

SYMCRAU

Syndicat mixte de gestion
de la nappe phréatique de la Crau

Dossier technique n°2

-

Etude des résurgences de Mouriès



Titre Etude des résurgences de Mouriès

Date juin 2017

Auteurs A. Baillieux, L. Ros, D. Villesseche, K. Lombardini

Partenariat



Syndicat mixte de
gestion de la nappe
phréatique de la
Crau



Site Natura 2000
« Trois marais »



Parc naturel
régional des
Alpilles



Commune de
Mouriès



Université de
Franche-
Comté



Université de
Neuchâtel

Cadre et objectifs de l'étude

Le SDAGE Rhône-Méditerranée, en conformité avec la directive cadre européenne sur l'eau, demande une gestion des masses d'eau souterraine garantissant le bon état des écosystèmes associés. Dans ce contexte réglementaire le SYMCRAU, outil de gouvernance locale de l'eau, s'intéresse à mieux comprendre le fonctionnement des résurgences de la nappe de la Crau, en particulier leurs interactions avec les milieux naturels.

Le syndicat a réalisé en 2016 une étude portant sur les interactions eaux souterraines - eaux de surfaces sur les sites Natura 2000 « Trois marais » (Ros 2016). Cette étude s'est focalisée sur les marais de Chanoines et de Meyrannes, au sud de Raphèle, où il a été décrit le fonctionnement des laurons et montré la grande influence des eaux souterraines dans les canaux drainant et alimentant le système des marais.

En parallèle, des investigations ont eu lieu dans la partie nord de la plaine de la Crau, pour mieux comprendre l'influence de la nappe dans les résurgences alimentant les milieux humides de la Vallée des Baux. L'origine des eaux de ces sources ne fait pas aujourd'hui l'objet d'un consensus chez les spécialistes (PNR Alpilles 2010). L'objectif de cette étude est de déterminer la contribution de la nappe de la Crau à l'une des principales résurgences de la Vallée des Baux : les Fontaines de Mouries.

Site d'étude et méthodes d'investigation

Le site des Fontaines de Mouries se localise à environ 2 km au sud-ouest du centre-ville de Mouries, au pied du versant nord du massif calcaire et dolomitique de l'Anellier, séparant la Vallée des Baux, au nord, de la plaine de la Crau, au sud.

L'eau issue de ces sources chemine au travers d'un petit réseau de canaux dans le parc d'une propriété privée et alimente le canal des eaux claires (Figure 1). Ce canal continue vers l'ouest en drainant le marais des quatre platanes puis se jette dans le canal d'assainissement de la Vallée des Baux. Avec un débit variant de 200 à 280 l/s les fontaines de Mouries représentent 30% à 50% des apports du canal des eaux claires au canal de la Vallée des Baux. Les apports restant sont presque exclusivement issus des résurgences alimentant le marais des quatre platanes (laurons et sources de Santa-Fé) (Schwartz T. 2010).

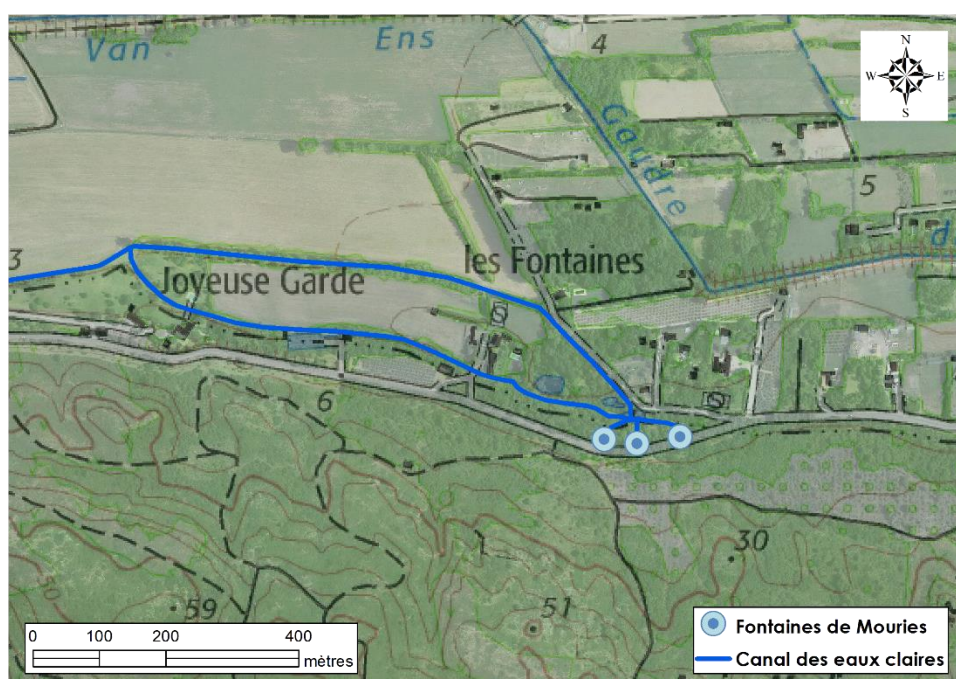


Fig. 1 Localisation des Fontaines de Mouries

Ces sources pérennes sont caractérisées par des eaux méso- oligotrophes. La dernière campagne de suivi de la qualité des eaux menées en 2007-2008 décrit une température constante toute l'année (15-17°C), de faibles teneurs en nitrate et phosphate et un pH compris entre 6,6 et 7,9. Une pollution ponctuelle au nitrate est constatée suggérant des connections avec le bassin versant agricole de la nappe de la Crau (Schwartz 2010).

