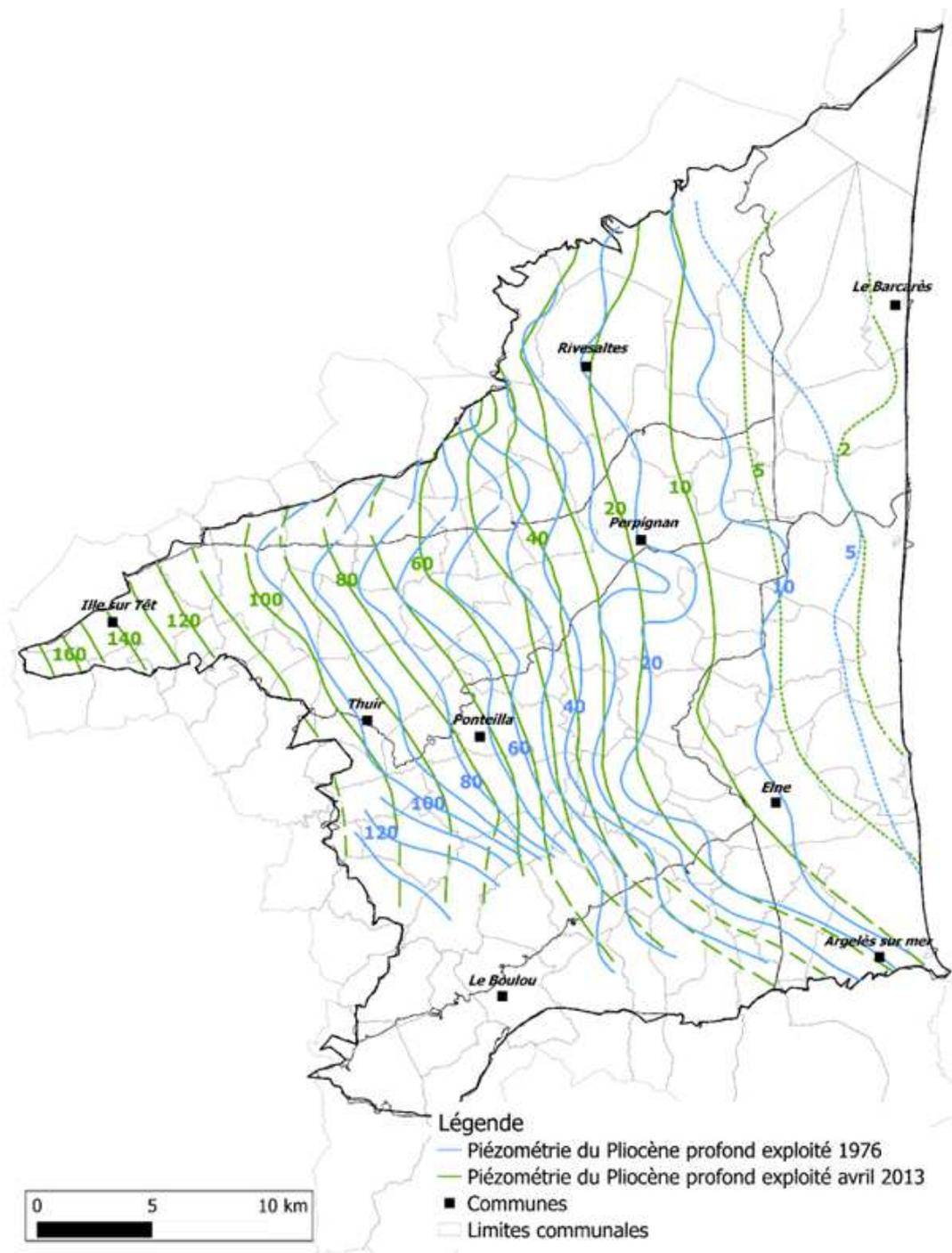


Figure 15 : Piézométries du Pliocène profond de 1976 et avril 2013

Artésianisme

La cartographie de 1972 indiquait les secteurs artésiens. On retrouve aujourd’hui les mêmes secteurs, mais avec un artésianisme qui semble fortement diminué, voire disparu (cas de la vallée de la Têt en amont de Perpignan qui était en grande partie artésienne). Ceci confirmerait une baisse généralisée de la piézométrie du Pliocène (particulièrement sur la bordure côtière). Dans la vallée du Tech, il est difficile de statuer car nous ne disposons pas d’élément.

Secteur posant question

A hauteur de Perpignan, la piézométrie de 1976 (courbes piézométriques de 20 et 30m) semble perturbée, alors que cette variation n'a pas été mise en évidence en 2013.

Observations à l'échelle des différents secteurs

Comme indiqué précédemment, les directions d'écoulement restent globalement inchangées depuis 1976 sur l'ensemble des secteurs de la plaine. De plus, il paraît difficile et délicat de donner une valeur de variation du niveau piézométrique puisque la période de l'année à laquelle la carte de 1976 a été réalisée n'est pas connue.

Bordures côtières Nord et Sud : Pour les bordures côtières, les directions d'écoulement sont semblables de manière générale. Le niveau piézométrique a cependant baissé depuis 40 ans du fait de l'augmentation des prélèvements.

Agly-Salanque : La direction d'écoulement est restée la même en 40 ans, mais le niveau piézométrique a également baissé sur la portion aval de la Salanque et l'Agly, mais semble être relativement stable sur la partie amont de la Salanque.

Têt : La direction d'écoulement reste inchangée par rapport à 1976. Concernant le niveau piézométrique une baisse est observable mais semble moins prononcée que dans les secteurs précédents. Entre St-Féliu-d'Amont et le Soler et entre Toulouges et Perpignan, la piézométrie semble s'être plus ou moins stabilisée. Mentionnons cependant que la quasi disparition de l'artésianisme confirmerait une baisse généralisée des niveaux.

Réart : La direction d'écoulement ne connaît pas de variation majeure. Une baisse du niveau piézométrique n'est que peu observable, excepté sur la portion aval du secteur à hauteur de Cabestany où le niveau semble avoir significativement diminué.

Tech : Dans ce secteur, il est difficile de se prononcer sur la variation du niveau piézométrique entre les deux dates par manque de mesures fiables en avril 2013 hormis au niveau de Palau-del-Vidre où le niveau ne semble pas avoir changé.

5.2 Quaternaire

Comme pour le Pliocène profond, nous ne connaissons pas l'époque de l'année à laquelle correspond la carte 1976 du Quaternaire. La comparaison avec la carte actuelle est donc délicate et peu précise. La carte d'Avril 2013 est par conséquent à nouveau utilisée. La comparaison qui va suivre est directement effectuée à l'échelle des secteurs puisque les nappes quaternaires ne couvrent pas la plaine de façon continue.

Mentionnons que cette comparaison se fait à une échelle générale et qu'une baisse localisée peut difficilement être mise en évidence. Egalement, les évolutions faibles observées peuvent résulter d'artéfacts dans les données (effet local de prélèvement, nivellement) ou dans l'interpolation des cartes (points de mesure, méthodes et outils différents).

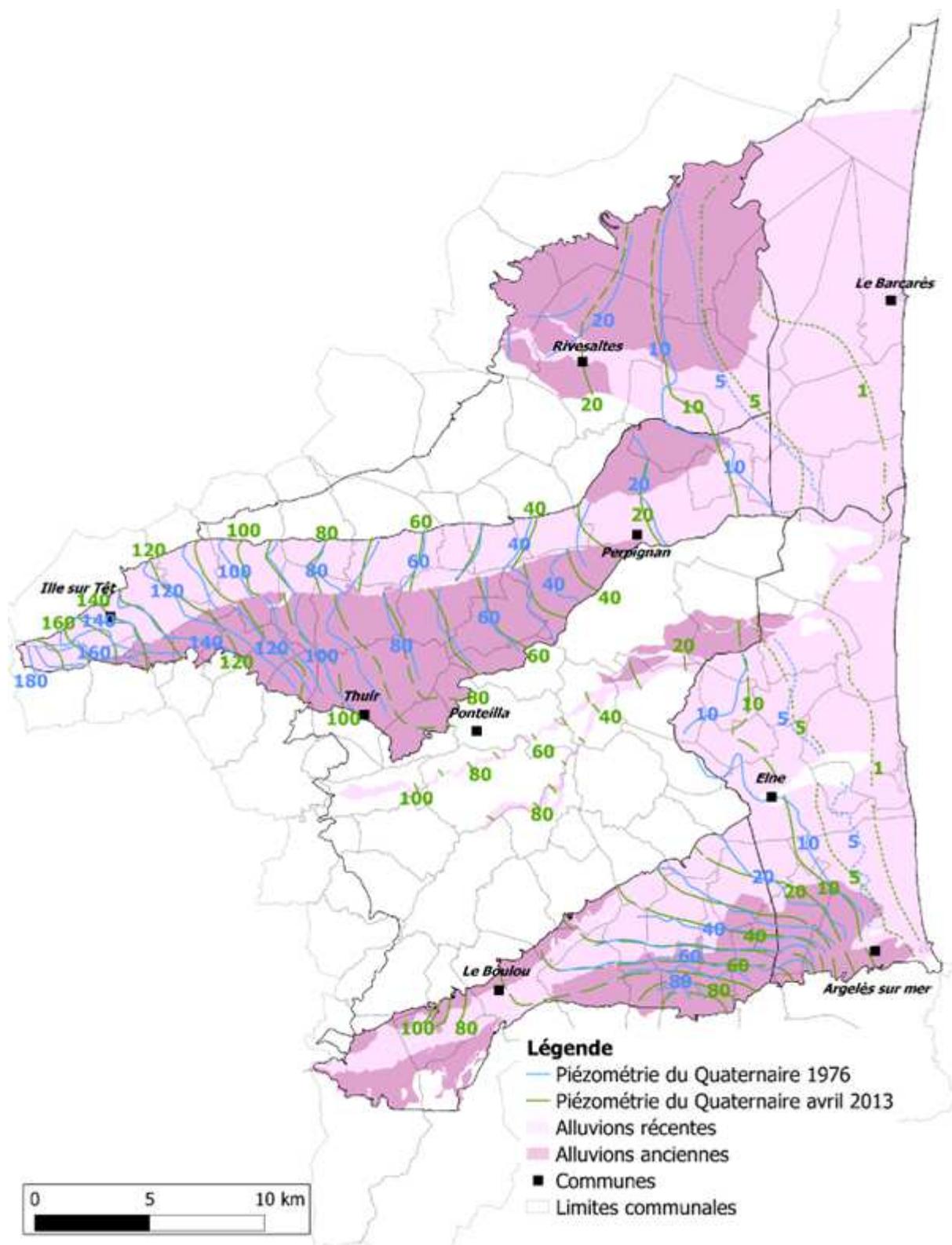


Figure 16 : Piézométries 1976 et 2013 du Quaternaire

Nappe de l'Agly : Cette nappe comprend deux secteurs, celui de la bordure côtière Nord et celui de la Salanque. Pour ce qui est de la bordure côtière Nord, la piézométrie est très plate, ce qui rend la comparaison délicate. Toutefois, la direction d'écoulement semble identique entre 1976 et 2013, et de direction Sud-Ouest /

Nord-Est. Une légère augmentation du niveau piézométrique semble observable. Sur la partie aval du secteur de la Salanque (Claira, St-Hippolyte), la direction d'écoulement reste inchangée (Ouest/Est) et le niveau piézométrique semble relativement stable depuis 40 ans. Sur la partie amont, à hauteur de Rivesaltes, la direction d'écoulement et le niveau piézométrique sont assez différents entre 1976 et 2013. Ceci peut provenir du faible nombre de points de mesure dans cette zone qui rend le tracé des isopièzes peu précis.

