

# SUIVI PIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE DE LA CRAU

ANNEE 2013

**SYMCRAU**



MAI 2014

# SOMMAIRE

<b>I. Réseau piézométrique.....</b>	<b>2</b>
<b>II. Pluviométrie.....</b>	<b>3</b>
<b>III. Situation de la nappe .....</b>	<b>4</b>
• Influence de l'irrigation .....	4
• Influence de l'irrigation et la pluie .....	5
• Influences combinées de l'irrigation, des pompages et de la pluie .....	6
• Autres influences.....	7
<b>IV. Situation de la nappe par rapport aux années précédentes .....</b>	<b>8</b>
• Le suivi du SYMCRAU .....	8
• Rapport aux normales .....	8
<b>V. Analyses isotopiques .....</b>	<b>11</b>
<b>VI. Conclusion.....</b>	<b>13</b>

## Liste des figures :

*Figure 1 : Carte du réseau de suivi quantitatif de la nappe*

*Figure 2 : Précipitations à Istres en 2013, données Infoclimat*

*Figure 3 : Précipitations à Salon-de-Provence en 2013, données Infoclimat*

*Figure 4 : Niveaux piézométriques essentiellement influencés par l'irrigation*

*Figure 5 : Niveaux piézométriques influencés par l'irrigation et la pluie*

*Figure 6 : Niveaux piézométriques influencés par l'irrigation, les pompages et la pluie*

*Figure 7 : Zoom sur la piézométrie et influence des pompages*

*Figure 8 : Niveaux des piézomètres 10 et 19*

*Figure 9 : Chroniques piézométriques issues du suivi du BRGM*

*Figure 10: Résultats d'analyse des trois premières campagnes isotopiques réalisées par le SYMCRAU*

*Figure 11 : Interpolation par krigeage du  $\delta^{18}O$  de l'eau de la nappe de Crau, basée sur les résultats des premières campagnes d'échantillonnage.*

*Figure 12: Surface piézométrique simulée en régime permanent à l'aide de Processing Modflow (Simmarano, 2012)*

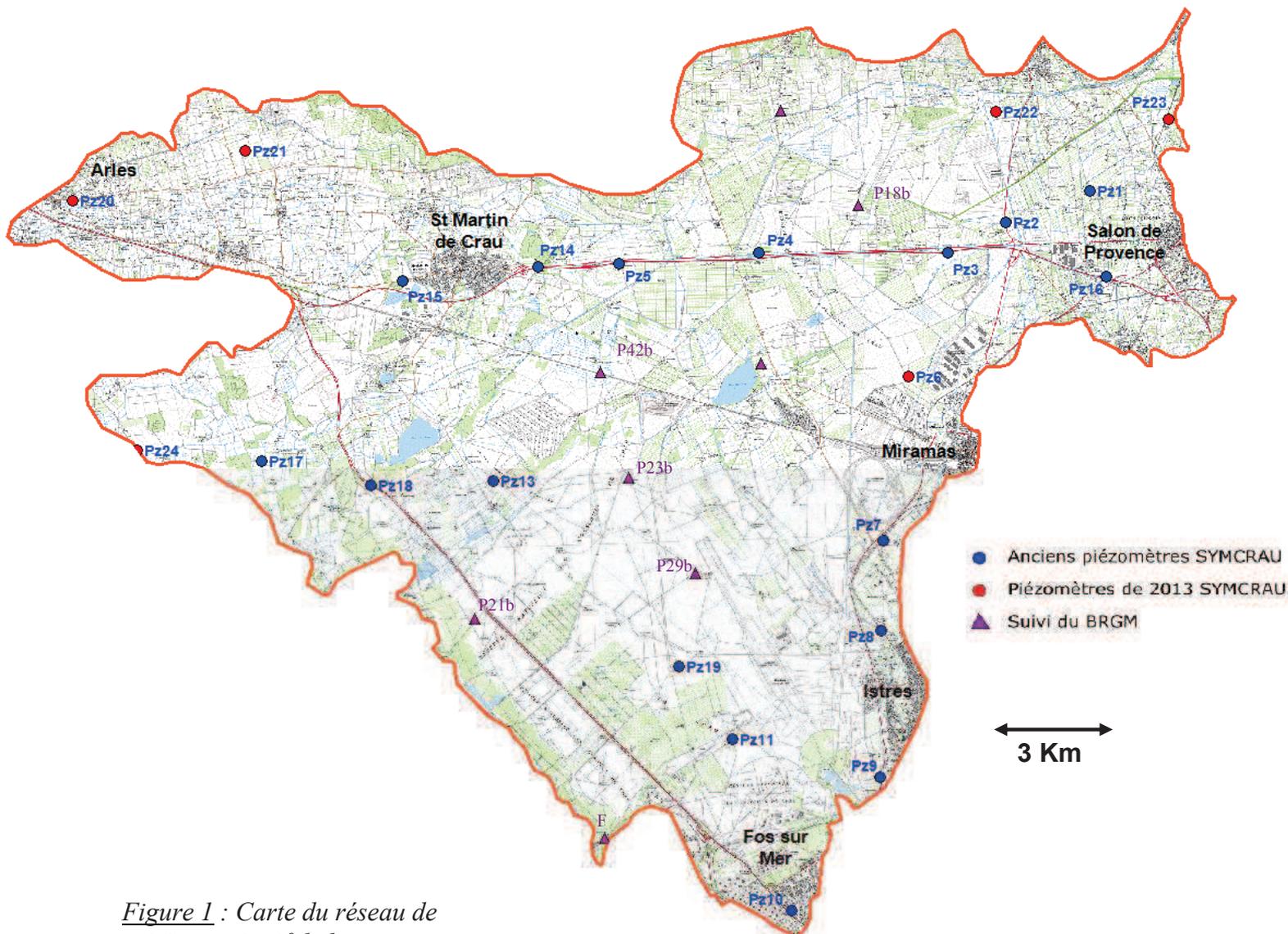
## I. Réseau piézométrique

Le suivi du SYMCRAU, initié avec 17 points en 2012, a été étoffé en mars 2013 par l'implantation de 6 nouveaux piézomètres dans les secteurs encore dépourvus de suivis, en particulier en bordure de la nappe.

Ce suivi a été installé en complémentarité du réseau existant de piézomètres suivis par le BRGM<sup>1</sup> sur la Crau. Les points ont été situés en fonction des caractéristiques hydrogéologiques et géographiques de la Crau.

Aujourd'hui, le suivi du SYMCRAU est réalisé au pas de temps horaire sur 23 piézomètres.

L'emplacement des ouvrages est indiqué sur la carte ci-dessous :



*Figure 1 : Carte du réseau de suivi quantitatif de la nappe*

<sup>1</sup> BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

## II. Pluviométrie

Les données suivantes sont comparées aux normales enregistrées depuis 1961.

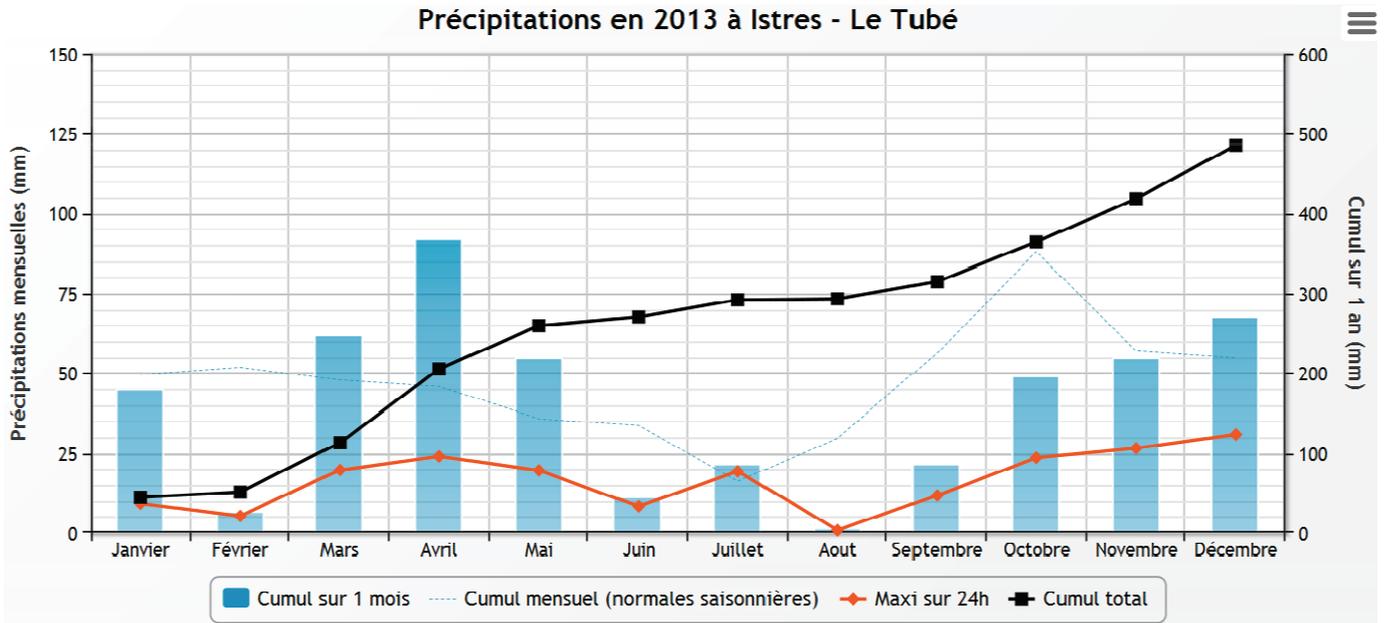


Figure 2 : Précipitations à Istres, données infoclimat

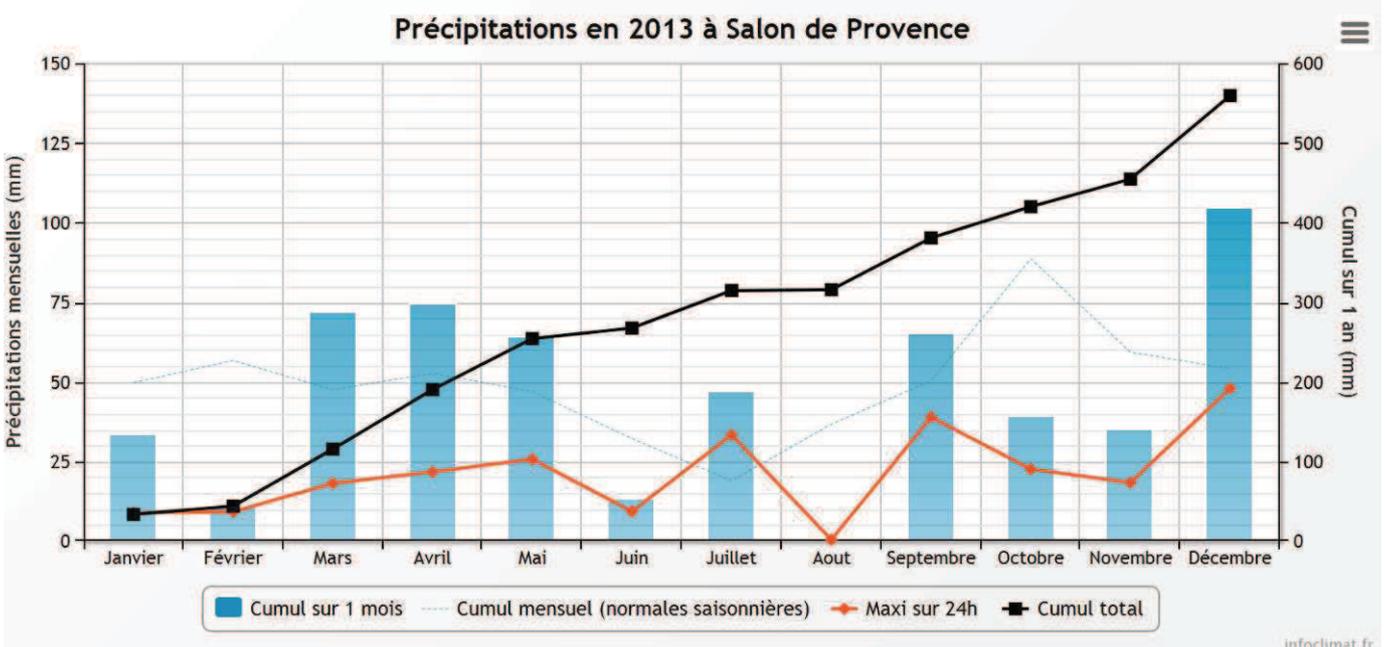


Figure 3 : Précipitations à Salon-de-Provence, données infoclimat

La pluviométrie a été importante en première partie de l'année 2013, particulièrement de mars à mai. La plaine a ensuite été déficitaire le reste de l'année. Ainsi, le total des précipitations de l'année a atteint les normales. Le cumul des précipitations a varié de 490 à 560 mm sur la plaine et a donc atteint un cumul d'environ 300 mm d'eau en plus que l'année dernière (l'année 2012 a été déficitaire à hauteur de 50%).

### III. Situation de la nappe

D'une manière générale, le battement de la nappe a été observé à des profondeurs comprises entre 0,5 et 10,5 m par rapport au sol et à des altitudes comprises entre 1 et 97 m NGF. Le suivi effectué en 2013 a confirmé les résultats obtenus en 2012. Différentes influences sont observées sur la piézométrie ; irrigation gravitaire (irrigation des prairies de foin de Crau par les eaux de canaux provenant de la Durance), les précipitations, les prélèvements ...

Selon leurs influences sur le niveau de la nappe, on peut distinguer différents types de variations piézométriques.

Les données 2013 de chaque piézomètre figurent en annexe 1 avec les données de 2012 et en annexe 2 pour certains piézomètres suivis depuis 2009.

#### • Influence de l'irrigation

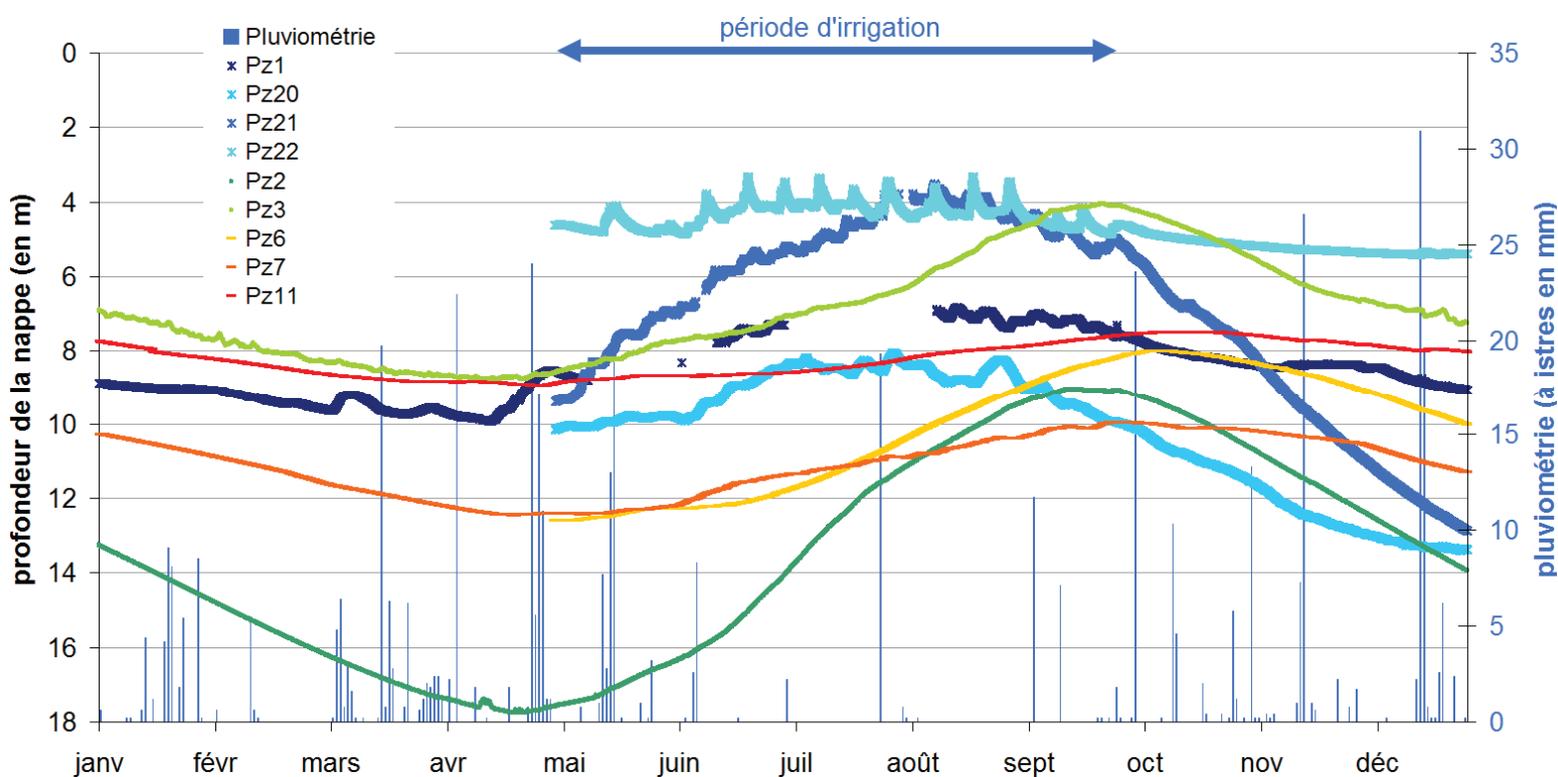


Figure 4 : Niveaux piézométriques essentiellement influencés par l'irrigation

➤ Les courbes piézométriques figurant sur le graphique présenté ci-dessus montrent une montée du niveau de la nappe généralement assez importante (jusqu'à 10 m de battement). Ces courbes montrent des périodes de hausse des niveaux coïncidant avec le début de l'irrigation. Dans ces secteurs la recharge est très majoritairement issue des eaux d'irrigation.