Le principal enjeu lié à ces apports est la conservation d'un patrimoine naturel remarquable, végétal (e.g. plantes aquatiques, marisques) et faunistique (e.g. odonates, anguilles et rollet d'Europe), qui se développe dans les laurons, le canal des eaux claires et les marais en aval (quatre platanes et Ilon).



Lauron sur le site des Fontaines de Mourières (21 juillet 2016)

Le site des Fontaines de Mourières se situe au pied du relief calcaire de l'Anellier, dépôts du Crétacé inférieur bordant le sud de la Vallée des Baux.

Au sud du massif les alluvions fluviales de la Crau d'Arles se redressent sensiblement contre les hauteurs de l'Anellier. La Vallée des Baux se développe dans un synclinal formé lors d'un épisode compressif de l'oligocène (tectonique alpine) qui a affecté toute la série du Crétacé Supérieur (synclinal du Destet). Cet épisode a formé un pli chevauchant l'Anellier, qui a alimenté les dépôts éocènes de conglomérats polygéniques et de brèches dolomitiques, remplissant le sud du synclinal sur une épaisseur dépassant 100 m. Enfin le toit de la série du synclinal au niveau de Mourières est recouvert par des sables marneux et conglomérats du Miocène.

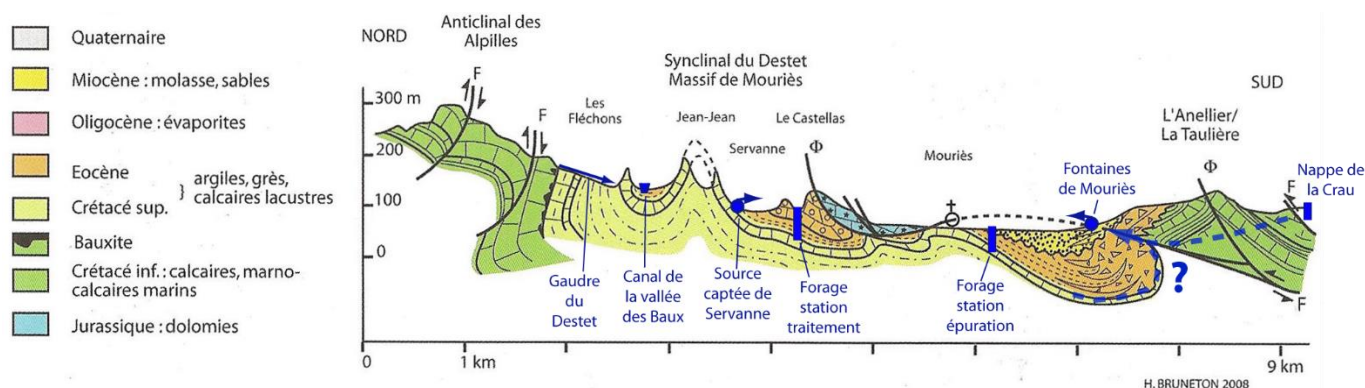


Fig. 2 Coupe géologique nord-sud montrant les résurgences et points d'échantillonnage. Le trait de coupe est localisé sur la carte géologique en annexe. Modifié d'après Barruol G, Fustier-Dautier N. 2009

Les résurgences des Fontaines de Mouriès sont probablement liées à l'existence d'une faille de chevauchement chariant le Crétacé inférieur de l'Anellier sur le Crétacé supérieur, repris en flexure. Des écoulements préférentiels d'eaux souterraines ont ainsi pu se développer à travers l'Eocène conglomératique.

Dans ce contexte, plusieurs hypothèses peuvent être formulées sur l'origine de eaux souterraines :

- Apport de la nappe de la Crau, à travers les calcaires de l'Anellier
- Apport profond de la nappe plus profonde des Alpilles s'écoulant dans les dépôts calcaires et gréseux du Crétacé supérieur au cœur du synclinal du Destet.

Afin d'étudier l'origine de ces eaux, deux approches sont menées en parallèle :

1. Suivi des débits des sources et de la piézométrie de la nappe de la Crau

La nappe phréatique de la Crau est caractérisée par une amplitude de battement piézométrique de l'ordre de plusieurs mètres, liée à la saison d'irrigation des prairies de foin de Crau, entre mars et octobre, qui assure environ 70% de la recharge de l'aquifère. En suivant le débit des sources on cherche à établir une éventuelle relation hydraulique, par transfert de pression, entre la mise en charge de la nappe de la Crau et la variation des débits des sources. La technique de jaugeage est le traçage au sel de cuisine. Le point de suivi piézométrique est l'ouvrage 09937X0156/PZ3 du réseau ADES, dont le SYMCRAU est gestionnaire.