Nappe de la Têt : En premier aperçu, le décrochement des isopièzes est tout aussi marqué entre les alluvions anciennes et récentes. L'étude séparée des trois parties de cette nappe (aval, rive droite et rive gauche) facilite la comparaison.

- Sur la section aval (à hauteur de Perpignan - Bompas), la direction d'écoulement (Ouest/Est) et le gradient hydraulique (~3‰) restent inchangés. Le niveau piézométrique semble quant à lui avoir subi une diminution.
- En rive droite (entre St-Michel-de-Llotes et Perpignan), la direction d'écoulement reste globalement la même. Entre Perpignan et St-Féliu-d'Amont, le gradient n'a pas bougé en 40 ans. Il varie ensuite sur la partie amont entre St-Féliu-d'Amont et St-Michel-de-Llotes où il voit sa valeur diminuer entre 1976 et 2013, passant de 8‰ à 6‰. Pour ce qui est du niveau piézométrique, la comparaison est difficile. Le niveau semble stable à hauteur du Soler, en hausse sur la partie aval, puis en baisse à partir de Camélas à l'amont.
- En rive gauche (entre Bouleternère et Perpignan), la direction d'écoulement reste inchangée et le gradient hydraulique globalement le même. Un léger gain piézométrique semble observable entre Perpignan et Baho, une stabilité ou légère diminution entre Baho et Millas, et une augmentation entre Millas et l'Ille-sur-Têt. Ces évolutions sont cependant faibles et peuvent résulter d'artéfacts dans les données (effet local de prélèvement, nivellement) ou dans l'élaboration des cartes (points de mesure, méthodes et outils différents). Entre l'Ille-sur-Têt et Boulternère, bien que les isopièzes soient quelque peu différentes, la piézométrie semble stable entre 1976 et 2013.

Nappe du Réart : Cette nappe comprend deux secteurs : le Réart et la partie Nord de la bordure côtière Sud. Dans le secteur du Réart, aucune carte piézométrie n'a été établie en 1976 ; aucune comparaison n'est donc possible. Dans la bordure côtière Sud, la direction principale d'écoulement semble la même entre les deux cartes tout comme le gradient hydraulique de 2‰. Quant au niveau piézométrique, il paraît relativement stable depuis 40 ans à hauteur de St-Nazaire et Alénia mais avec peut-être une légère augmentation. Cette évolution est cependant faible et peut résulter d'artéfacts dans les données (effet local de prélèvement, nivellement) ou dans l'élaboration des cartes (points de mesure, méthodes et outils différents).

Nappe du Tech : La nappe du Tech s'étend sur deux secteurs : la vallée du Tech et la partie Sud de la bordure côtière Sud.

- Sur la bordure côtière Sud, la direction d'écoulement est restée la même, à savoir Ouest/Est et le gradient hydraulique de 8‰ n'a pas changé. Le niveau piézométrique a diminué depuis 40 ans et se stabilise sur la partie Sud d'Argelès-sur-mer.
- Sur le Tech, la direction d'écoulement est restée la même entre 1976 et 2013, c'est-à-dire Sud/Nord entre Villelongue-dels-Monts et St-Génis-des-Fontaines et Sud-Ouest/Nord-Est le long du Tech. Sur l'ensemble du secteur, la piézométrie et le gradient hydraulique (de 1% en moyenne) sont plutôt stables.

En conclusions de cette comparaison entre les piézométries de 1976 et de 2013 (Avril), il semblerait que :

- le Pliocène montre une baisse généralisée, notamment significative sur la bordure côtière Nord ;
- il est difficile de mettre en évidence une tendance pour le Quaternaire, celle-ci paraissant plutôt à la stabilité, avec quelques baisses localisées (partie aval du Tech), voire quelques hausses localisées. Ces variations faibles peuvent être liées aux imprécisions des cartes et des artefacts des cartes et sont donc de l'ordre de grandeur de l'incertitude de l'approche.

6. Vitesses d'écoulement

L'étude demandait d'évaluer les vitesses moyennes d'écoulement à l'aide des cartes piézométriques réalisées. La vitesse apparente de Darcy (ou débit spécifique de Darcy, ou vitesse moyenne de filtration) peut être calculée à l'aide des gradients piézométriques issus des cartes. Sa formule est la suivante :

$$\text{ou } V_D = \frac{Q}{A} \quad \text{ou } V_D = K \cdot i$$

- Où V_D est la vitesse apparente de Darcy (m/s) ;
 Q est le débit (m^3/s) ;
 A est la section traversée par le flux (m^2) ;
 K est le coefficient de perméabilité (m/s) ;
 i est le gradient hydraulique (sans unité).

La vitesse apparente de Darcy est cependant une vitesse fictive de l'eau correspondant à la vitesse qu'aurait l'eau si elle s'écoulait dans un milieu sans roche. Si l'on s'intéresse à la vitesse réelle d'écoulement de l'eau, il est nécessaire de connaître un paramètre supplémentaire, la porosité cinématique, plus rarement mesuré (nécessitant la réalisation d'un traçage). Ces vitesses réelles de l'écoulement sont cependant nécessaires lorsqu'on s'intéresse au transfert d'une pollution ou au temps de séjour de l'eau dans l'aquifère. Cette vitesse se calcule selon la formule suivante :

$$v = \frac{V_D}{n_c} \quad \text{ou } v = \frac{K \cdot i}{n_c}$$

- Où v est la vitesse réelle de déplacement de l'eau (m/s) ;
 n_c est la porosité cinématique (sans unité).

Remarque : N'ayant pas de donnée bibliographique sur la porosité cinématique, une valeur de 10% a été utilisée.

La vitesse apparente de Darcy et la vitesse réelle d'écoulement ont été calculées pour chaque secteur. Chaque secteur a pour cela été divisé en trois zones ou plus (ex. partie amont, centrale et aval), sur lesquelles les vitesses ont été calculées. Les flèches indiquées sur les cartes (ex. Figure 17) précisent les endroits où ont été calculées les vitesses. Les calculs ont été préférentiellement réalisés dans des zones où les points de mesures étaient suffisamment nombreux pour avoir une piézométrie fiable. La vitesse moyenne sur le secteur est par la suite calculée.

Ces vitesses ont par ailleurs été calculées avec la piézométrie d'Août 2012 et celle d'Avril 2013. La moyenne des vitesses sur les deux périodes a été calculée comme ordre de grandeur de la vitesse moyenne annuelle.

6.1 Pliocène profond

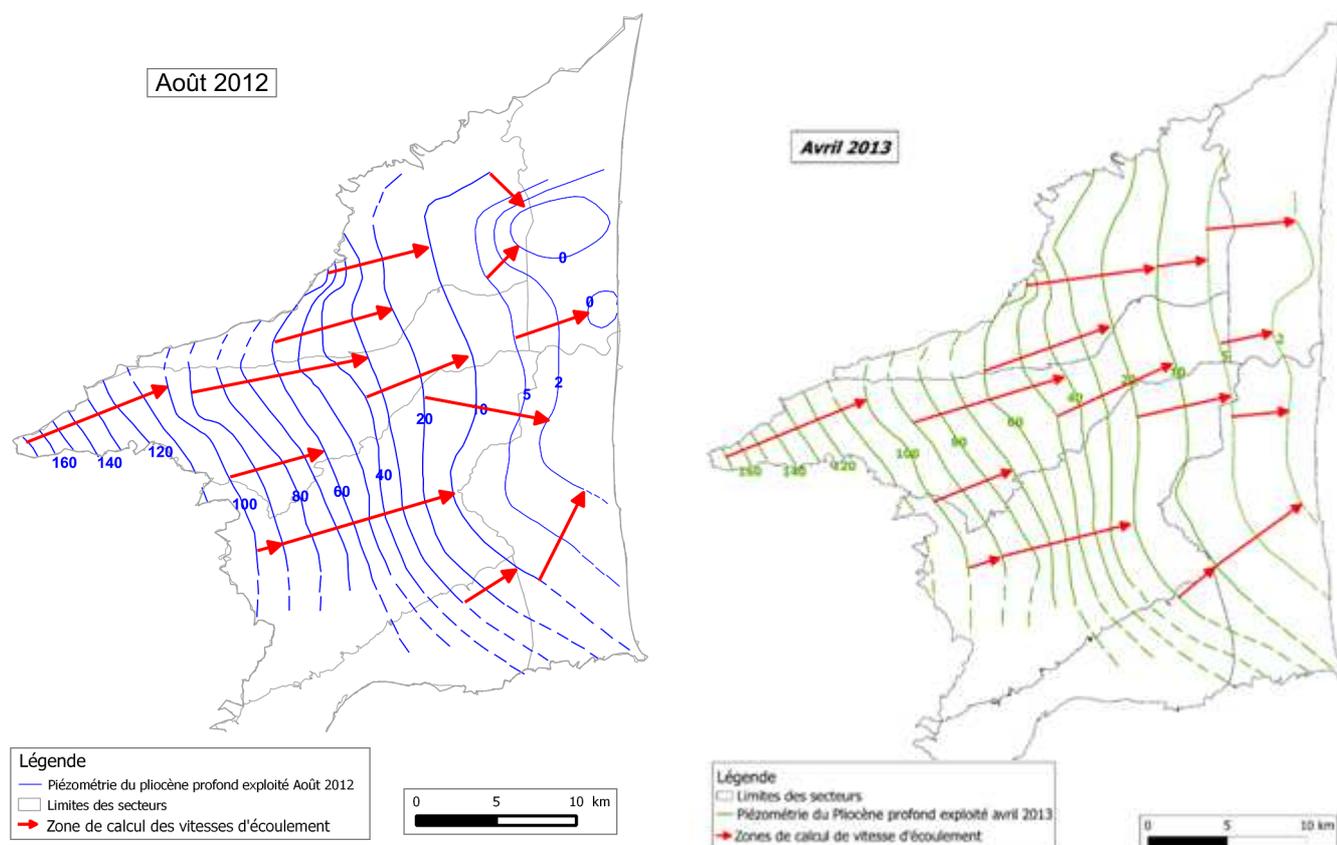


Figure 17 : Zones de calcul de vitesse d’écoulement dans le Pliocène profond

Tableau 4 : Vitesses d’écoulement dans le Pliocène profond

Secteur	Vitesse réelle moyenne (m/an)		
	Août 2012	Avril 2013	Moyenne annuelle
Bordure côtière Nord	166	30.4	98.0
Agly-Salanque	77.2	85.1	81.1
Têt	99.3	97.9	98.6
Aspres-Réart	149.4	112.6	131.0
Tech	48.5	31.6	40.1
Bordure côtière Sud	15.3	9.7	12.5
Moyenne	93	61	77

Sur l’année, la vitesse moyenne d’écoulement dans les nappes du Pliocène profond serait de 77 m/an. Le secteur où la vitesse moyenne est la plus élevée est le Réart-Aspres probablement à cause d’un gradient hydraulique plus élevé que sur le reste de la plaine ainsi qu’une perméabilité élevée à hauteur de Terrats, Fourques et Tordères. Viennent ensuite la vallée de la Têt, la bordure côtière Nord (à cause des vitesses très élevées engendrés par la dépression piézométrique estivale) et l’Agly-Salanque. Le Tech et la bordure côtière Sud ont un gradient hydraulique faible à très faible.