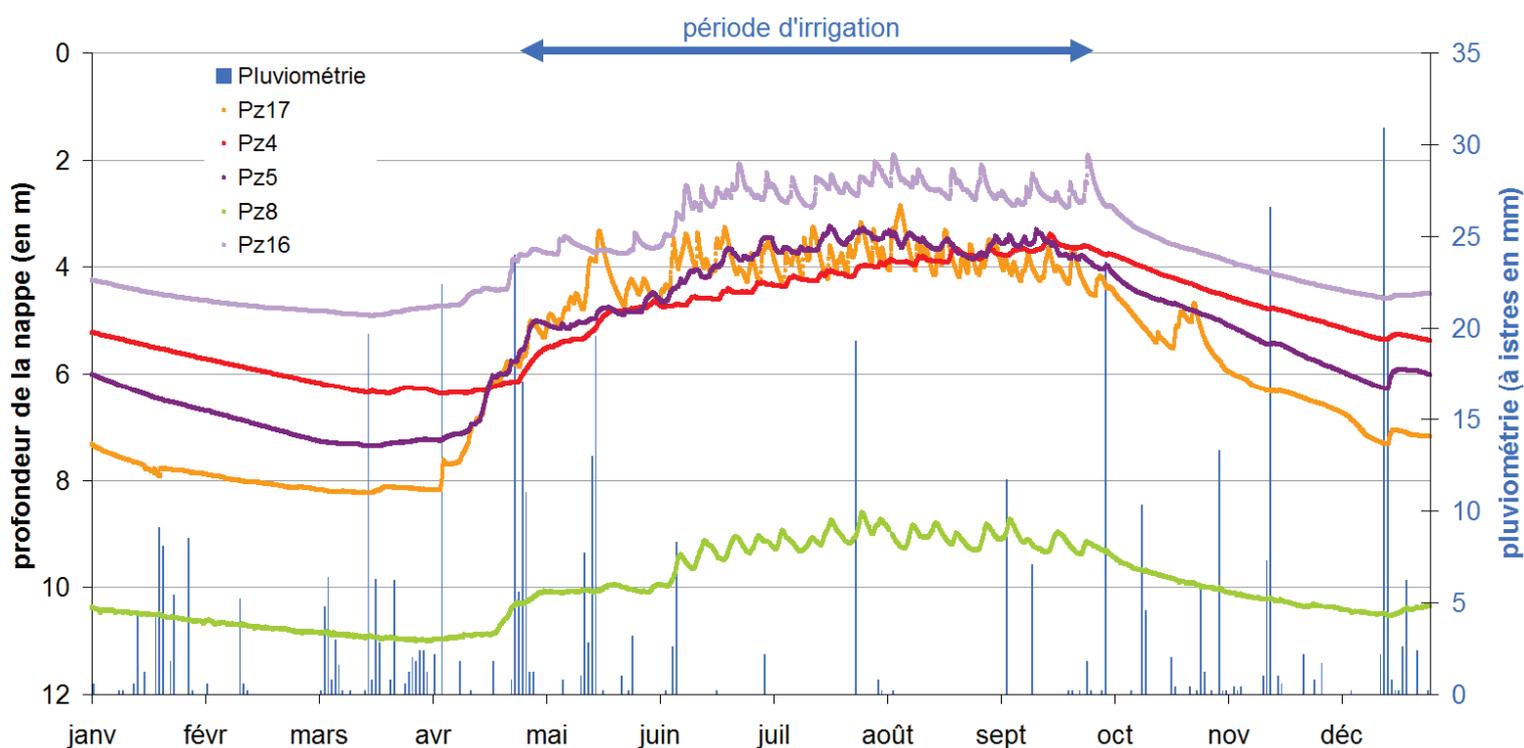
Vu les précipitations importantes du printemps 2013, l'irrigation gravitaire a démarré plus tard que d'habitude, vers la fin du mois d'avril / début mai. La montée des niveaux de la nappe est donc arrivée plus tardivement que l'année précédente sur ces points (voir annexe 1).

Ce graphique met en évidence différentes périodes de hautes eaux selon les secteurs de la nappe :

- les niveaux figurés en bleus, correspondant à des suivis effectués aux extrêmes Nord Est et Ouest du territoire, atteignent leurs périodes de plus hautes eaux le plus rapidement, en août.
- Les courbes de couleurs vertes, émanant des suivis effectués à l'Ouest de Salon-de-Provence, présentent des hautes eaux plutôt fin septembre.
- Et enfin le reste des courbes montrent des niveaux de hautes eaux courant octobre, et correspondent aux mesures de piézomètres implantés sur un axe Nord (Miramas) / Sud-Ouest. La nappe y commence sa montée piézométrique avec un décalage d'un mois par rapport au début de l'irrigation. Ceci est dû à l'implantation de ces piézomètres en aval hydraulique des zones d'irrigation gravitaire.

Contrairement aux autres, les courbes bleues montrent des variations durant la période d'irrigation qui correspondent aux différents tours d'eau d'irrigation (présence d'un pic tous les dix jours environ). Les autres niveaux montrent des courbes lisses indiquant que les secteurs concernés.

### • Influence de l'irrigation et la pluie



*Figure 5 : Niveaux piézométriques influencés par l'irrigation et la pluie*

➤ Les courbes piézométriques de la figure 5 sont également le reflet de l'influence de l'irrigation traditionnel sur la nappe (hautes eaux durant la période d'irrigation et variations répétées dues aux tours d'eau). Malgré le début de l'irrigation tardif de l'année 2013, les niveaux présentés ici ont commencé leur ascension début avril avec les fortes précipitations de ce printemps. Les niveaux sont donc également influencés par les pluies et en particulier les forts épisodes pluvieux.

• Influences combinées de l'irrigation, des pompages et de la pluie

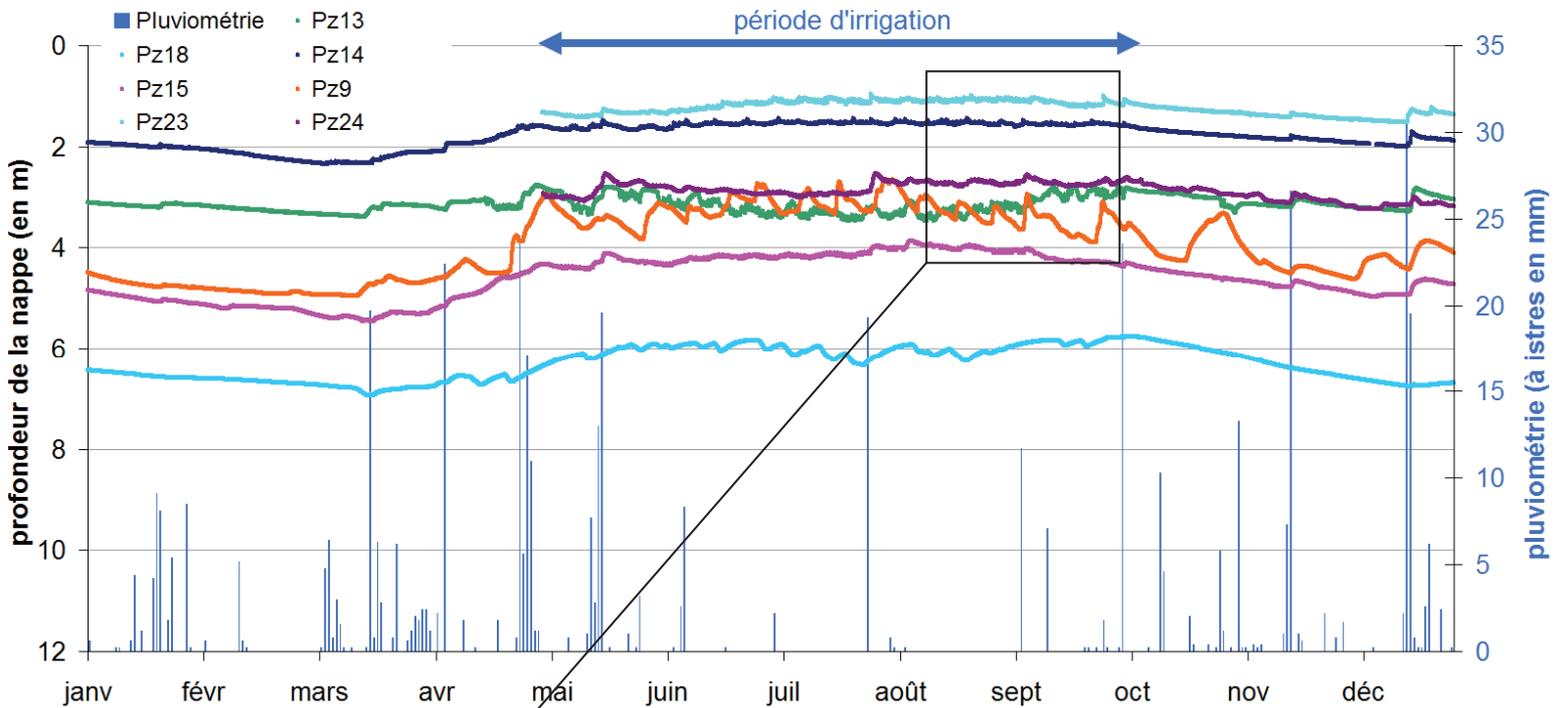


Figure 6 : Niveaux piézométriques influencés par l'irrigation, les pompages et la pluie

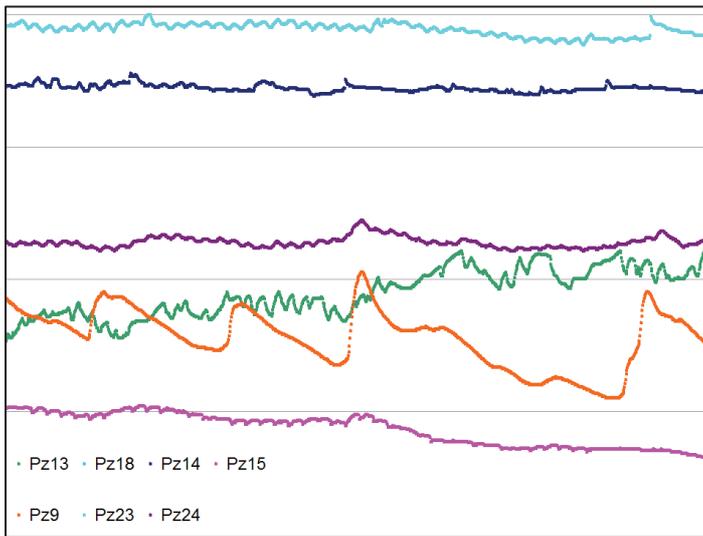
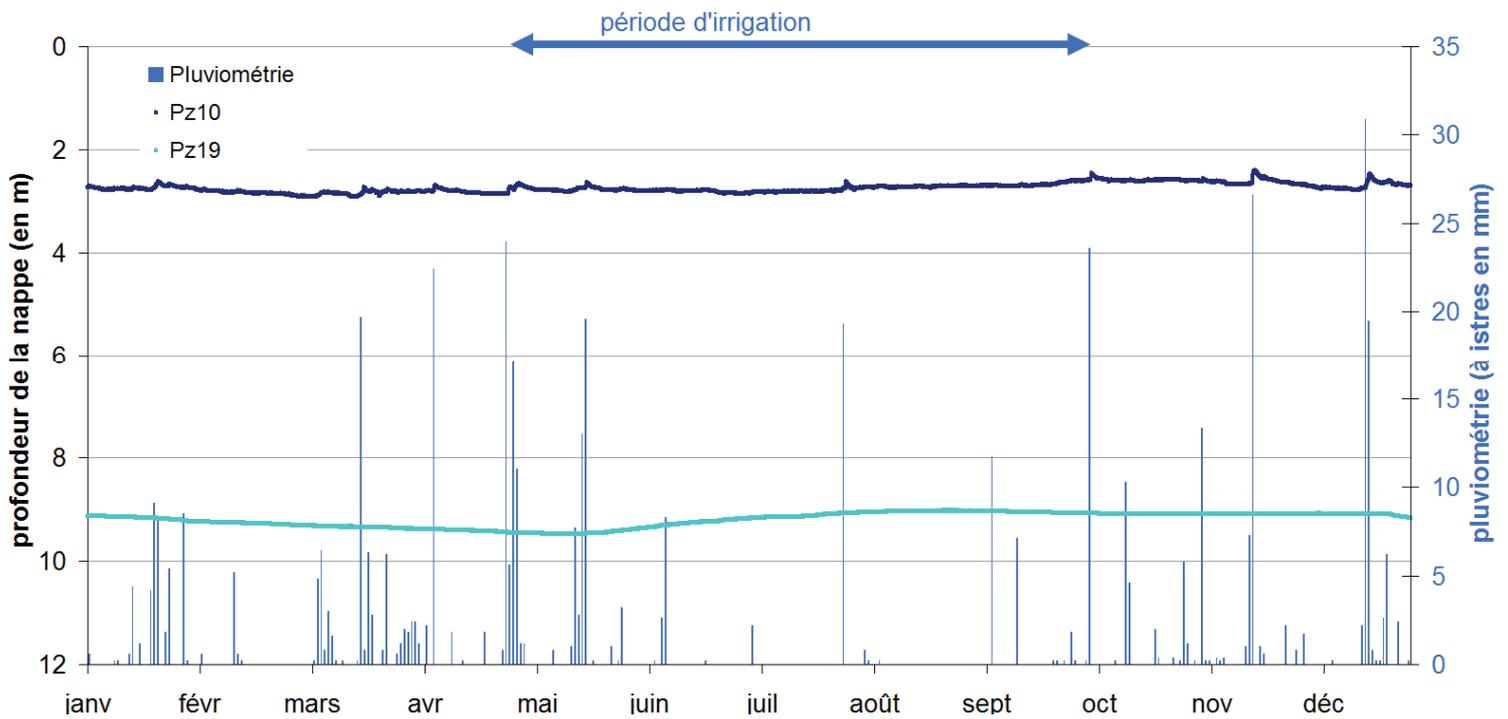


Figure 7 : Zoom sur la piézométrie et influence des pompages

➤ Les piézomètres dont les mesures sont représentées ci-dessus enregistrent des battements de nappe assez faibles entre les hautes eaux et les basses eaux. Ces secteurs de la nappe sont influencés par des pompages alentours mais aussi par l'irrigation gravitaire et la pluie. Ces courbes montrent des niveaux globaux assez stables durant la période d'irrigation. En effet les hautes eaux sont rapidement atteintes en mai et le niveau de la nappe décroît en octobre. Sur des pas de temps réduits, on peut observer des variations dues aux pompages alentours, de manière plus ou moins importante selon les secteurs (Figure 7). Les épisodes pluvieux sont suivis de pics de la piézométrie.