Dans la bordure côtière Sud, les vitesses sont faibles du fait des très faibles transmissivités présentes au Sud (voir Figure 11) et des très faibles gradients dans la partie Nord.

6.2 Pliocène de la Salanque

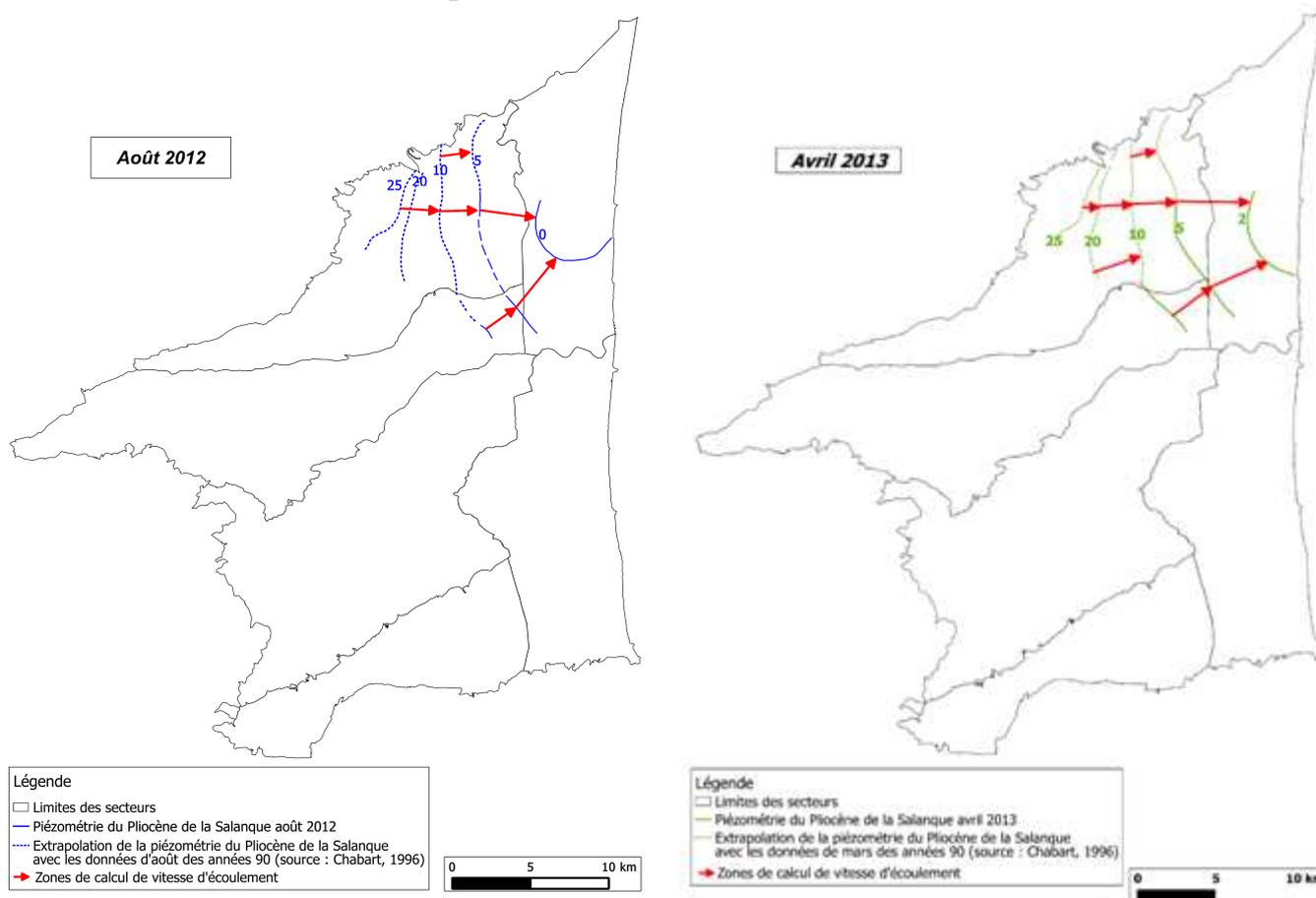


Figure 18 : Zones de calcul de vitesse d'écoulement dans le Pliocène de la Salanque

Tableau 5 : Vitesses d'écoulement dans le Pliocène de la Salanque

Secteur	Vitesse réelle moyenne (m/an)		
	Août 2012	Avril 2013	Annuelles moyennes
Bordure côtière Nord	345.8	232.0	288.9
Agly-Salanque	543.5	530.1	536.8
Têt	157.2	130.6	143.9
Moyenne	348	298	326

Sur l'année, la vitesse moyenne d'écoulement dans le Pliocène de la Salanque serait de 326 m/an. La vitesse est beaucoup plus élevée que dans le Pliocène profond car les valeurs de perméabilité sont plus élevées dans le Pliocène de la Salanque. La Salanque est le secteur où les vitesses sont les plus importantes car le gradient et la perméabilité y sont plus élevées que dans les autres secteurs.

6.3 Quaternaire

Il est important de mentionner que, pour le Quaternaire, l'exercice est délicat au dehors des bordures côtières car les formations quaternaires ne sont pas continues (constituées de terrasses déconnectées et fortement entaillées) et le tracé des isopièzes (et donc des lignes de courant) est relativement imprécis. Ceci permet cependant d'avoir des ordres de grandeur des vitesses d'écoulement à l'échelle de cette entité.

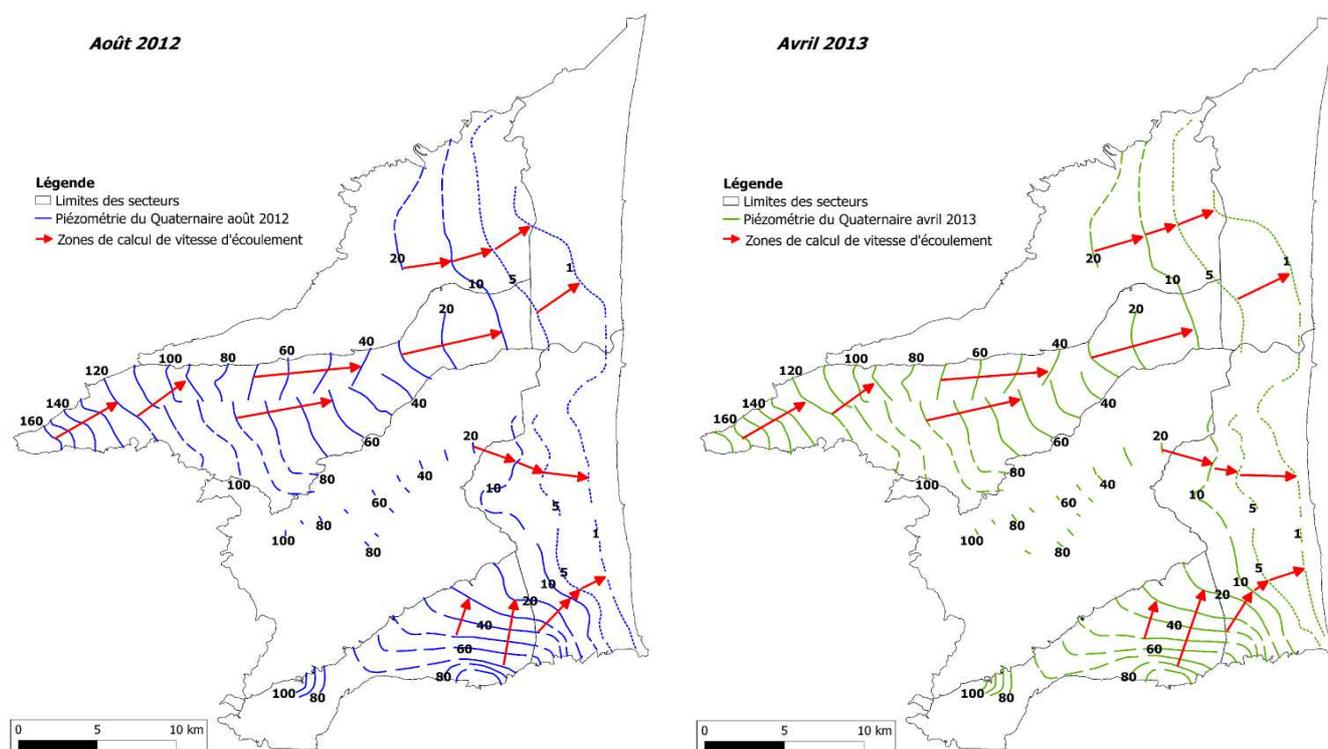


Figure 19 : Zones de calcul de vitesse d'écoulement dans le Quaternaire

Tableau 6 : Vitesses d'écoulement dans le Quaternaire

Secteur	Vitesse réelle moyenne (m/an)		
	Août 2012	Avril 2013	Annuelles moyennes
Bordure côtière Nord	543.1	569.8	556.5
Agly-Salanque	504.7	546.9	525.8
Têt	891.6	943.1	917.3
Aspres-Réart	-	-	-
Tech	922.3	907.3	914.8
Bordure côtière Sud	870.2	736	803.1
Moyenne	746	741	744

Remarque : Aucune donnée sur la perméabilité n'étant disponible dans le secteur Aspres-Réart, il n'est pas possible d'y calculer des vitesses d'écoulement.

Sur l'année, la vitesse moyenne d'écoulement dans les nappes du Quaternaire est d'environ 744 m/an. Les vitesses les plus élevées sont la vallée de la Têt et la vallée du Tech, probablement à cause d'un gradient hydraulique plus élevé que sur le reste de la plaine et sur la bordure côtière Sud du fait de la perméabilité plus élevée des formations.

Les vitesses sont plus importantes dans les nappes quaternaires que dans celles du Pliocène car la perméabilité y est beaucoup plus importante.

7. Drainance entre nappes

Nous avons vu précédemment que les nappes pliocènes et quaternaires sont alimentées de manière générale par l'infiltration des eaux de pluie et de ruissellement et possiblement aussi par des apports venant des massifs environnants. Des échanges peuvent aussi avoir lieu entre les nappes du Pliocène et du Quaternaire, ainsi qu'entre les nappes (du Quaternaire principalement) et les cours d'eau.

Cette partie du rapport étudie les possibles échanges par drainance entre nappes et les échanges eaux souterraines – eaux superficielles.

Le calcul des flux de drainance entre deux nappes tient compte de la différence de leurs charges piézométriques. Dans un secteur donné, la nappe ayant la charge la plus importante alimente par drainance la nappe ayant la charge la plus faible. A l'aide des cartes piézométriques établies précédemment il a été possible de déterminer des zones de drainance et de calculer les quantités d'eau transitant d'une nappe à l'autre grâce à la formule de Darcy :

$$Q = \frac{K * S * \Delta h}{e}$$

Où :

Q est le débit transitant d'une nappe à l'autre (m³/s)

K est le coefficient de perméabilité de l'éponte (m/s)

S est la surface de la zone de drainance (m²)

Δh est la différence de piézométrie entre le Pliocène et le Quaternaire (m)

e est l'épaisseur de l'éponte semi-perméable (m)

Vue l'hétérogénéité spatiale du Pliocène continental, les caractéristiques de l'éponte (épaisseur et perméabilité) varient de façon importante. D'après les coupes géologiques de 37 forages provenant d'Infoterre, l'épaisseur de l'éponte varie de 4 à 18 m sur toute la plaine. Le tableau ci-dessous répertorie l'épaisseur moyenne ainsi que la fourchette des épontes par secteur.

Tableau 7 : Epaisseur des épontes argileuses selon les secteurs

Secteur	Epaisseur moyenne (m)	Fourchette (m)
Bordure côtière Nord	8	4 - 18
Vallée de l'Agly-Salanque	14.5	12 - 17
Vallée de la Têt	11	4 - 16.5
Aspres-Réart	12.5	9 - 14
Vallée du Tech	10.5	6 - 15
Bordure côtière Sud	10	6 - 15

Les perméabilités réelles des épontes sont très peu connues car très peu souvent mesurées. La perméabilité de l'éponte a été prise égale à $2,5 \cdot 10^{-9}$ m/s (valeur utilisée par Auroux et al. en 1992 pour estimer le temps de transfert d'un soluté au sein d'une éponte semi-perméable dans le cadre de l'étude des aquifères du Roussillon ainsi que par Chabart).

Les cartes de drainance présentées ci-après ont été réalisées à partir des cartes piézométriques. Elles ont donc été réalisées à l'échelle de la plaine, échelle à laquelle les particularités locales ne sont pas visibles. Un prélèvement localisé peut par exemple exacerber une drainance ou entraîner localement une inversion de drainance, ce qui ne peut être observé ni représenté à cette échelle de représentation. Inversement, un prélèvement localisé peut générer une zone de drainance sur la carte sans que cette zone n'ait dans la réalité une extension suffisante et une durée suffisante pour effectivement générer un réel échange entre les nappes.

7.1 Drainance en période hivernale

Pour la période hivernale, les échanges entre les nappes quaternaires et pliocènes ont lieu sur environ 356 km² à l'échelle de la plaine (Tableau 9 et Figure 20).

Les nappes quaternaires alimenteraient les nappes pliocènes à hauteur de 0,4 à 1,3 Mm³/mois selon l'épaisseur de l'éponte. Cette alimentation descendante Quaternaire → Pliocène a surtout lieu dans les parties amont et centrales des zones de Quaternaire (hors Agly-Salanque).

Les nappes pliocènes alimenteraient quant à elles le Quaternaire à hauteur de 0,2 à 0,4 Mm³/mois selon l'épaisseur de l'éponte. Cette alimentation ascendante Pliocène → Quaternaire s'exerce surtout sur la bordure côtière et en Agly-Salanque. Cette drainance ascendante dans la partie côtière constitue la principale sortie naturelle des eaux souterraines des nappes pliocènes. En effet, du fait de la structure géologique, de la nature argileuse des épontes et du rapport de densité entre l'eau douce et l'eau de mer, peu d'eau douce semble sortir en mer.

Les flux de drainance se feraient donc à l'échelle de la plaine au profit du Pliocène.

A l'échelle des secteurs, les échanges ont lieu du Quaternaire vers le Pliocène dans le Réart, la bordure côtière Sud, la vallée de la Têt et la vallée du Tech. Le transfert le plus important a lieu dans la vallée de la Têt et dans la vallée du Tech.

Sur la bordure côtière Nord et la vallée de l'Agly-Salanque, les échanges se font du Pliocène vers le Quaternaire, les échanges les plus importants ayant lieu dans la vallée de l'Agly-Salanque.

Tableau 8 : Drainance verticale entre Quaternaire et Pliocène profond en Avril 2013

Drainance (Mm ³ /mois) entrant dans →	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		0.06		0.24		0.09	106
Vallée de l'Agly-Salanque		0.09		0.13		0.11	47
Vallée de la Têt	0.18		0.76		0.30		68
Aspres-Réart	0.05		0.08		0.07		11
Vallée du Tech	0.16		0.39		0.23		27
Bordure côtière Sud	0.03		0.08		0.04		97
Total	0.42	0.15	1.31	0.37	0.64	0.20	356

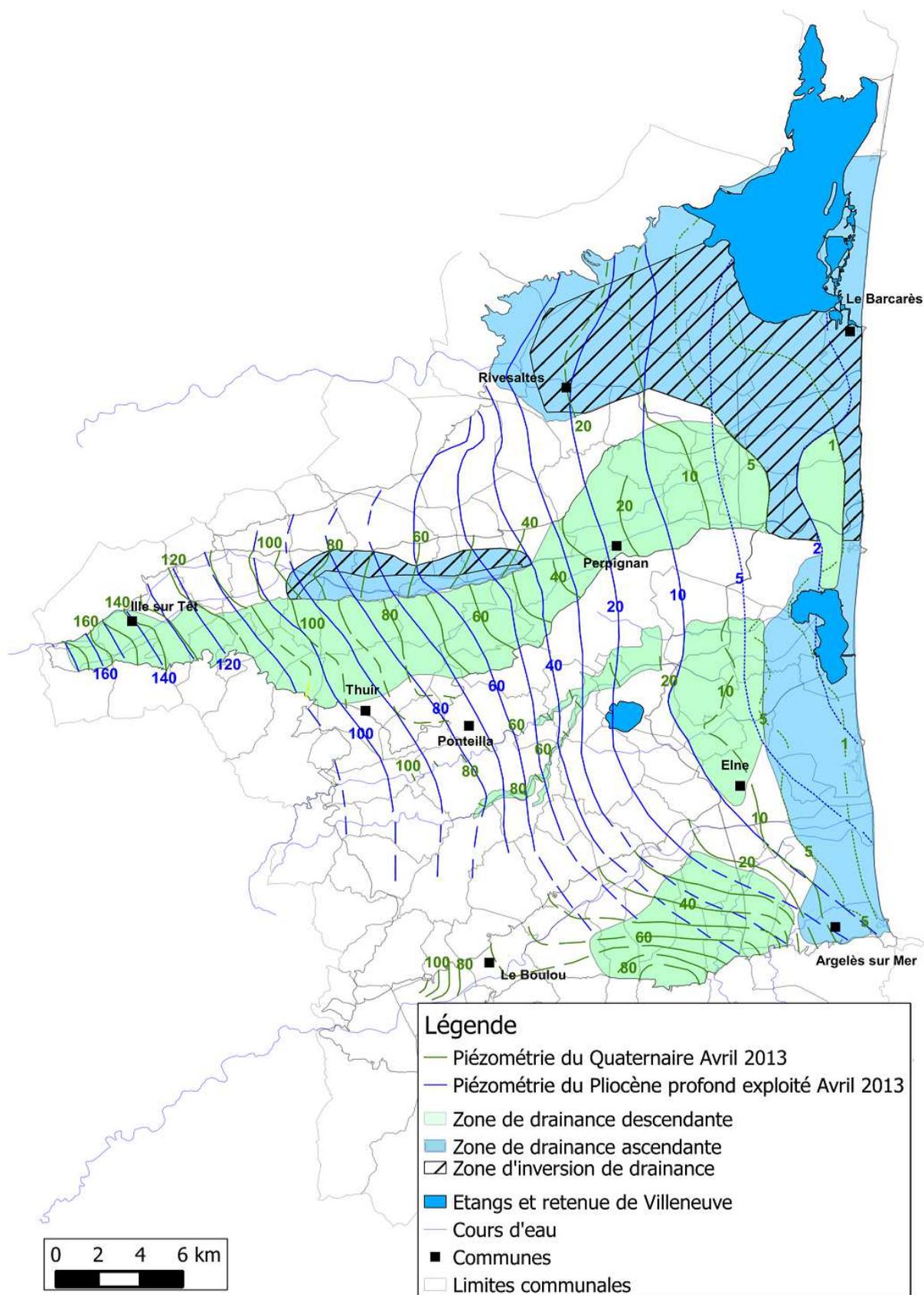


Figure 20 : Zone de drainage entre les nappes pliocènes et quaternaires d'Avril 2013

7.2 Drainance en période estivale

A l'échelle de la plaine et en période estivale, des échanges entre les nappes quaternaires et pliocènes prennent place sur environ 404 km², soit presque la moitié de la superficie totale de la plaine du Roussillon (Tableau 8 et Figure 21).

Tableau 9 : Drainance verticale entre Quaternaire et Pliocène profond en Août 2012

Drainance (Mm ³ /mois) entrant dans →	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	0.38		1.72		0.86		106
Vallée de l'Agly-Salanque	0.06		0.11		0.08		50
Vallée de la Têt	0.34		1.40		0.55		93
Aspres-Réart	0.09		0.14		0.11		15
Vallée du Tech	0.18		0.45		0.26		29
Bordure côtière Sud	0.07		0.17		0.09		111
Total	1.12	0.0	3.99	0.0	1.95	0.0	404

Dans les secteurs de la bordure côtière Nord et de l'Agly-Salanque, les chroniques piézométriques montrent que la piézométrie du Pliocène est en grande partie inférieure au niveau de la mer dans le secteur Barcarès – St-Hippolyte – Ste-Marie, ce qui n'est pas le cas des nappes quaternaires. Dans ces secteurs, il y a donc un potentiel de drainance descendante. Cette drainance descendante est cependant limitée dans le temps, la dépression piézométrique s'exerçant surtout durant les mois d'été.