Le piézomètre 13 montre une courbe qui baisse durant la période d'irrigation ce qui est probablement liée au système d'irrigation gravitaire effectuée, dans le secteur, à partir de l'eau de la nappe en raison de l'absence de canaux.

• **Autres influences**



*Figure 8 : Niveaux des piézomètres 10 et 19*

➤ Les courbes présentées ci-dessus montrent des variations particulières par rapport aux autres mesures du réseau.  
Les deux piézomètres enregistrent des battements de nappe très faibles.

Le piézomètre 10 montre de légères variations suites aux épisodes pluvieux et niveau de la nappe monte très légèrement durant la période d'irrigation.  
L'irrigation joue un faible rôle dans les variations du niveau de la nappe en ce point, la tranchée drainante, située en aval et qui stabilise le niveau de la nappe, joue également un rôle dans la piézométrie du secteur.

Le Pz 19, situé en pleine Crau sèche montre un niveau de basses eaux en mai et de hautes eaux en août. Le suivi, initié sur ce piézomètre en 2009 (voir annexe 2), permet de mettre en évidence un régime de piézométrie typique d'une nappe méditerranéenne, essentiellement influencée par les précipitations avec des hautes eaux en hiver et des étiages estivaux. Cependant, pour la première fois, le niveau est monté à partir du mois de mai ce qui pourrait s'expliquer par les fortes pluies du début de printemps.

## IV. Situation de la nappe par rapport aux années précédentes

### • **Le suivi du SYMCRAU**

Il est possible de comparer les niveaux de la nappe grâce au réseau piézométrique du SYMCRAU installé, pour la plupart des points, depuis 2012 (voir annexe 1). Les piézomètres 1, 16 et 9 présentent également des données à partir de 2009 (voir annexe 2).

Comparée à l'année 2012, année déficitaire d'un point de vue pluviométrique (- 50%), l'année 2013 a néanmoins montré des niveaux de la nappe légèrement inférieurs. Ceci s'explique par les fortes pluies qui ont eu lieu au printemps, suffisantes pour irriguer les prairies de foin de Crau, ce qui a provoqué un report du début de l'irrigation gravitaire par rapport aux années précédentes. Les piézomètres implantés dans les secteurs où l'influence de l'irrigation est majoritaire ont enregistré des niveaux faibles par rapport à 2012 (jusqu'à -2m) qui ont eu tendance, à partir du début de l'irrigation, à rejoindre les niveaux de hautes eaux de l'année précédente (exemple du Pz 2). Les piézomètres 1 et 16 suivis depuis 2009, montrent cette année des niveaux plus faibles en période de basses eaux également par rapport aux années précédentes.

Concernant les piézomètres influencés également par la présence de prélèvements alentours, les niveaux piézométriques sont comparables à ceux de 2012 (exemple du Pz13). Il en est de même pour le piézomètre 10 dont le niveau est influencé artificiellement par la tranchée drainante.

Malgré les pluies de printemps, le suivi effectué sur le Pz19 met en évidence un niveau de la nappe globalement inférieur cette année par rapport aux 3 dernières années.

### • **Rapport aux normales**

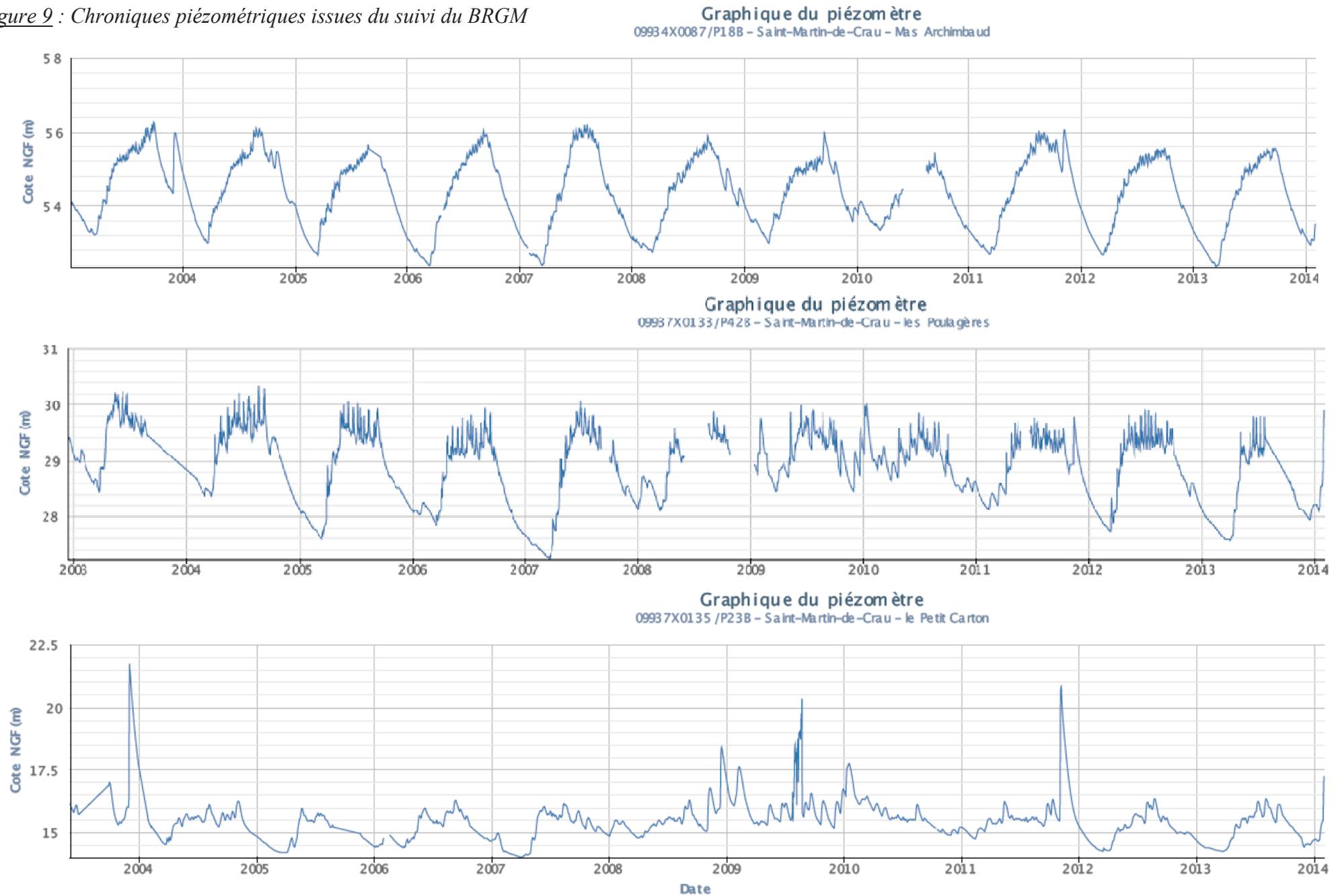
Le réseau de suivi du BRGM pour la DREAL PACA, effectué depuis une dizaine d'années, permet d'apporter des informations avec un plus grand recul sur le niveau de la nappe. Les graphiques suivants (issus du site Internet [ADES](#)) présentent ce suivi piézométrique depuis ses débuts.

Le suivi est composé de 3 piézomètres situés dans la partie Nord de la Crau et sous influence de l'irrigation (page 10) et 3 autres plus au sud influencés principalement par la pluie (page 11).

- Au début de l'année 2013, la nappe évolue avec des niveaux plus bas que les normales, en particulier dans la partie sud de la nappe, et tendent vers des niveaux quinquennaux secs,
- Malgré une hausse des niveaux à partir d'avril, ceux-ci restent en dessous des niveaux médians sur l'ensemble de la Crau,
- A partir de juin et jusqu'à décembre, la piézométrie dans le sud passe au dessus des niveaux médians et s'approche des niveaux quinquennaux humides contrairement au Nord qui atteint avec peine les niveaux médians.

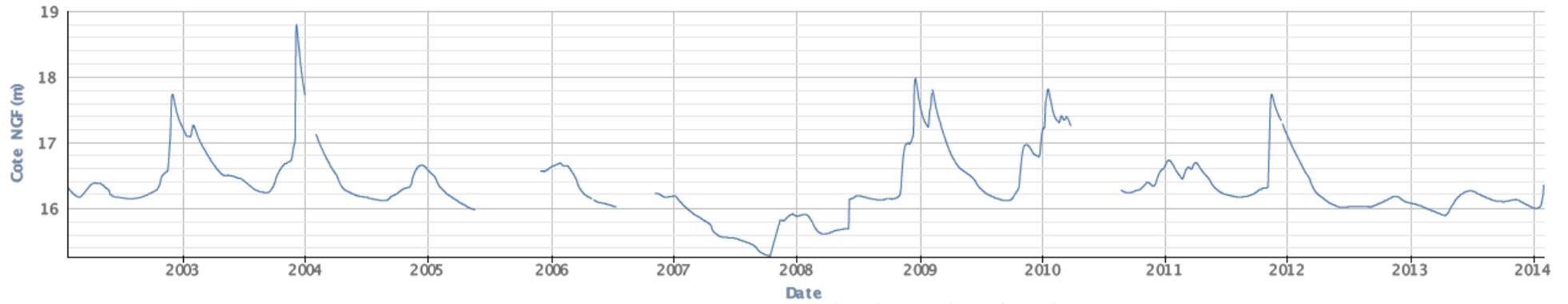
Au vu des chroniques présentées ci-dessous, aucune tendance générale de changement du niveau de la nappe ne se dégage depuis dix ans. Même si cette année a été généralement déficitaire pour la nappe, les niveaux enregistrés paraissent relativement stables au fil du temps.

Figure 9 : Chroniques piézométriques issues du suivi du BRGM

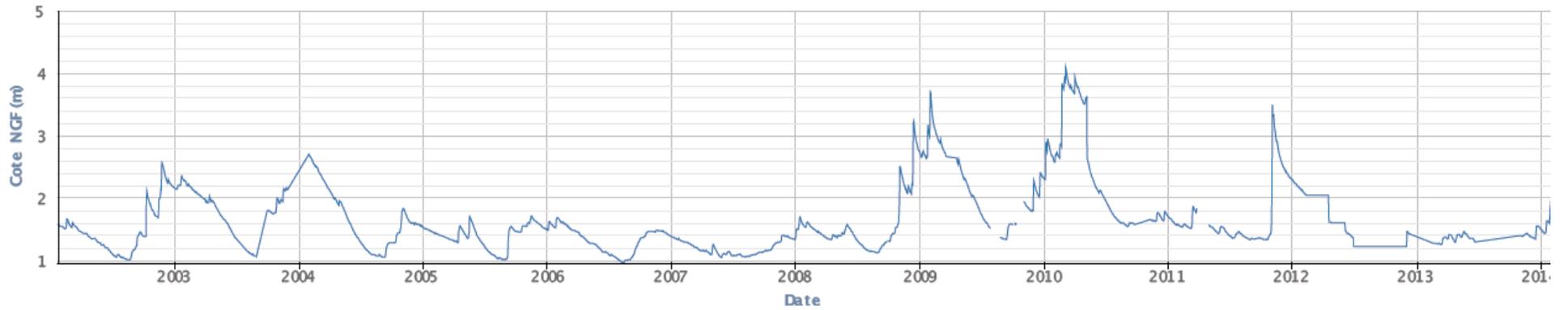


Suivi piézométrique de la nappe de la Crau - Année 2013

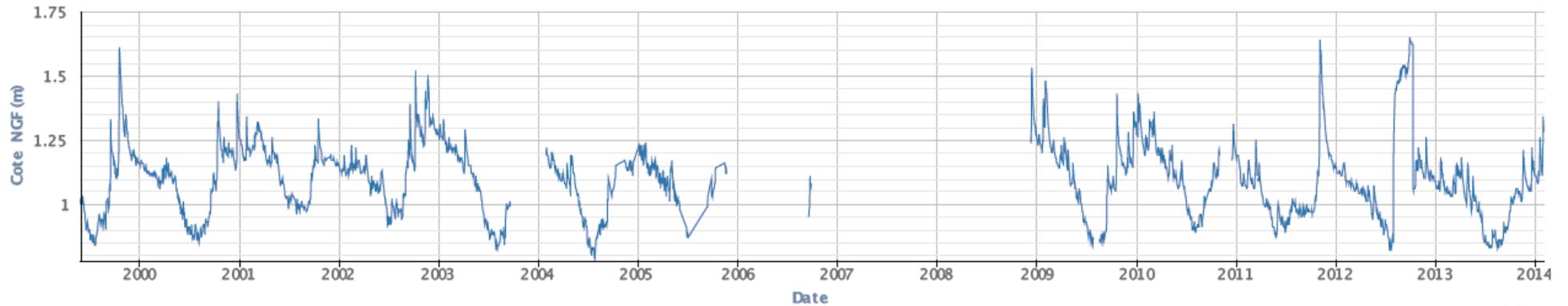
**Graphique du piézomètre**  
10193X015 1/P29B - Is tres - Peyre - Es tève



**Graphique du piézomètre**  
10192X0095 /P21B - Arles - Négreiron

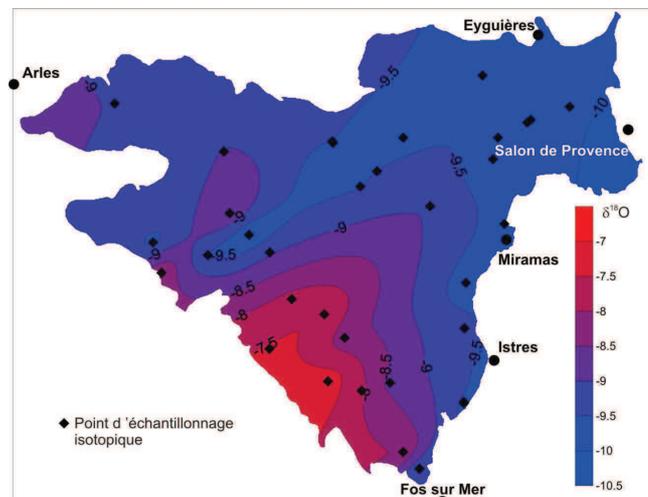


**Graphique du piézomètre**  
10192X0094 /F - Arles - Marais du Coucou



## V. Analyses isotopiques<sup>2</sup>

La gestion à long terme de la ressource implique la mise en place d'outils nécessaires à des réflexions prospectives tels qu'un modèle hydrogéologique de la nappe de Crau qui permette à la fois de quantifier les flux et la recharge de la nappe, dans sa grande variabilité spatiale, et de simuler les impacts de différents scénarios sur la nappe : changement de climat, changement de l'occupation des sols (ex : réallocation des parcelles de prairie), restriction de l'eau pour l'irrigation, modernisation des canaux et des systèmes de distribution de l'eau (actuellement les fuites des canaux contribuent également beaucoup à la recharge). Or, la recharge des nappes est souvent traitée dans les modèles hydrogéologiques comme une variable d'ajustement, et rares sont les situations où cette composante cruciale du bilan d'une nappe est explicitement décrite et validée dans les simulations. Dans le cas de la nappe de Crau, il existe un très fort contraste de composition isotopique ( $\delta^{18}\text{O}$  et  $\delta\text{D}$ ) entre les précipitations locales et l'eau de la Durance, d'origine alpine, utilisée pour l'irrigation. Ces traceurs isotopiques naturels représentent donc un excellent marqueur de l'origine de la recharge.