Le long de la Têt, la drainance établie est cohérente avec la bibliographie. Le rapport de 1972 indique en effet que dans ce secteur, le Pliocène était largement artésien, ce qui n'est plus maintenant le cas partout. Sur le secteur Bages - Montescot - Corneilla, un artésianisme du Pliocène est également observé (le piézomètre de suivi de Corneilla est par exemple artésien). Dans ce secteur, la drainance serait donc ascendante comme indiqué à la carte de l'artésianisme de 1972.

En situation estivale, la drainance s'exercerait globalement au profit des nappes pliocènes à hauteur d'environ 1.1 à 4.0 Mm³/mois selon l'épaisseur de l'éponte.

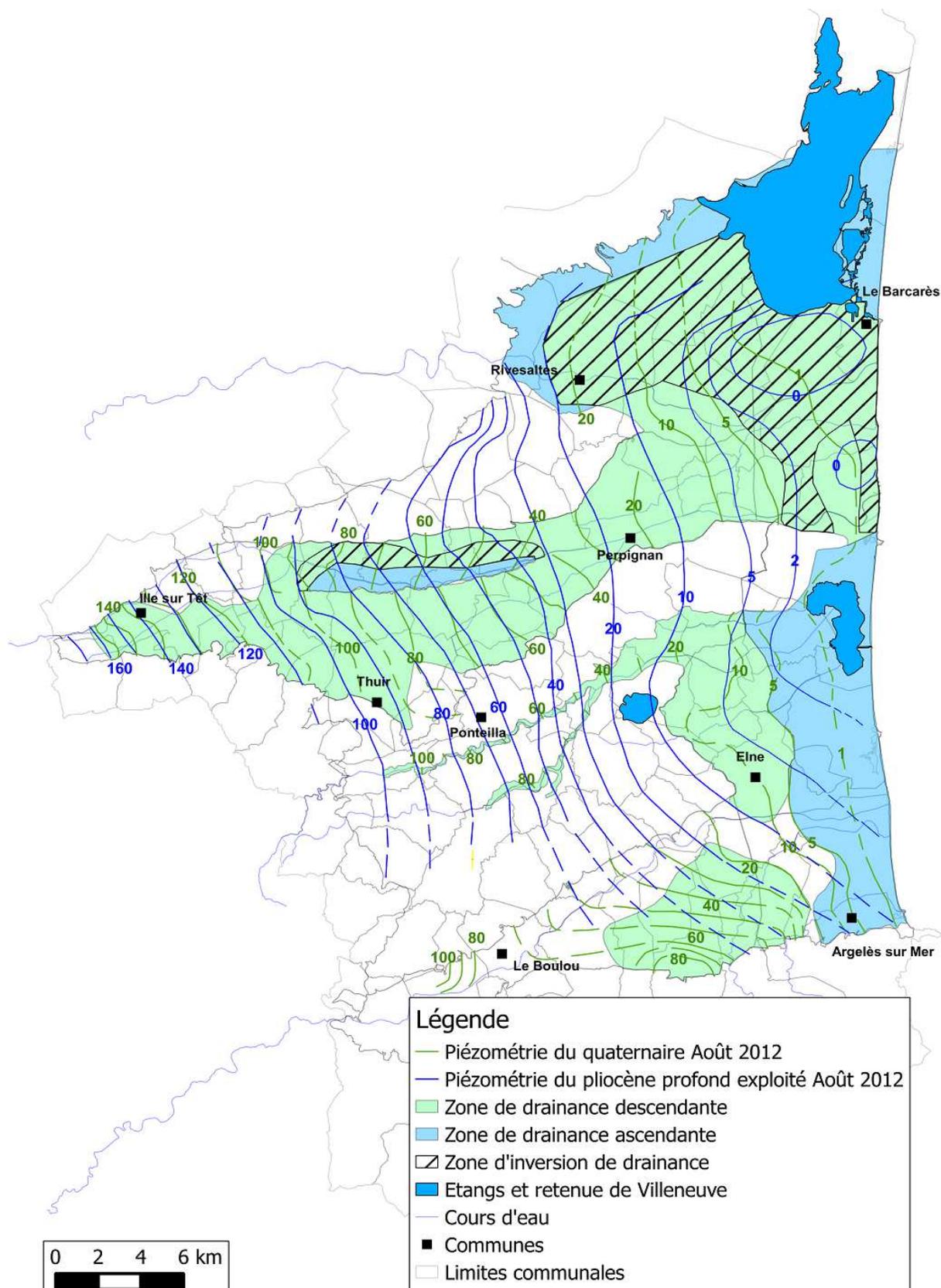


Figure 21 : Zone de drainage entre les nappes pliocènes et quaternaires d’Août 2012

7.3 Discussion de la drainage dans la bordure côtière Nord et l'Agly-Salanque

Concernant la drainage descendante prenant place dans la bordure côtière Nord et l'Agly-Salanque, il est nécessaire de regarder dans le détail les relations piézométriques entre les niveaux du Quaternaire, du Pliocène N3 et du Pliocène N4. On remarque ainsi que :

- La piézométrie de Barcarès Plage N4 est (quasiment) toujours supérieure à celle de Barcarès Plage N3 (Figure 22), ce qui indique en ce lieu l'existence d'une drainage ascendante entre les niveaux N4 et N3 ;
- La piézométrie de Barcarès Saultlebar N4 est toujours supérieure à celle de Barcarès Saultlebar IV (Figure 22), ce qui indique (s'il y avait relation directe entre les niveaux N4 et IV) que la drainage serait ascendante ;
- La piézométrie de Barcarès Plage N3 passe sous celle de Barcarès Saultlebar IV (Figure 22), ce qui pourrait indiquer (si la piézométrie du Quaternaire à Barcarès Plage est semblable à celle de Barcarès Saultlebar IV) qu'il y a risque de drainage descendante entre les niveaux IV et N3 ;
- Dans la zone des captages AEP de St-Laurent-de-la-Salanque – St-Hippolyte, la piézométrie du Pliocène profond (N4) est par contre très basse en été et vraisemblablement inférieure à celle du Pliocène de la Salanque (N3) ; il y aurait donc dans ce secteur un fort potentiel de drainage descendante.

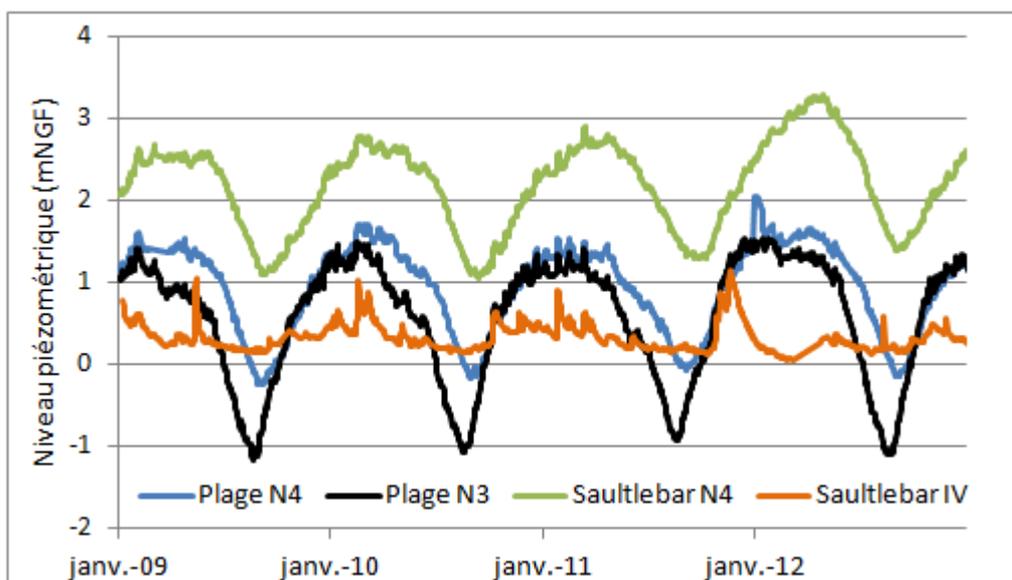


Figure 22 : Comparaison des évolutions piézométriques à Barcarès

Dans le secteur Barcarès – St-Hippolyte – Ste-Marie, les nappes du Pliocène semblent donc être en certains lieux très impactées par les prélèvements, mais durant l'été seulement.

Selon les données piézométriques disponibles à Barcarès, la drainage descendante semble s'y faire du Quaternaire vers le Pliocène N3, alors qu'une drainage ascendante prendrait place du Pliocène N4 vers le Pliocène N3. Ces données confirment l'impact, localisé dans le temps et dans l'espace, des prélèvements sur les nappes du Pliocène et leurs fortes dépendances aux prélèvements locaux.

Dans le secteur de St-Laurent-de-la-Salanque – St-Hippolyte, la drainance serait descendante, à la fois du quaternaire vers les Pliocène N3, et du Pliocène N3 vers le Pliocène N4. C’est donc dans ce secteur que les risques sont les plus importants pour le Pliocène profond

La piézométrie du Pliocène à Torreilles (Figure 23) est par contre toujours positive et celle à Canet presque toujours positive. Dans ces secteurs il ne semble donc pas y avoir de potentiel de drainance descendante.

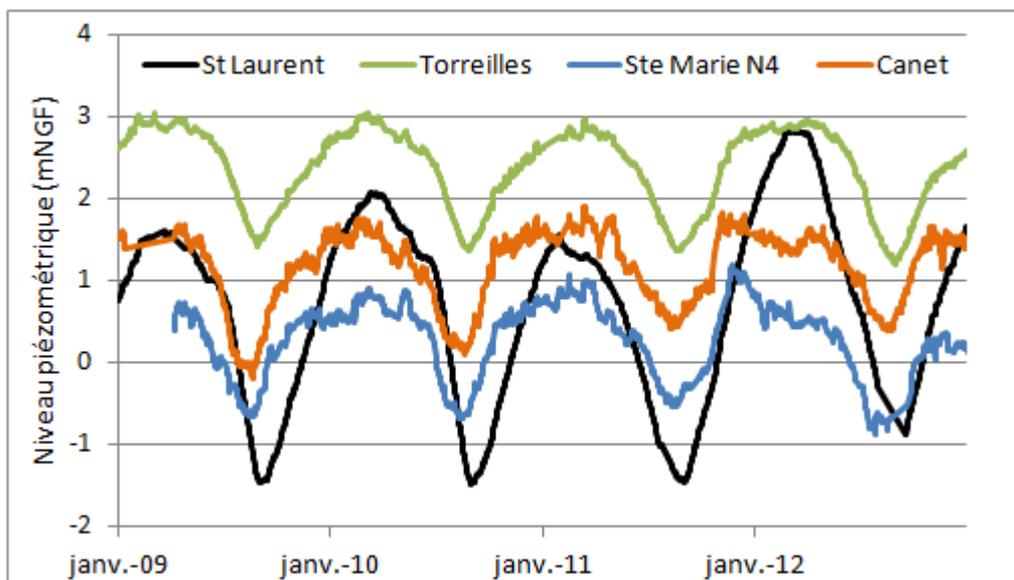


Figure 23 : Comparaison des évolutions piézométriques entre St-Laurent-de-la-Salanque et Canet

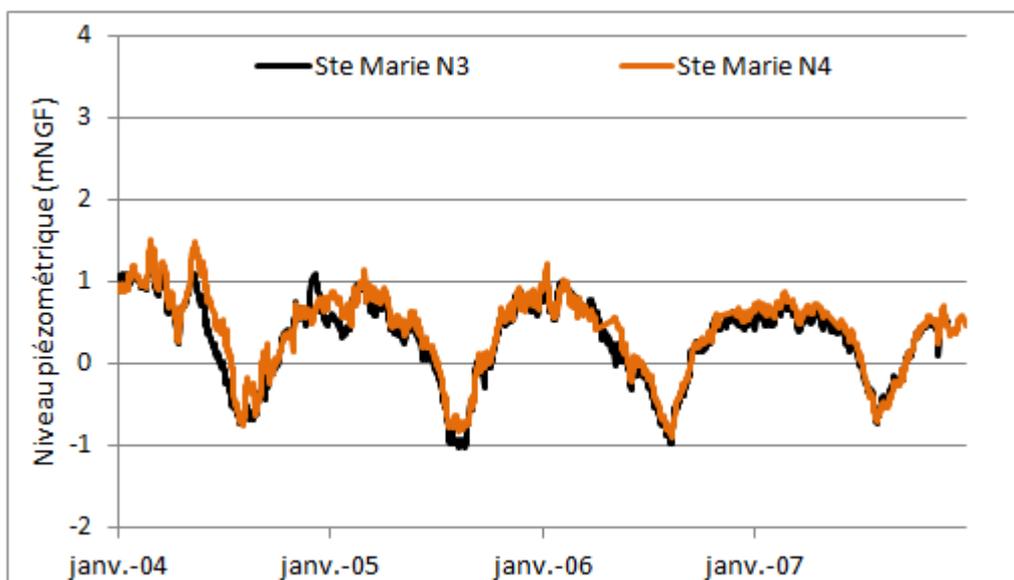


Figure 24 : Comparaison des évolutions piézométriques à Ste-Marie

Les données piézométriques du piézomètre Ste-Marie N3 (Figure 24) qui n’est plus suivi depuis 2009 semblent montrer que les niveaux N3 et N4 sont globalement à l’équilibre. Ceci indiquerait soit que ces niveaux N3 et N4 du Pliocène sont fortement connectés (et donc à l’équilibre) soit que les deux piézomètres ne captent pas vraiment ou pas uniquement les niveaux indiqués du fait d’un problème de réalisation d’un des ouvrages.

Une connexion parfaite entre les deux niveaux N3 et N4 expliquerait les évolutions similaires des deux piézomètres de Ste-Marie, mais ne serait pas compatible avec le modèle géologique proposé par Aunay qui mentionne la présence d'argiles entre les sables marins du Pliocène (niveau N4) et ceux des formations continentales (niveau N3).

Par ailleurs, on ne dispose pas d'un suivi du Quaternaire dans ce secteur. La drainance pouvant s'exercer entre les niveaux du Quaternaire, du Pliocène N3 et du Pliocène 3 est donc difficile à étudier en l'absence de suivis plus adaptés.

En considérant une perméabilité de l'éponte semi-perméable de $2,5 \cdot 10^{-9}$ m/s (Auroux, 1992) et une épaisseur moyenne de 8 m (Tableau 7), une différence moyenne de piézométrie de 5 m entraînerait un flux mensuel de $4050 \text{ m}^3/\text{km}^2$. La vitesse de transfert au travers de l'éponte serait quant à elle de 0.3 m/mois (considérant une porosité cinématique de 0.01). Durant les 3 ou 4 mois durant lesquels dure la drainance descendante, il n'y aurait donc pas traversée de l'éponte. La différence de charge étant positive le reste de l'année, la drainance ascendante inverse le sens d'écoulement au travers de l'éponte et permet à cette eau de refluer vers le haut.

Des échanges entre des niveaux de charges piézométriques différentes peuvent également avoir lieu par le biais de forages abandonnés mettant en relation deux niveaux aquifères. Les travaux de Silliman et Higgings (1990), puis ceux d'Avci (1994) parmi d'autres, ont montré que les débits passant au travers d'un puits abandonné peuvent être de l'ordre de quelques m^3/j . Ces débits varient en fonction de la différence de piézométrie, des propriétés des niveaux aquifères et de l'ouvrage (diamètre, état du tubage). Une densité de quelques forages abandonnés par km^2 pourrait donc induire un flux mensuel du même ordre de grandeur que celui induit par la drainance au travers de l'éponte semi-perméable. Dans le cas des puits abandonnés, les vitesses de traversée au travers des puits seraient par contre plus rapides et les temps de traversée de l'ordre de la journée. Cet échange serait donc potentiellement plus impactant en termes de qualité.

7.4 Comparaison des situations estivale et hivernale

La variation des surfaces de drainance prend principalement place dans la vallée de la Têt avec une diminution de 25 km^2 entre Août et Avril et sur la bordure côtière Sud avec une diminution de 14 km^2 .

En basses eaux, les surfaces de drainance descendante gagnent du terrain sur ces secteurs et surtout dans la bordure côtière Nord et la vallée de l'Agly-Salanque. La différence de surface de drainance entre la période estivale et hivernale est de 48 km^2 .

La zone d'inversion de drainance descendante au niveau du secteur Barcarès – St-Hippolyte – Ste-Marie est due aux importants prélèvements d'eau exercés dans ce secteur par les captages AEP qui créent un déséquilibre sur le Pliocène et inverse les flux de drainance. Même si la période estivale de drainance descendante est plus courte que la période de drainance ascendante, les différences piézométriques entre le Quaternaire et le Pliocène sont considérablement plus importante durant la période estivale que durant le reste de l'année. Il y a donc lieu de considérer un potentiel de drainance moyenne descendante dans ce secteur.

Le secteur de Villeneuve de la Raho possède des forages pliocènes artésiens qui alimentent la partie amont de l'Agouille de la Mer. La présence de ces forages laisse supposer que la drainance dans ce secteur serait ascendante. Or les différentes piézométries montrent que la zone à l'Est de Villeneuve de la Raho aurait une

drainance descendante jusqu'à Alénia où la drainance devient alors ascendante. Cette différence peut être liée à la complexité d'organisation de l'aquifère pliocène constitué de couches et chenaux et au nombre limité de points de mesure piézométrique au regard de cette complexité.

Concernant les débits, les variations les plus marquées se trouvent sur la bordure côtière Nord et moins dans la vallée de la Têt comme le montre le Tableau 10.

Tableau 10 : Différence de flux de drainage entre les mois d'Août 2012 et Avril 2013

Différence de flux entre avril et août (Mm ³ /mois) Entrant dans →	Epaisseur maximale de l'éponte		Epaisseur minimale de l'éponte		Epaisseur moyenne de l'éponte		Différence de surface de drainance (km ²)
	Pliocène	Quaternaire	Pliocène	Quaternaire	Pliocène	Quaternaire	
Bordure côtière Nord	0.42		1.79		0.91		0
Vallée de l'Agly-Salanque	0.11		0.17		0.14		3
Vallée de la Têt	0.16		0.64		0.25		25
Aspres-Réart	0.04		0.06		0.04		4
Vallée du Tech	0.02		0.06		0.03		2
Bordure côtière Sud	0.04		0.09		0.05		14

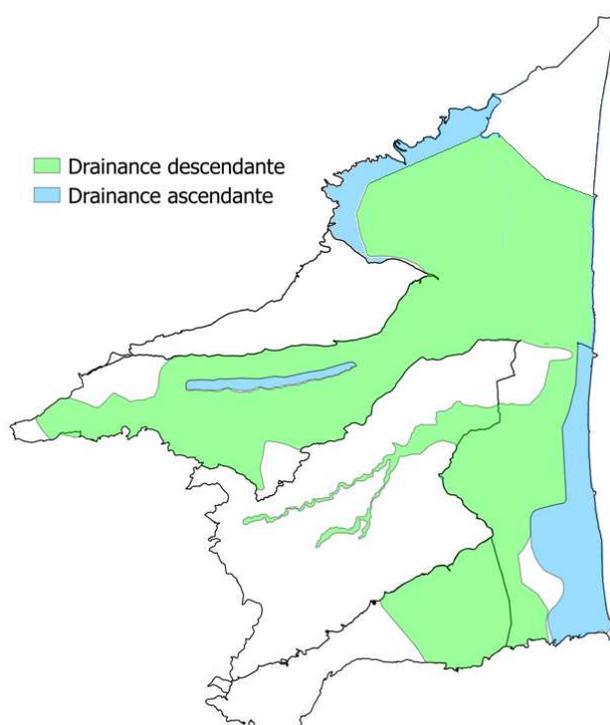


Figure 25 : Zone de drainance moyenne à l'échelle annuelle

Annuellement, la surface moyenne de drainance est de 440 km². Sur toute la plaine du Roussillon, la drainance moyenne semble plutôt descendante, hormis sur la limite Nord du secteur Agly-Salanque, sur la frange littorale de la bordure côtière Sud et dans la partie amont de la Têt. Les flux moyens de drainance calculés par la moyenne des flux de basses eaux et hautes eaux sont présentés au Tableau 11. Ces flux moyens ne sont vraisemblablement pas totalement représentatifs des flux annuels réels, mais permettent d'approcher l'importance des échanges par drainance.

Tableau 11 : Flux moyen annuel de drainage par secteur

Drainance (Mm ³ /an)	Epaisseur maximale de l'éponte		Epaisseur minimale de l'éponte		Epaisseur moyenne de l'éponte		Surface de drainage (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

8. Pertinence des ouvrages de suivi piézométrique

L'analyse des chroniques piézométriques réalisée à l'Etape 1 de la Phase 2 avait permis de proposer d'une part les zones de nappe qui paraissent avoir individuellement un comportement relativement homogène et d'autre part les ouvrages de suivi piézométrique qui paraissent être les plus pertinents.