*Figure 10 : Interpolation par krigeage du  $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau de la nappe de Crau, basée sur les résultats des premières campagnes d'échantillonnage. Les valeurs sont comprises entre la composition de l'eau d'irrigation*

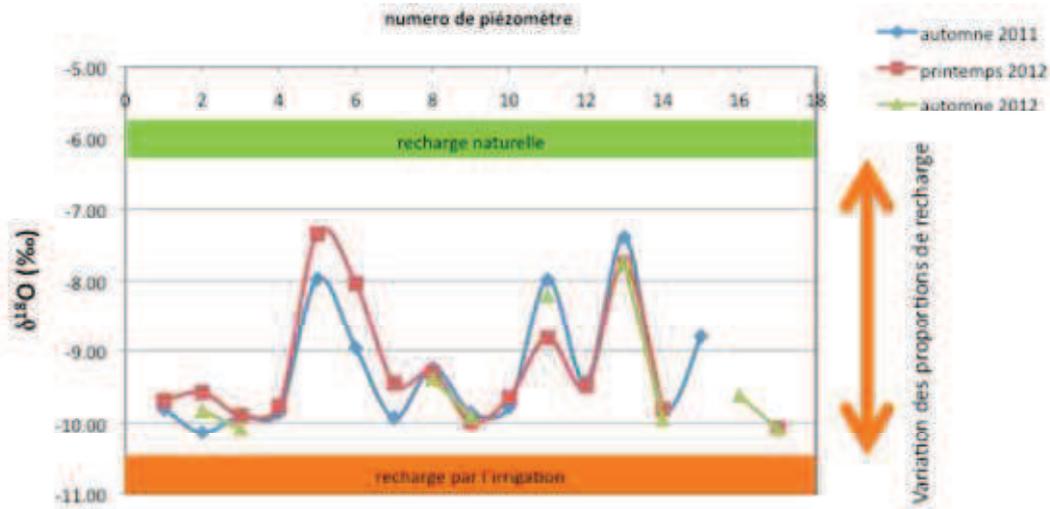
Dans ce cadre, des analyses de composition en oxygène-18 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) et en deutérium ( $\delta\text{D}$ ) ont été réalisées en collaboration avec le CEREGE<sup>3</sup>. Ces éléments, qui sont des isotopes stables de la molécule d'eau, sont présents naturellement dans l'eau. On peut ainsi quantifier le pourcentage de l'eau d'irrigation dans la nappe, une première étape vers la quantification de sa contribution à la recharge.

La figure ci-dessous montre les résultats des analyses en  $\delta^{18}\text{O}$  des 3 campagnes d'échantillonnage qui ont été effectuées en même temps que l'échantillonnage réalisé pour les analyses chimiques (en hautes eaux et basses eaux sur Q1 à Q17, voir bulletin qualité SYMCRAU 2012). Les points sont situés entre la composition de la recharge par les eaux d'irrigation (en orange) et la recharge par les eaux de pluie (en vert). La majorité des points de mesure sont caractéristiques d'une recharge dominante par les eaux d'irrigation. Les valeurs les plus élevées indiquent une proportion plus importante de la recharge naturelle (Q5, Q11 et Q13). Les variations entre les campagnes de mesures sont relativement faibles, en particulier pour les valeurs basses, caractéristiques de l'eau d'irrigation.

<sup>2</sup> Isotope : Se dit d'éléments qui se différencient seulement par leur nombre de neutrons. Ici on travail notamment sur l'atome d'oxygène qui peut avoir 8 (oxygène16) ou 10 (oxygène18) neutrons.

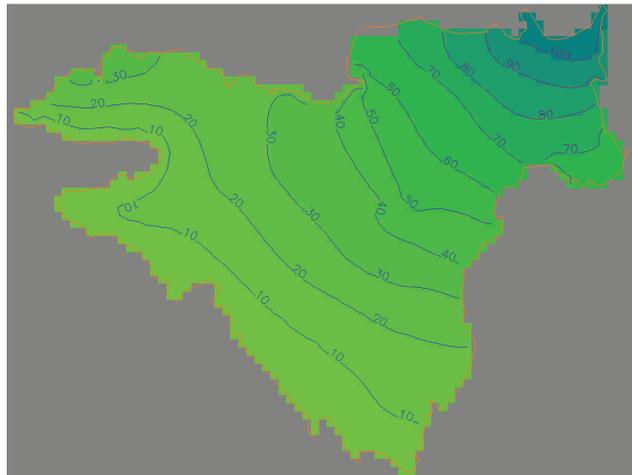
<sup>3</sup> CEREGE : Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement

On identifie la recharge artificielle par l'irrigation gravitaire ( $\delta^{18}\text{O} = -10\text{‰}$ ) et celle de la recharge naturelle par les précipitations locales ( $\delta^{18}\text{O} = -6\text{‰}$ ). Ainsi, l'impact bénéfique des pratiques agricoles traditionnelles est mis en évidence. L'irrigation traditionnelle permet d'alimenter une réserve en eau souterraine qui est cruciale pour l'économie de la région.



*Figure 11 : Résultats d'analyse des trois premières campagnes isotopiques réalisées par le SYMCRAU*

Un travail de modélisation hydrodynamique de la nappe a été amorcé au CEREGE dans le cadre d'un stage de Master 2 en 2012 (Simmarano 2012). Ce premier travail a permis de mettre en place le modèle (géométrie, champ de paramètres), de faire une première calibration de la recharge à champ de perméabilité fixé (issu du krigeage des données disponibles) afin de reproduire le niveau piézométrique de régime permanent (voir figure 2).



*Figure 12.: Surface piézométrique simulée en régime permanent à l'aide de Processing Modflow (Simmarano, 2012).*

Dans une deuxième étape, et afin d'affiner les premières estimations sur le champ de perméabilité et la recharge fournies par les approches en régime permanent hydraulique, des simulations en régime transitoire seront menées afin d'appréhender la cyclicité intra-annuelle.

Le modèle hydrogéologique une fois validé permettra de simuler l'évolution de la nappe sous différents scénarios : changement de climat, changement de l'occupation des sols, restriction de l'eau pour l'irrigation, modernisation des canaux et des systèmes de distribution de l'eau.

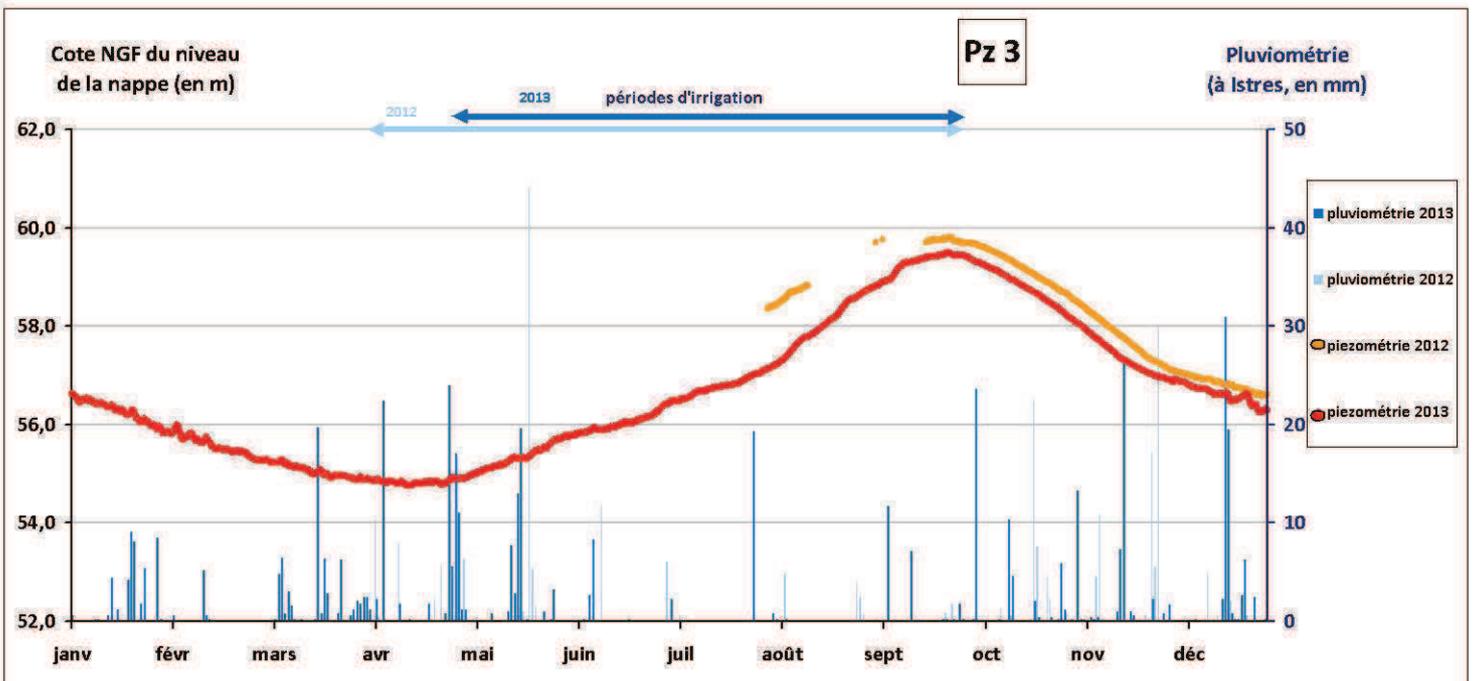
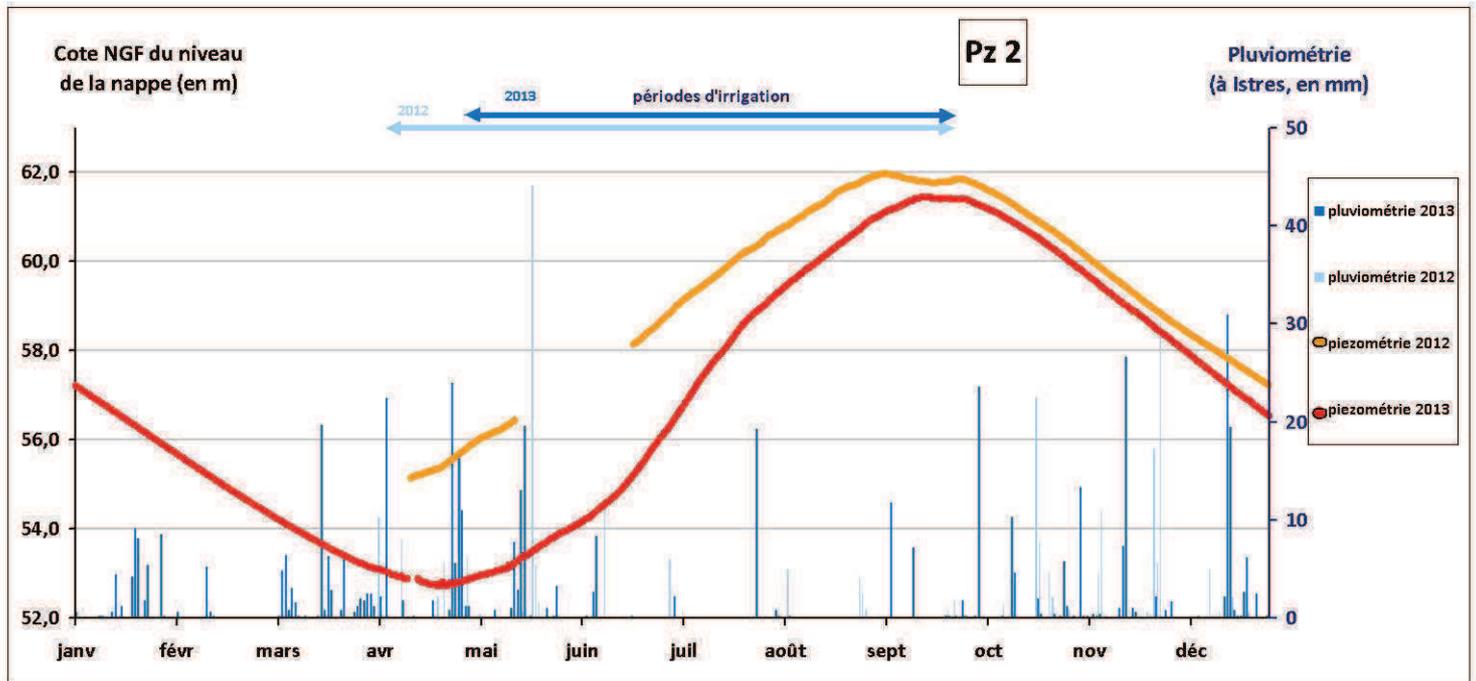
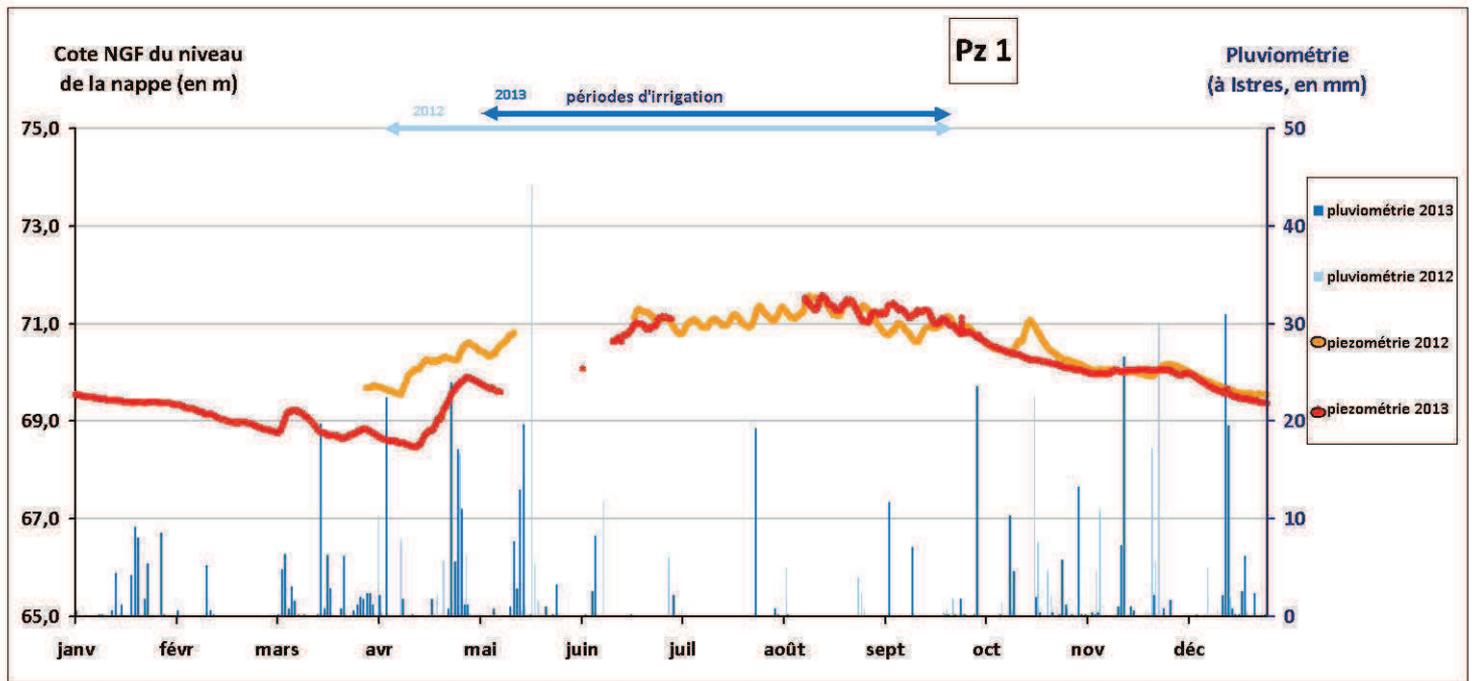
## VI. Conclusion

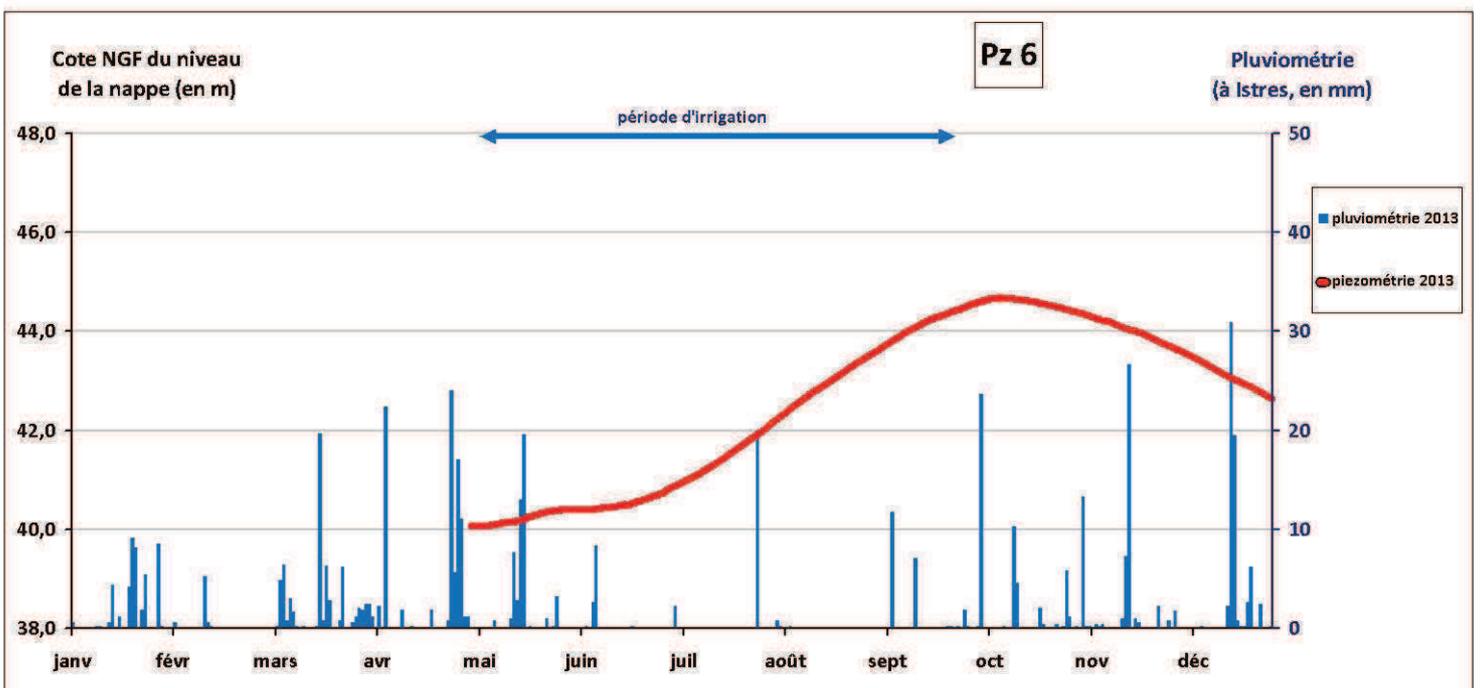
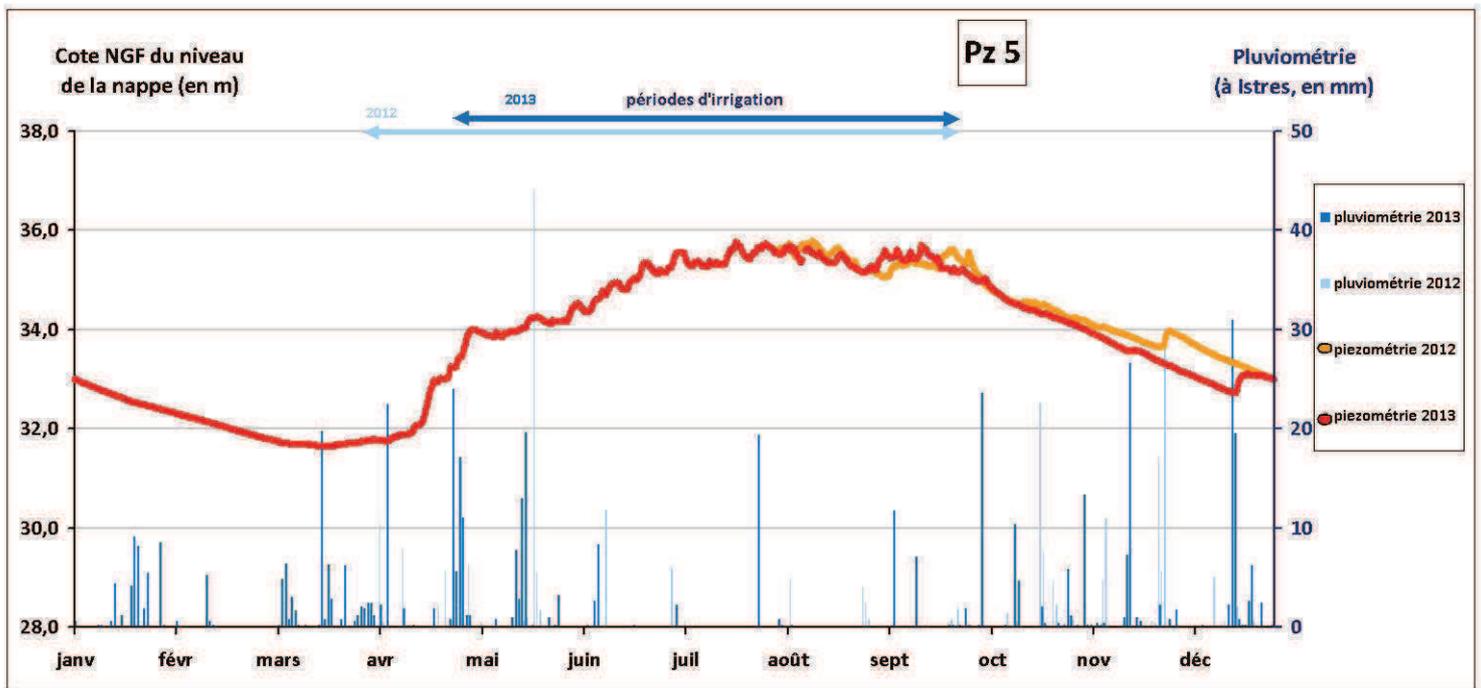
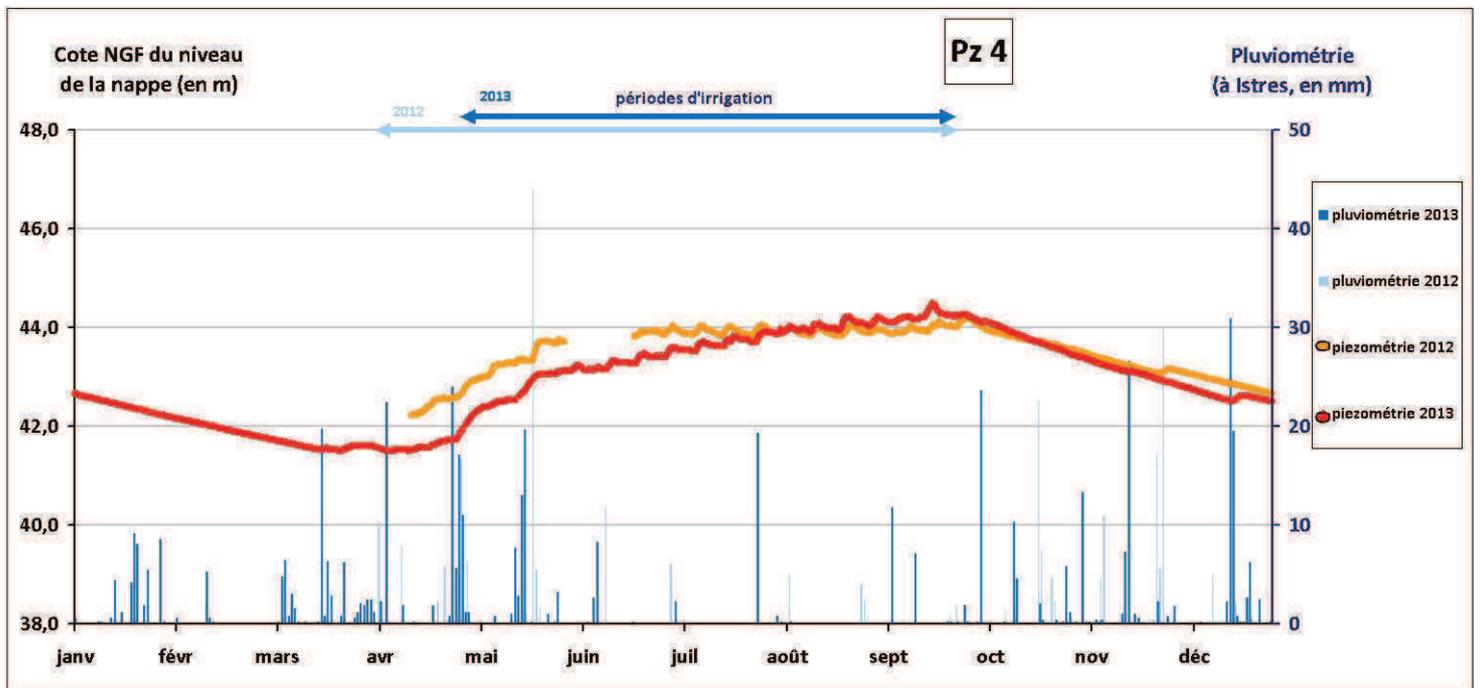
L'évolution de la nappe en 2013 a été conditionnée par les forts événements pluvieux de printemps. Ces précipitations ont provoqué un retard dans le démarrage de l'irrigation gravitaire ayant ainsi induit des niveaux de la nappe généralement plus bas. La piézométrie des zones de Crau sèche, influencées par la pluie, est légèrement plus élevée que la normale. Les variations du niveau piézométrique de la Crau de cette année 2013 a consolidé l'importance du rôle de l'irrigation gravitaire dans la recharge de la nappe.

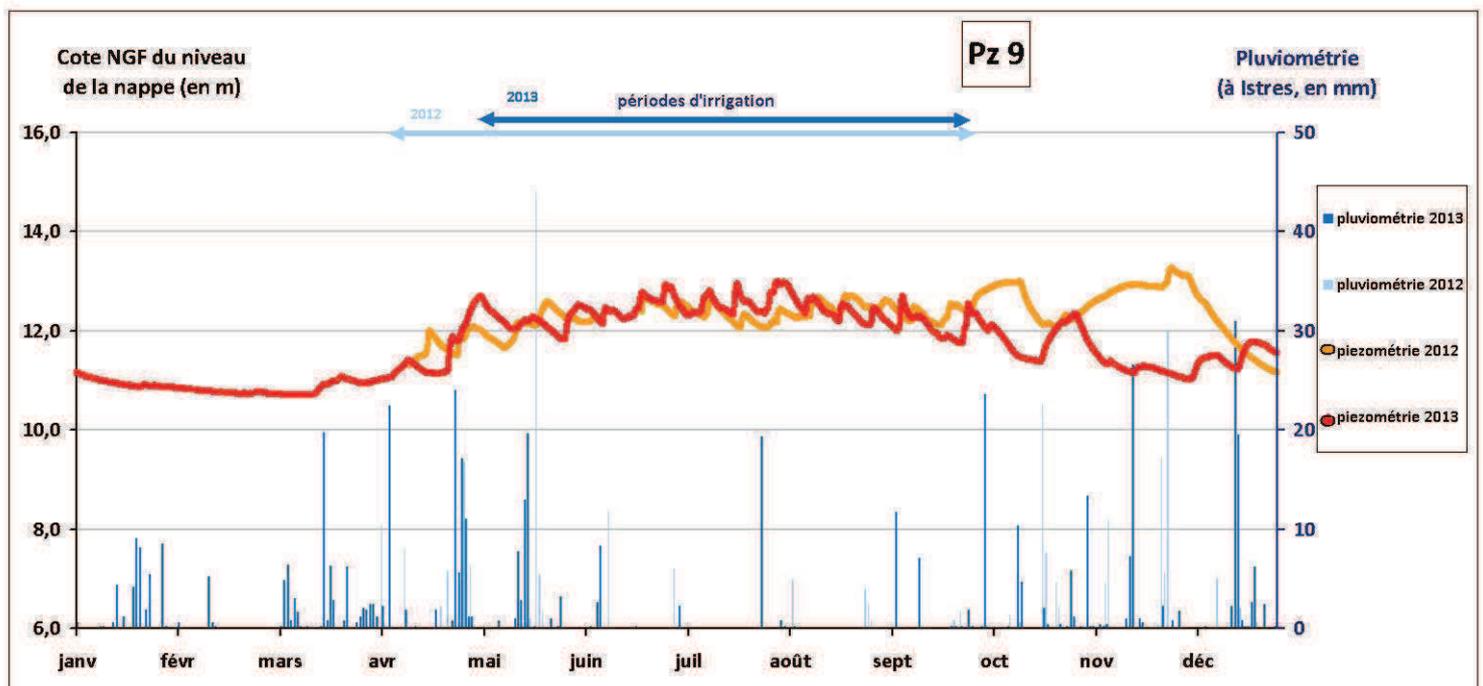
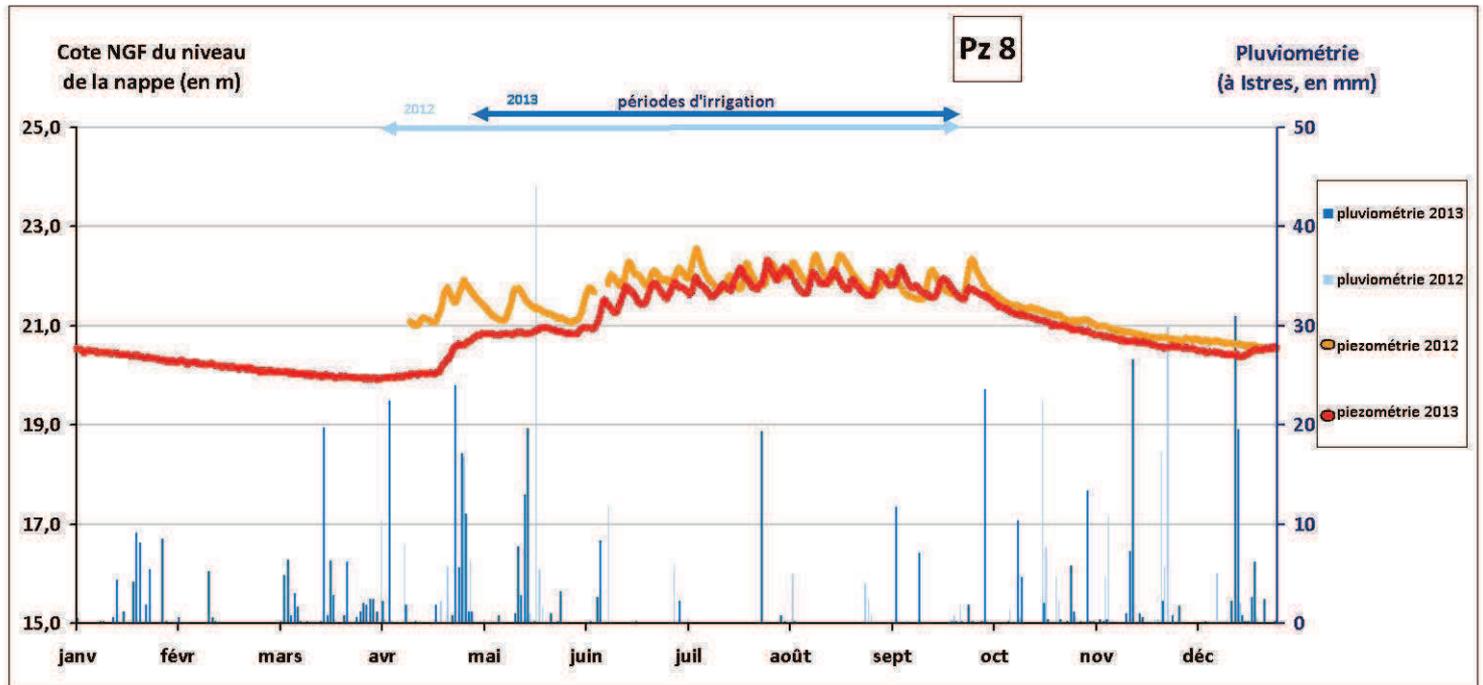
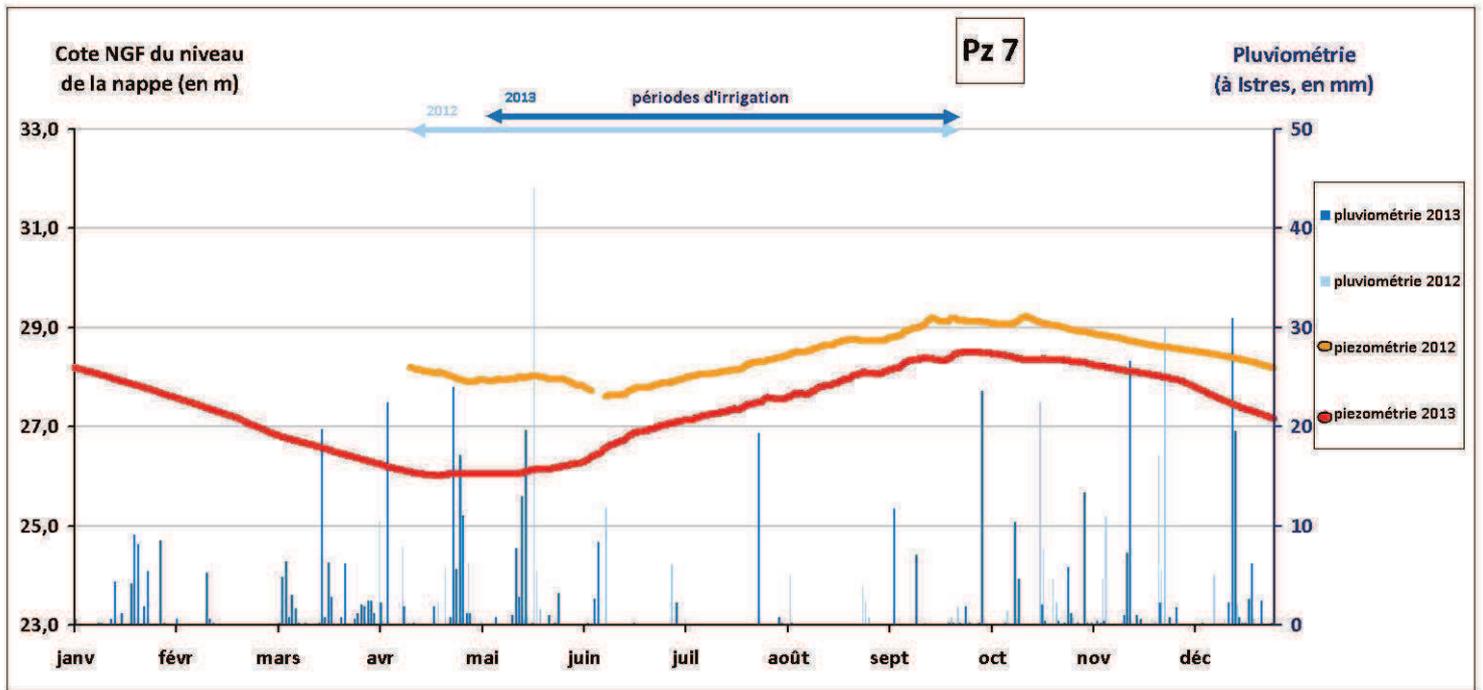
Pour affiner le suivi et compléter les connaissances sur le fonctionnement de la nappe plusieurs projets venant en complément sont en cours :