Les figures suivantes présentent la localisation des ouvrages existants de suivi avec le tracé des nouvelles cartes piézométriques.

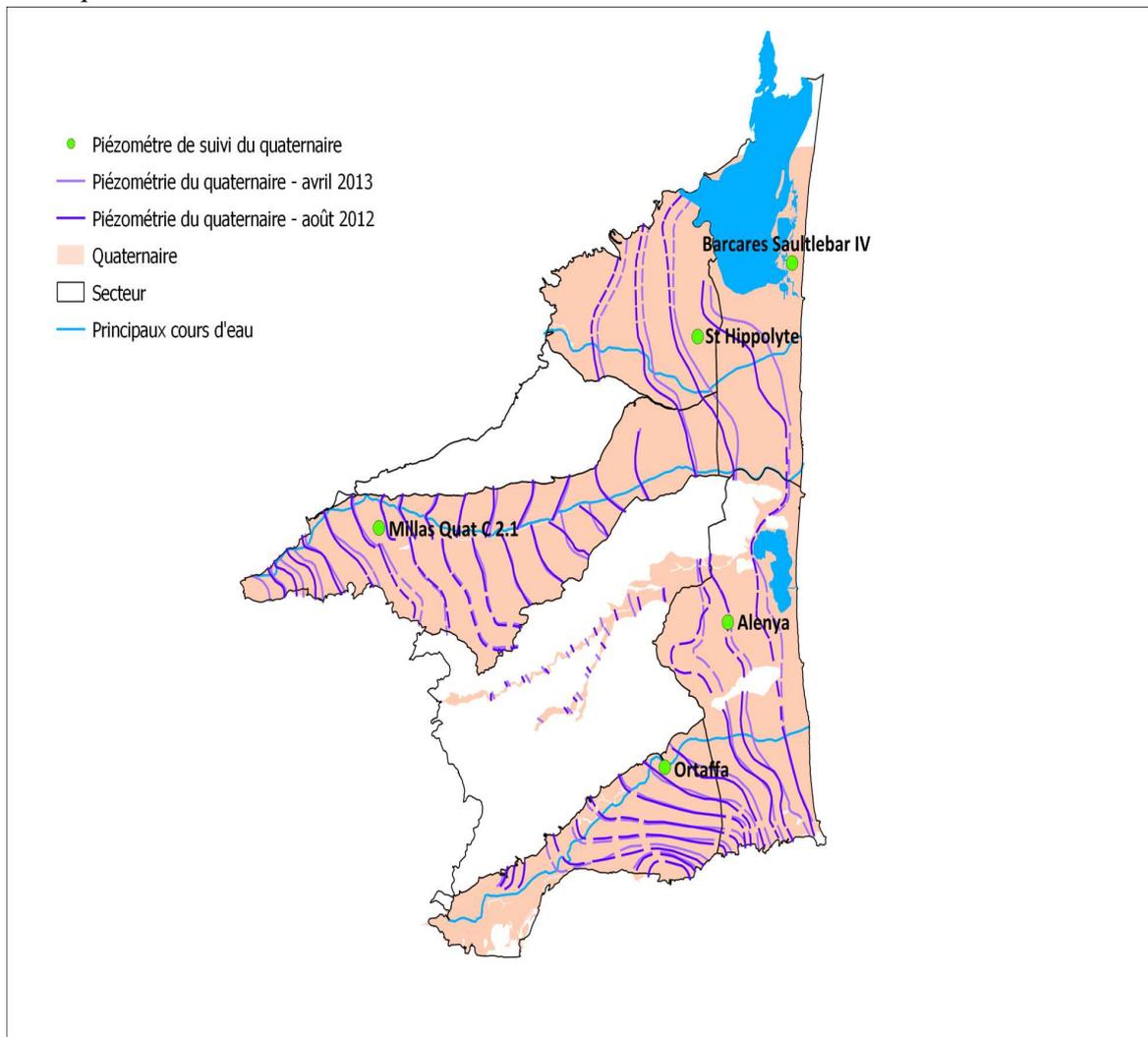


Figure 26 : Piézomètres et courbes piézométriques du Quaternaire

De manière globale, l'étude a constaté que la piézométrie des nappes du Quaternaire varie rapidement dans le temps et dans l'espace car elle est fortement influencée par de multiples facteurs extérieurs (pluie, irrigation, prélèvements, échange avec les cours d'eau, apports par ruissellement ou écoulement souterrains aux limites de la plaine). Par ailleurs, les nappes du quaternaire sont très morcelées et organisées en terrasses, ce qui en fait des entités non continues du point de vue géologique et hydrogéologique. Les piézomètres du Quaternaire ne sont donc représentatifs que des conditions locales et il paraît difficile de pouvoir trouver un ouvrage représentatif de chaque grand secteur.

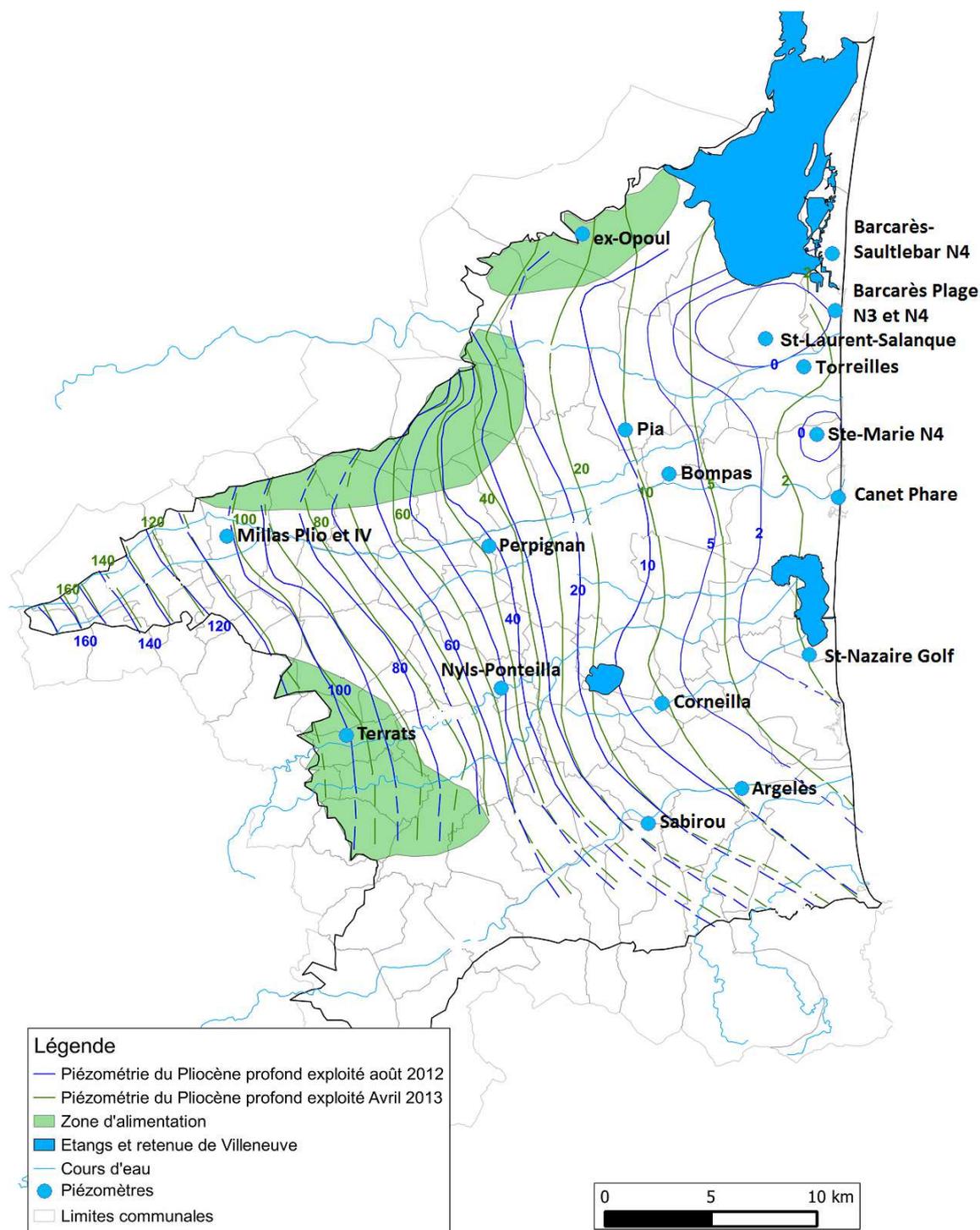


Figure 27 : Piézomètres et courbes piézométriques du Pliocène

A l'opposé, les nappes du Pliocène ont une plus grande continuité spatiale, même si elles sont organisées verticalement en plusieurs niveaux productifs et qu'il n'est pas sûr que ces niveaux soient eux-mêmes continus. Selon les travaux d'Aunay (2007), le niveau N4 serait assez continu, alors que le niveau N3 serait constitué d'un système de chenaux et lentilles. Parmi ces différents niveaux productifs, le Pliocène profond semble ainsi celui présentant le plus grand intérêt pour l'AEP et constituerait à ce titre la ressource patrimoniale à protéger en priorité.

Pour ces différentes raisons, nous avons proposé lorsque prioritairement un ouvrage du Pliocène comme piézomètre de référence de chaque zone, et en particulier un piézomètre qui soit le moins possible influencé par des conditions locales de prélèvement pour représenter au mieux le comportement moyen de la nappe. Bien entendu, il serait possible d'y adjoindre également un piézomètre du Quaternaire mais la difficulté sera de trouver un ouvrage représentatif de l'intégralité du secteur puisque, comme mentionné ci-haut, les formations contenant les nappes quaternaires ne sont pas continues et leur nappes ne sont pas en continuité hydraulique.

Groupe 1 : Bordure côtière Nord

Le SDAGE 2009 considère les piézomètres Barcarès Plage N3 et Barcarès Plage N4 pour le suivi de la nappe Pliocène. Le comportement piézométrique de ces deux ouvrages étant peu différents, nous avons proposé de retenir à minima le piézomètre Barcarès Plage N4 pour le suivi de ce secteur. Tel que l'ont montré les résultats de l'analyse réalisée sur les chroniques piézométriques, ce piézomètre semble un peu plus pertinent en regard des NPA et NPCR. Au regard des cartes piézométriques, cette proposition ne semble pas devoir être remise en cause. Cet ouvrage étant situé en aval de la zone de fort prélèvement AEP, il pourra de plus renseigner sur la piézométrie se mettant en place au droit du trait de cote et pouvant conditionner les éventuelles intrusions salines d'eau de mer.