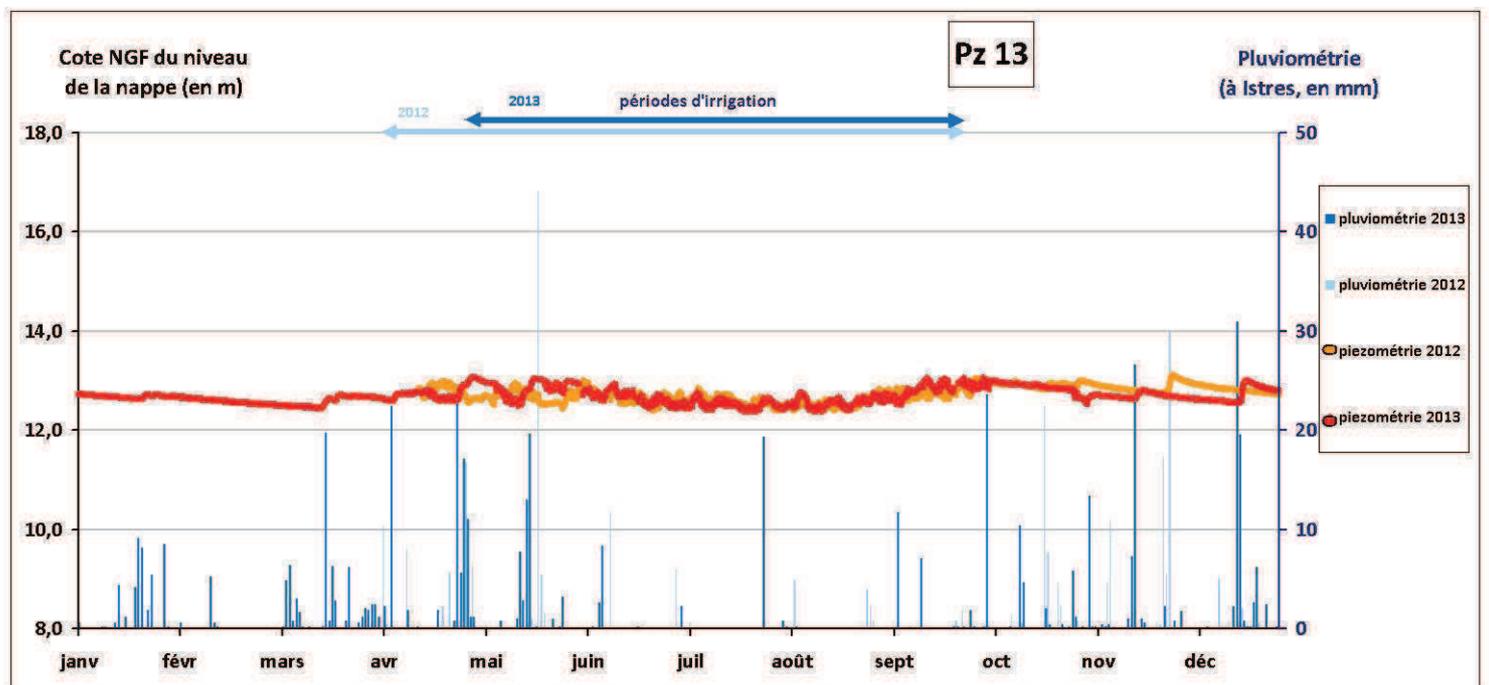
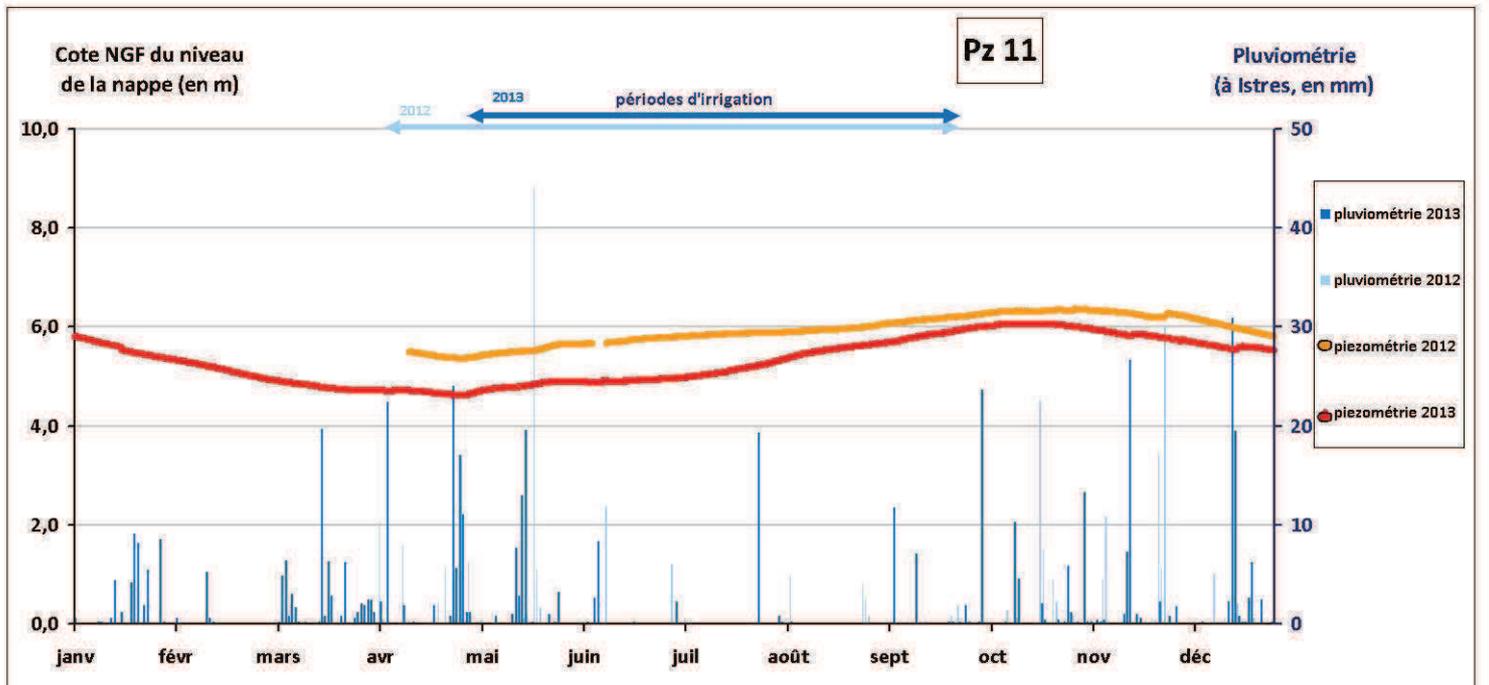
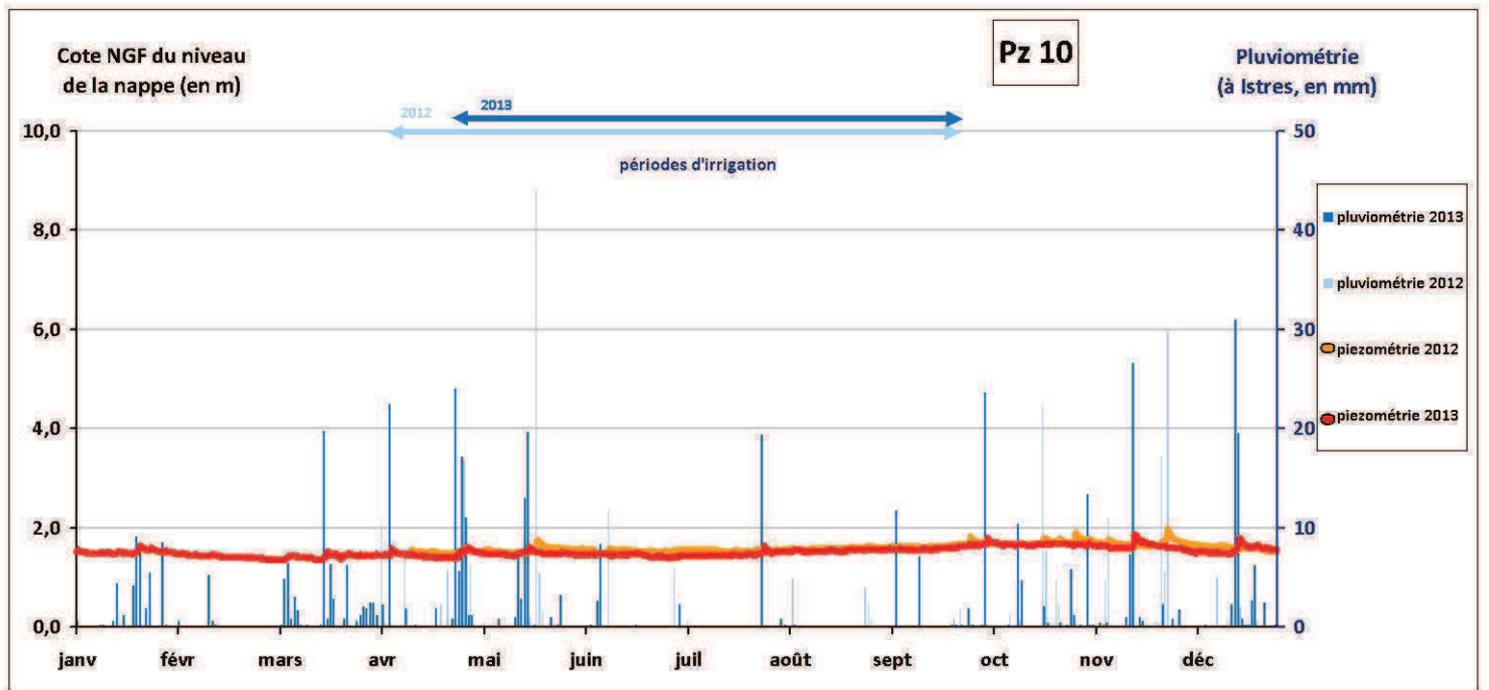
- Suite à une campagne piézométrique de grande ampleur réalisée en octobre 2013, une nouvelle carte piézométrique sera réalisée. Elle permettra de comparer celle-ci avec les cartes piézométriques déjà existantes (Carte du BRGM de 1967...) et nous apprendre un peu plus sur l'évolution de la nappe depuis des dizaines d'années.
- Des données supplémentaires seront acquises via la mutualisation des réseaux de suivi du Grand Port Maritime de Marseille et du SYMCRAU
- La thèse en cours, réalisée sous la direction du CEREGE en partenariat avec le SYMCRAU, apportera des éléments supplémentaires de connaissance indispensables sur la quantification des flux et de la recharge de la nappe.

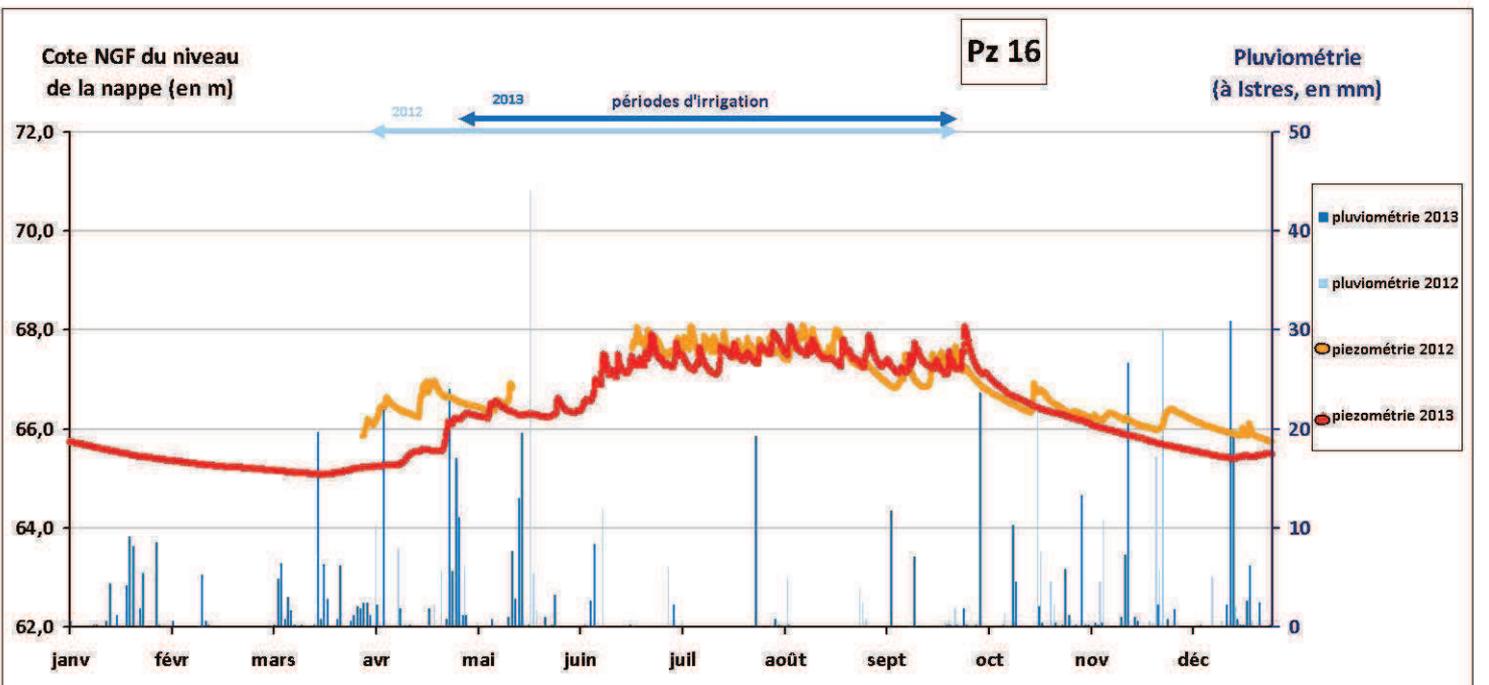
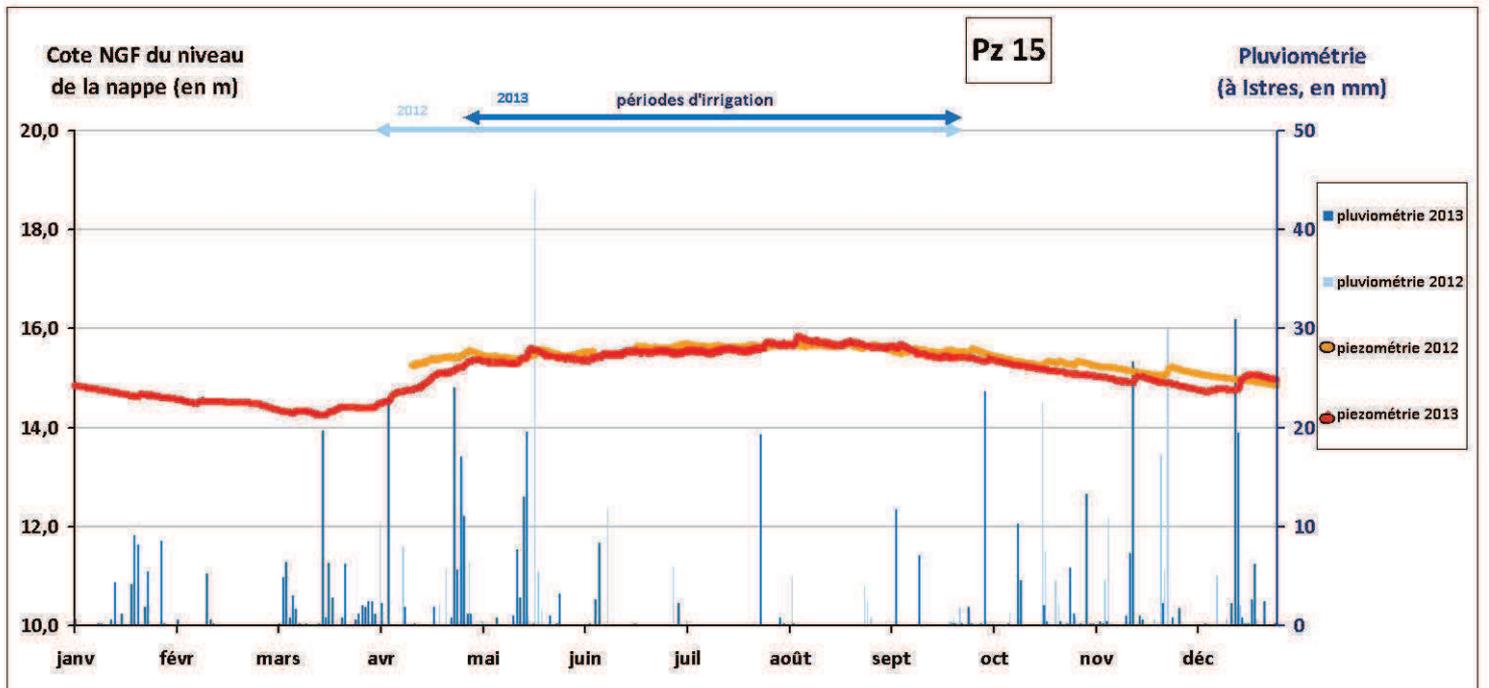
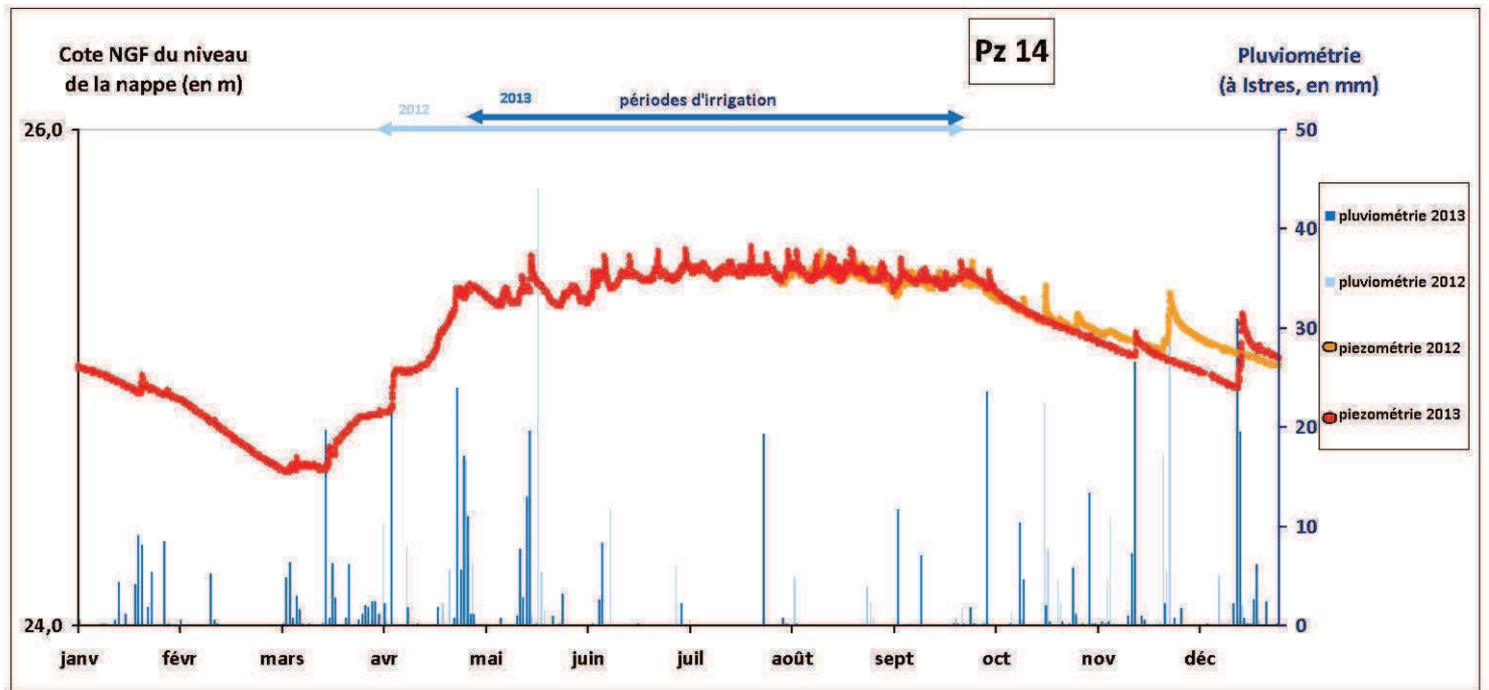
**ANNEXE 1 :**  
**Mesures piézométriques 2013 et**  
**2012 (en m NGF)**

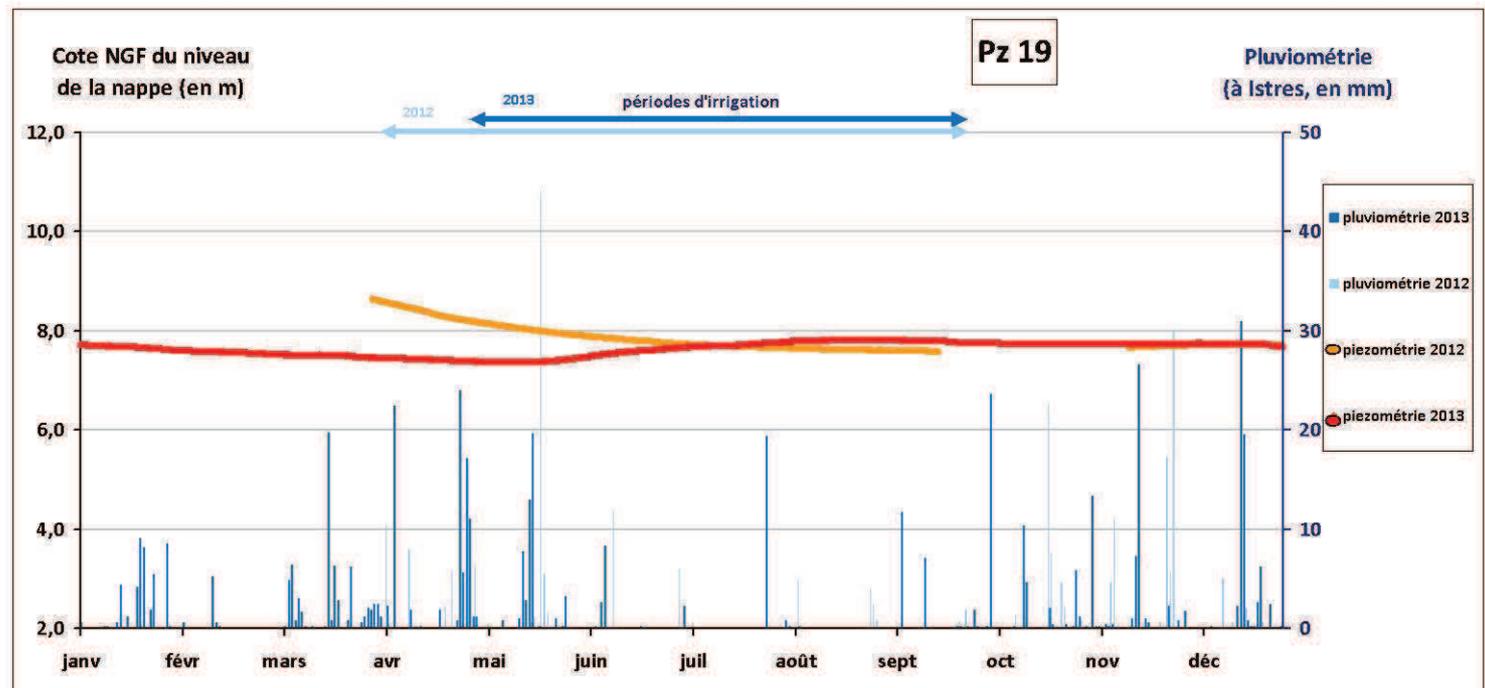
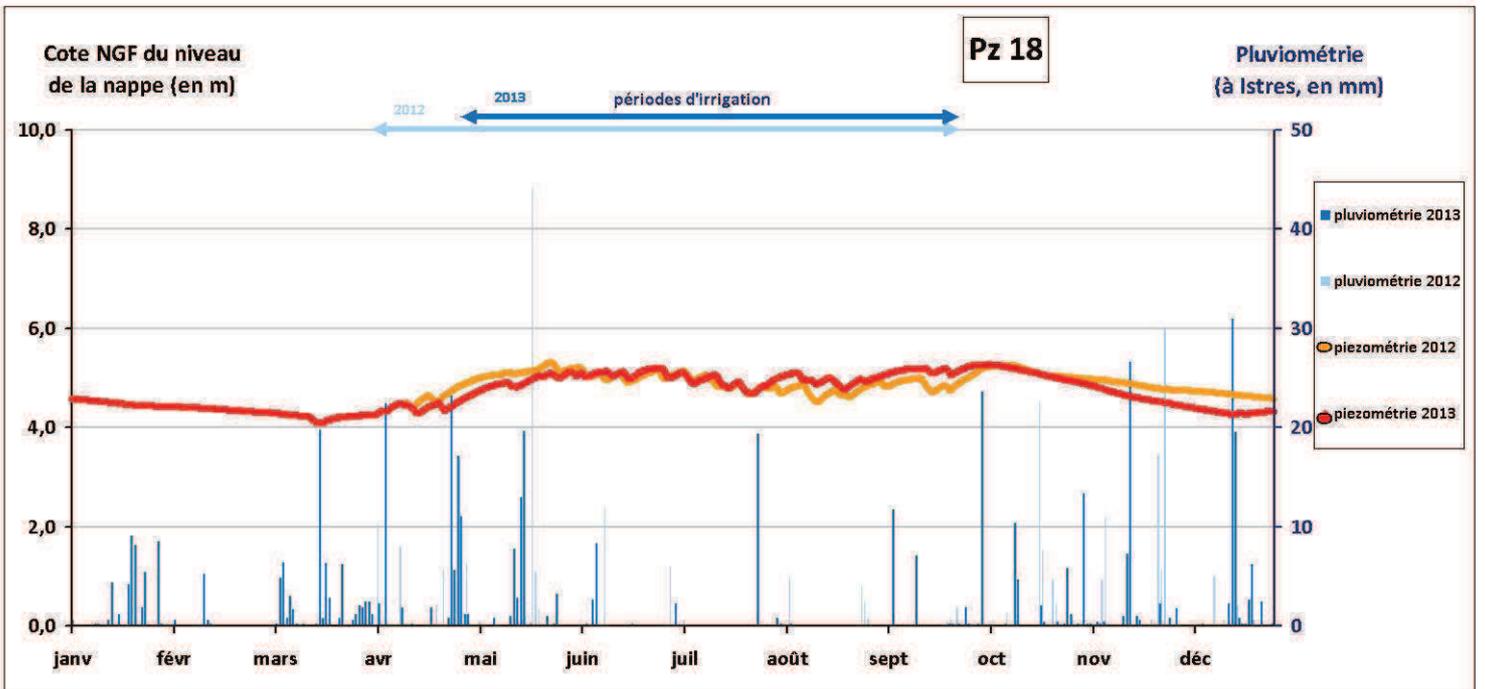
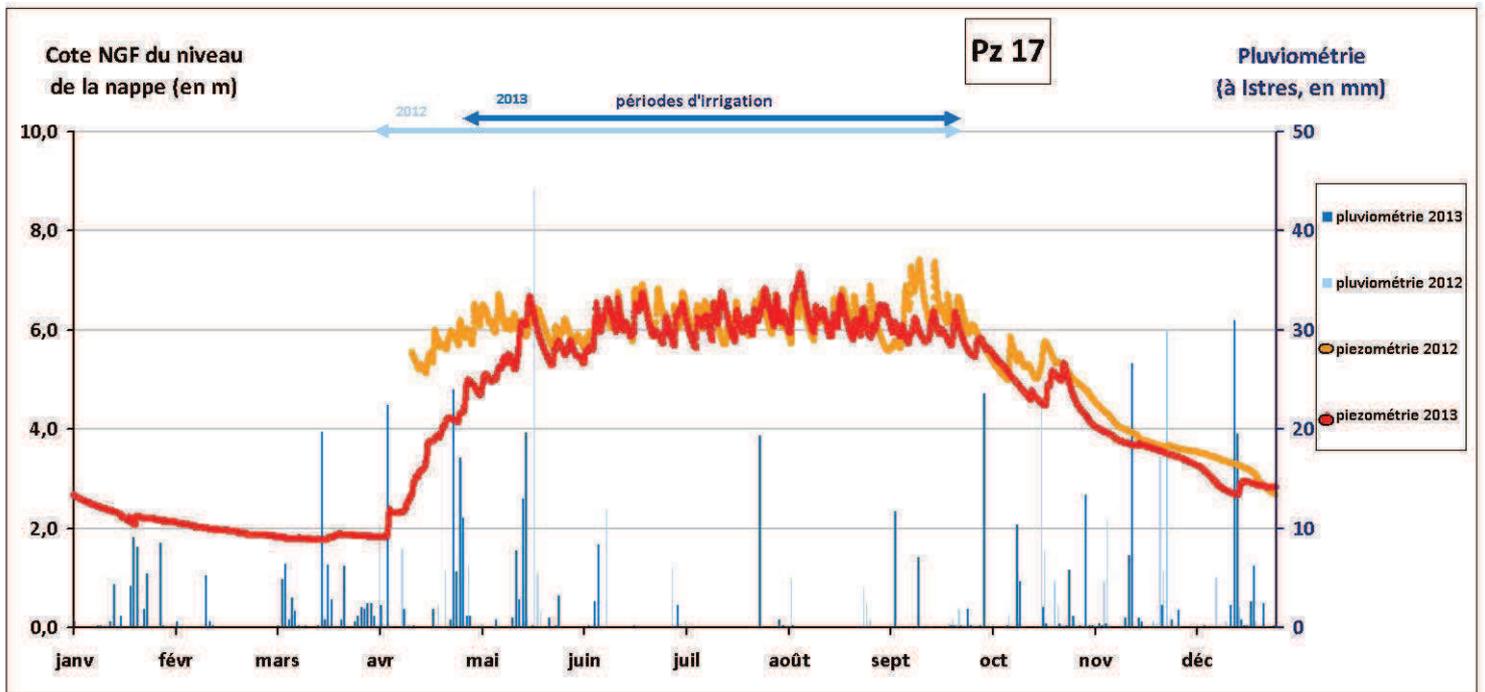