Le suivi simultané des deux ouvrages Barcarès plage N3 et Barcarès plage N4 apporte cependant une information complémentaire puisqu'il renseigne sur le potentiel d'échange entre les deux niveaux (différentiel piézométrique) et donc sur le sens de la drainance. Cette dernière information a aussi un intérêt marqué sur le risque potentiel d'altération de la qualité (apport d'eau de la surface, du quaternaire, voire d'eau salée marine).

Secteur 2 : Bordure côtière Sud

Considérant la répartition des pressions de prélèvement (Figure 1), le piézomètre de St-Nazaire apparaît situé dans une zone moins influencée par des prélèvements locaux et possiblement plus en équilibre avec le quaternaire, l'étang et la mer. Le piézomètre de Corneilla est quant à lui situé non loin du champ captant de Montescot dont les prélèvements ont très fortement baissés durant les années 2000 passant en quelques années de 2,5 Mm³/an à 1,5 Mm³/an, entre autres avec l'arrêt du forage FM1 qui est le plus proche du piézomètre de Corneilla. Les statistiques nécessaires aux calculs des NPA et NPCR ne peuvent donc être réalisés sur ce piézomètre.

Le piézomètre d'Argelès bien que situé dans le périmètre AEP du Pont du Tech semble être peu influencé de façon directe par les prélèvements. Suite à l'analyse statistique réalisée et à la comparaison des années 2007 et 2008 par rapport aux NPA et NPCR, ce piézomètre a paru pertinent comme piézomètre de suivi de ce secteur. Sa position plus centrée sur la zone côtière Sud et sa proximité d'un champ captant lui permettront de détecter plus précocement un déficit piézométrique. Mentionnons cependant qu'il se situe en limite Sud du Pliocène profond et pourrait à ce titre ne pas être représentatif de tout le Pliocène profond de la bordure côtière Sud. Conséquemment, il pourrait s'avérer pertinent d'y adjoindre le piézomètre de St-Nazaire afin de caractériser à la fois les parties Sud et Nord de ce secteur et une zone plus bordière et un autre plus interne.

Secteur 3 : Vallée de l'Agly – Salanque

Le piézomètre de St-Hippolyte a été proposé comme piézomètre de référence car il est situé dans une zone où les prélèvements sont peu importants. L'analyse a montré qu'il représente mieux ce secteur que celui d'Opoul, bien que celui d'Opoul intéresse le Pliocène et celui de St-Hippolyte le Quaternaire. La comparaison des années 2007 et 2008 par rapport aux NPA et NPCR calculés dans cette étude montre également que ce piézomètre est pertinent dans cette optique. D'après les cartes piézométriques, il semble être intégrateur du comportement de ce secteur. Le piézomètre d'Ex-Opoul qui se trouve à la périphérie de la plaine semble moins à même de mettre en évidence une éventuelle surexploitation des ressources dans ce secteur.

Secteur 4 : Vallée de la Têt

Le piézomètre de Perpignan a été choisi pour plusieurs raisons : il se situe en aval du secteur et intègre donc les effets des prélèvements exercés sur un plus grand territoire ; il est bien corrélé avec les autres ouvrages du secteur (hormis ceux de Millas) ; il est déjà utilisé pour le suivi des nappes profondes. Au regard des cartes piézométriques il semble être intégrateur du comportement piézométrique dans la vallée de la Têt.

Les piézomètres de Millas se sont avérés ne pas être représentatifs de ce secteur pour plusieurs raisons. Ils ont une piézométrie inversée (hautes eaux / basses eaux) par rapport au reste du secteur ; ils ne présentant pas une bonne corrélation avec les autres piézomètres du secteur et sont inclus dans une zone à fort prélèvement. Nous ne les avons pas retenus.

Concernant le piézomètre de Pia, il est situé non loin de deux forages AEP qui ont très fortement réduit leur prélèvement depuis 2006, date à laquelle un nouveau forage AEP a été mis en service de l'autre côté de la commune. Ce piézomètre a ainsi montré une forte hausse piézométrique en 2006 qui entrave les calculs statistiques des NPA et NPCR.

Secteur 5 : Vallée du Réart – les Aspres

Le piézomètre de Ponteilla-Nyls a semblé le plus représentatif de la zone car il se situe dans une zone où les prélèvements sont plus faibles et montre une bonne corrélation avec des piézomètres voisins. La comparaison des années 2007 et 2008 par rapport aux NPA et NPCR a par ailleurs montré que ce piézomètre est pertinent. Au regard des cartes piézométriques, il est également assez représentatif du comportement piézométrique du secteur. Le piézomètre de Terrats situé dans la partie amont de la zone ne lui permet pas d'être aussi bien représentatif du comportement piézométrique global induit par les prélèvements de ce secteur.

Secteur 6 : Vallée du Tech

Nous avons proposé le piézomètre d'Ortaffa-Brouilla pour le suivi de ce secteur. Il n'existe en effet que deux piézomètres dans ce secteur dont l'un d'eux présente un historique très court (Sabirou). Le piézomètre d'Ortaffa-Brouilla situé à proximité du Tech présente de très faibles variations annuelles (< 0,5 m) et des pics très marqués en hautes eaux qui s'estompent rapidement (vraisemblablement reliés à sa connexion avec les eaux de surface). Il est impossible en l'état actuel des connaissances (dont l'absence d'autres chroniques piézométriques pour comparaison) d'affirmer que ce piézomètre d'Ortaffa-Brouilla est représentatif du secteur. Nous l'avons donc considéré (par défaut) comme piézomètre de référence pour ce secteur faute de piézomètres alternatifs. Les cartes piézométriques n'apportent pas un éclairage supplémentaire pour juger de sa pertinence.

9. Conclusion

Les cartes piézométriques disponibles à l'échelle de la plaine remontant à plusieurs décennies, il s'est avéré requis de réaliser des nouvelles cartes piézométriques, l'une en période estivale (Août 2012) et l'autre en sortie de période hivernale (Avril 2013), et pour les trois systèmes des nappes (Pliocène profond, Pliocène de la Salanque, nappes quaternaires). De telles cartes fournissent des renseignements sur le comportement hydrodynamique des nappes et les fonctions du réservoir (directions d'écoulement, échanges s'effectuant en bordure des formations aquifères ou le long d'éléments caractéristiques de son environnement tels les réseaux hydrographiques, les canaux d'irrigation, la mer, etc.). Ces cartes servent également au reste du travail (calcul des flux, quantification des échanges) et de référence de l'état 2012-2013 des nappes.

Les cartes piézométriques ont été réalisées avec une quarantaine de points de mesures pour le Pliocène profond, une dizaine de points pour le Pliocène de la Salanque et près de 80 points pour le Quaternaire. Les principaux résultats obtenus de cette partie de l'étude sont résumés ci-après.

Toutes les cartes piézométriques réalisées montrent une direction globale d'écoulement des eaux d'Ouest en Est, en direction de la Méditerranée, avec un rôle global peu marqué des fleuves. A l'échelle de la plaine, la piézométrie d'Août 2012 semble légèrement plus basse que celle d'Avril 2013, hormis dans la bordure côtière Nord où la baisse est très importante et où l'on observe l'apparition de la dépression piézométrique très marquée en Août 2012.

Localement, les directions d'écoulement des nappes sont orientées Sud-Ouest / Nord-Est comme dans la vallée du Tech (St-Génis-des-Fontaines), dans la partie sud du Réart (Brouilla, Ortaffa, Banyuls-dels-Aspres, Fourques) ou dans la partie amont de la Têt (à hauteur de St-Féliu-d'Avall et Thuir). Ces orientations pourraient suggérer une alimentation des nappes par de l'eau provenant des massifs périphériques. Sur la partie Nord, en Salanque (Salses-le-Château, St-Hippolyte, St-Laurent-de-la-Salanque), les écoulements orientés Nord-Ouest / Sud-Est pourraient résulter d'un apport d'eau depuis les Corbières.

La carte piézométrique du Pliocène profond d'Août 2012 montre la présence d'une vaste dépression piézométrique sur la bordure côtière Nord vraisemblablement due à l'impact des importants prélèvements locaux. Pour la situation d'Avril 2013, cette dépression piézométrique semble absente. Dans le reste de la plaine, les piézométries d'Août 2012 et Avril 2013 ont globalement la même allure.

Comme pour le Pliocène de la Salanque, la carte d'Août 2012 montre également une piézométrie inférieure à 0 m NGF sur la bordure côtière Nord. La carte piézométrique d'Avril 2013 ne montre pas de piézométrie inférieure à 0 m NGF et s'apparente dans sa globalité à celle du Pliocène profond.

Pour le Quaternaire, la piézométrie est fortement impactée par l'âge des formations alluviales. Les formations anciennes du Quaternaire, qui constituent les terrasses surplombant les vallées actuelles, apparaissent en effet comme hydrauliquement déconnectées des alluvions récentes occupant le fond des vallées.

La comparaison des cartes piézométriques du Pliocène des années 1976 et 2013 montre que, de manière générale, la direction actuelle des écoulements est inchangée, c'est-à-dire d'Ouest en Est en direction de la Méditerranée. Pour ce qui est du niveau piézométrique une baisse semble observable entre 1976 et 2013 sur l'ensemble de la plaine. Les bordures côtières sont les secteurs où s'observe la plus forte baisse du niveau piézométrique, en particulier dans la bordure côtière Nord. Dans une moindre mesure, une baisse est observée en

Salanque, plus légèrement dans la vallée de la Têt. Les secteurs de l'Agly, des Aspres et du Réart ne semblent pas avoir diminué de façon très significative.

Pour le Quaternaire, il est difficile de mettre en évidence une tendance. Celle-ci paraît plutôt à la stabilité, avec quelques baisses localisées (partie aval du Tech), voire quelques hausses localisées. Ces variations faibles peuvent être liées aux imprécisions des cartes et des artefacts des cartes et sont donc de l'ordre de grandeur de l'incertitude de l'approche.

Durant la période hivernale, les échanges entre les nappes quaternaires et pliocènes ont principalement lieu au profit du Pliocène dans les parties amont de la plaine et au profit du Quaternaire dans les parties aval. Dans les zones côtières, cette drainance ascendante constitue la principale sortie naturelle des eaux souterraines des nappes pliocènes. En effet, du fait de la structure géologique, de la nature argileuse des épontes et du rapport de densité entre l'eau douce et l'eau de mer, peu d'eau douce semble sortir en mer. Les flux de drainance sont à l'échelle de la plaine au profit du Pliocène, et sont exacerbés par les prélèvements d'eau par les captages situés dans le Pliocène.

ANNEXES

Tableau A1 : Caractéristiques des ouvrages utilisés pour la réalisation des cartes piézométriques du Pliocène profond

Tableau A2 : Caractéristiques des ouvrages utilisés pour la réalisation des cartes piézométriques du Pliocène de la Salanque

Tableau A3 : Caractéristiques des ouvrages utilisés pour la réalisation des cartes piézométriques du Quaternaire