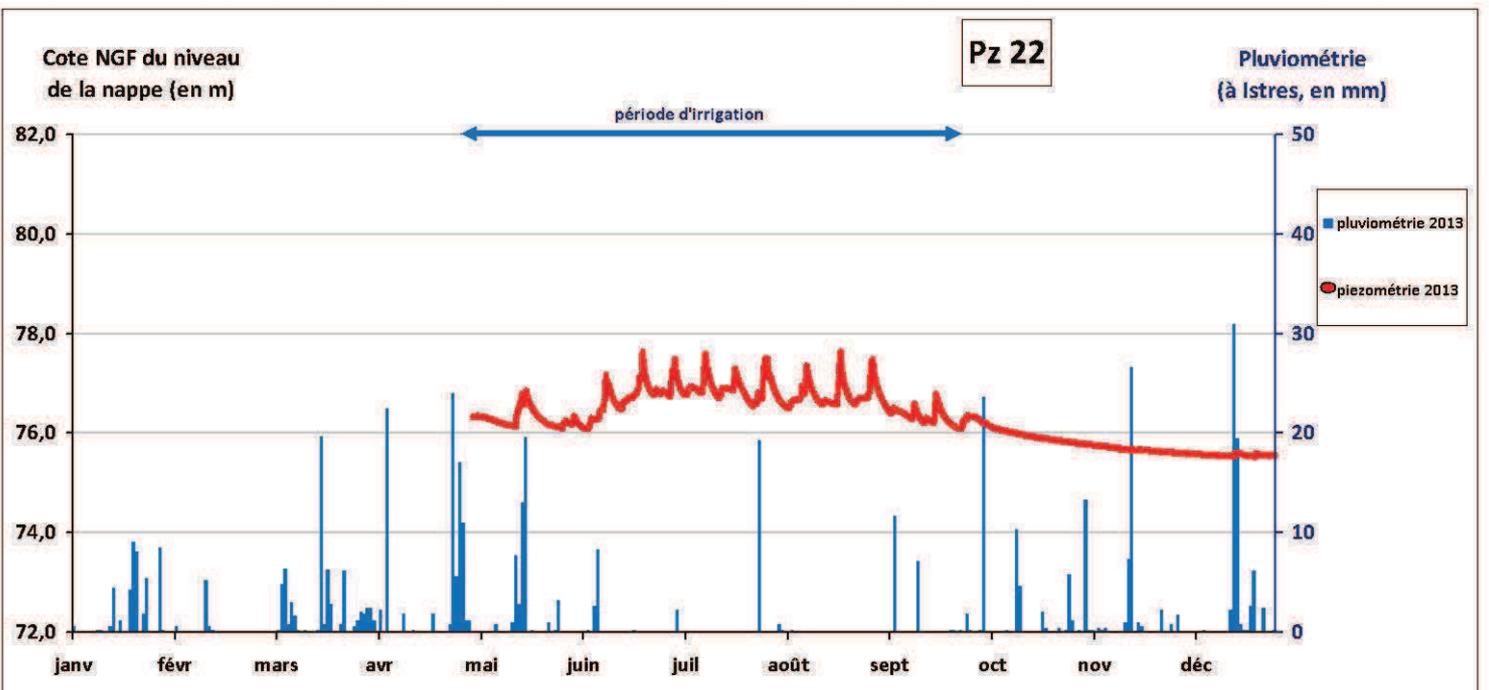
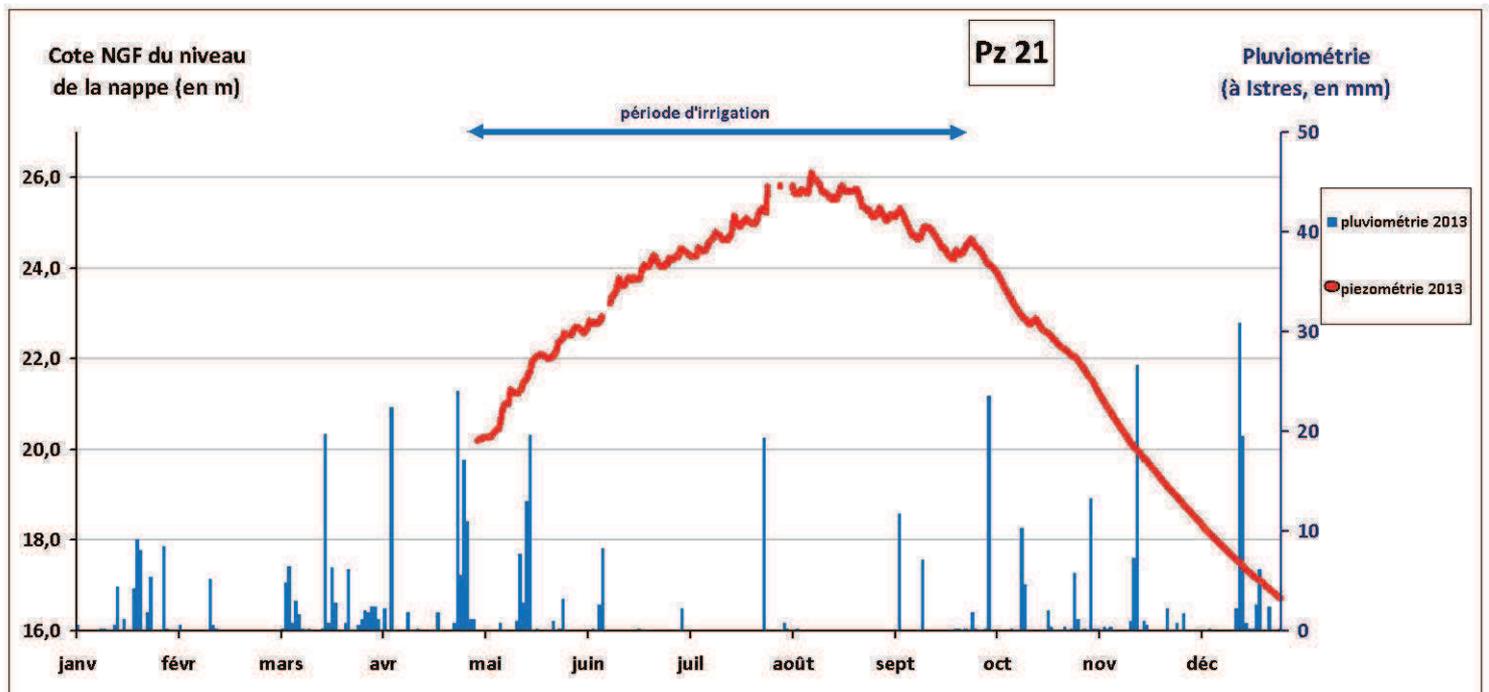
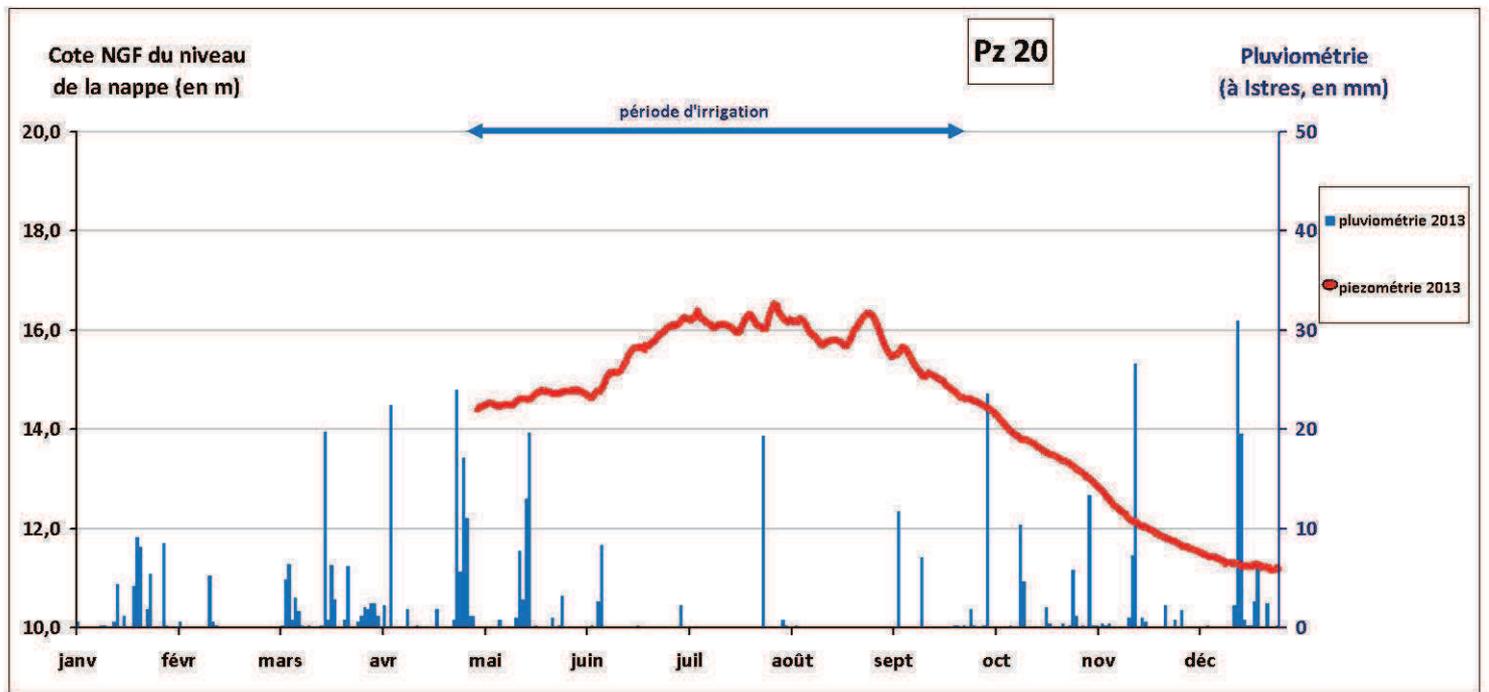


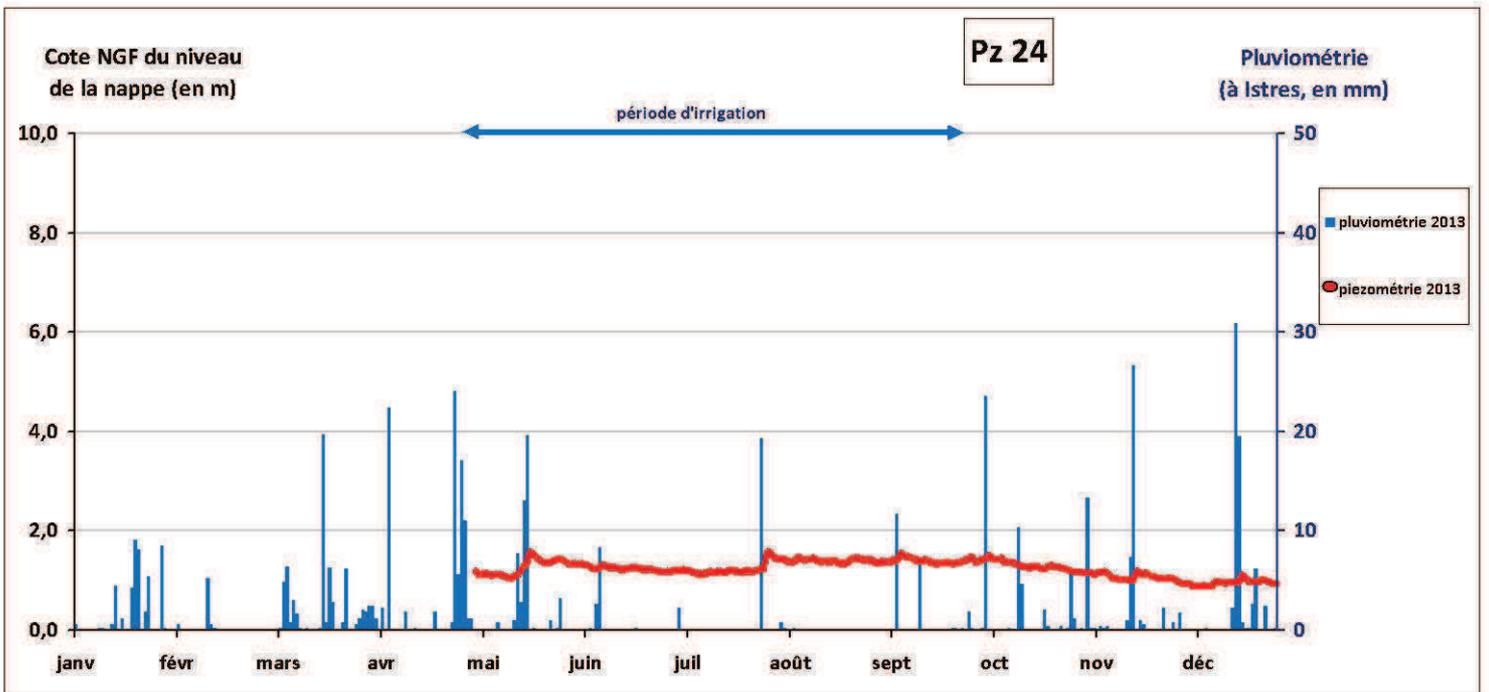
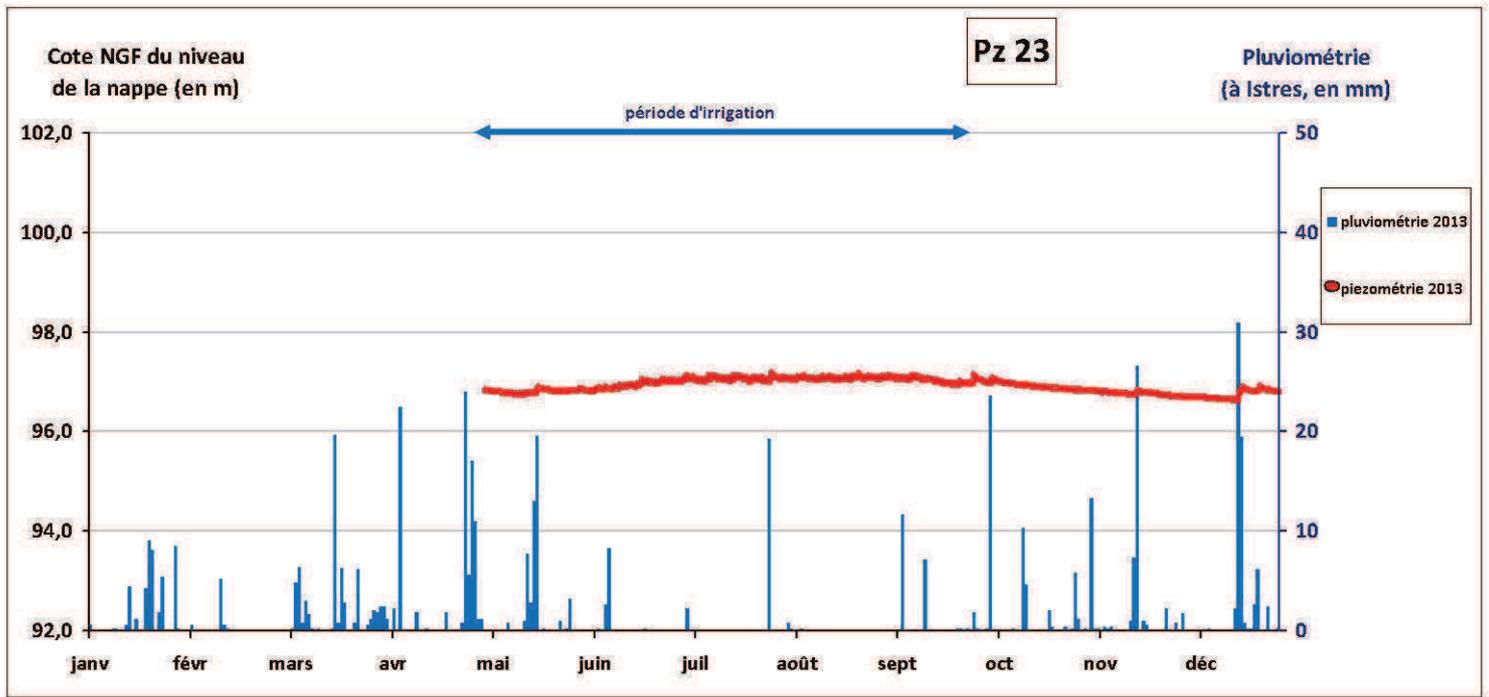












**ANNEXE 2 :**  
**Mesures piézométriques disponibles**  
**de Pz 1, 16 et 19 depuis 2009**