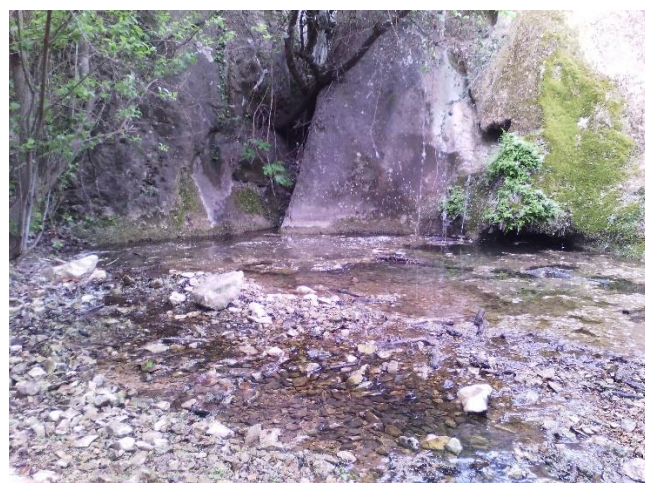
2. Méthodes chimiques et isotopiques

Les différentes nappes d'eau souterraines, susceptibles d'alimenter les sources, s'écoulent dans des horizons géologiques de différentes natures : calcaires et molasses des Alpilles au nord, alluvions fluviales de la Crau au sud. De plus les différents aquifères potentiellement tributaires présentent des eaux de recharge de natures distinctes : d'une part la nappe de la Crau, avec une recharge majoritaire avérée par l'eau de la Durance en Crau (dont le bassin d'alimentation se situe dans les Alpes) et d'autre part les aquifères de Alpilles, avec une recharge supposée majoritaire par précipitations locale sur le massif des Alpilles.

Ainsi, il peut être supposé que les signatures chimiques (ions majeurs et paramètres physico-chimiques) et isotopiques (isotopes stables de l'eau) constituent de bons traceurs de l'origine des eaux aux Fontaines de Mouriès. Afin de compléter les données chimiques et isotopiques connues (nappe de la Crau, eau d'irrigation, pluie), une campagne d'analyse a été menée sur les points suivants : Fontaines de Mouriès, gaudre du Destet et source de Servanne (localisation annexe et Fig. 2).



Technique de jaugeage au sel : balance de précision



Point d'échantillonnage du gaudre du Destet (22/04/16)

Résultats et discussion

Le jaugeage des sources montre une nette augmentation des débits entre le 14 mars et le 13 avril 2016, passant de 180 l/s à 380 l/s, pour une stabilisation entre 330 et 390 l/s jusqu'au 14 juin (Fig. 3). Le débit diminue à 280 l/s au 21 juillet. Les fluctuations observées, et en particulier la baisse au 21 juillet, pourraient avoir deux origines : une incertitude sur les mesures et un facteur externe non identifié comme un prélèvement. L'hypothèse la plus forte serait une incertitude sur la méthode de jaugeage, qui, selon la position de la sonde de conductivité électrique en aval du point d'injection peut conduire à une sous-estimation du débit réel.

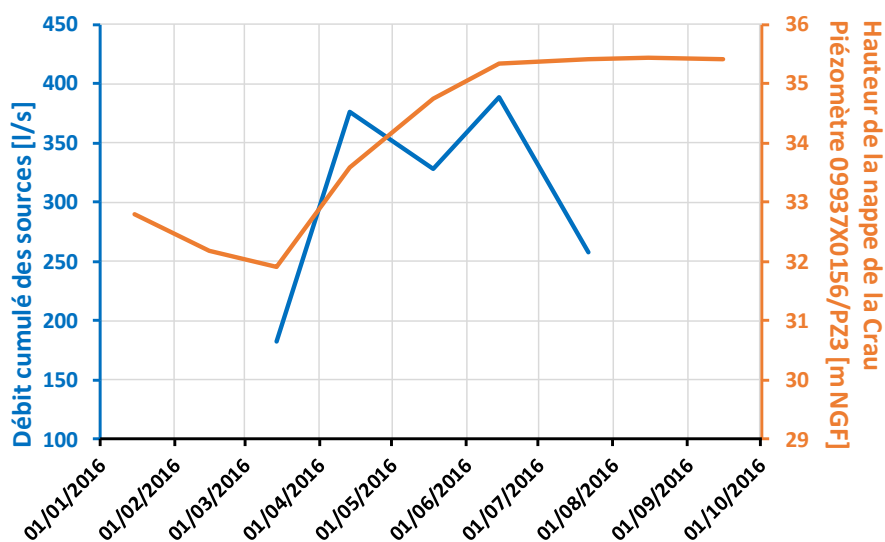


Fig. 3 Evolution du débit au Fontaines de Mouriès et de la charge hydraulique sur la nappe de la Crau (piézomètre du SYMCRAU 09937X0156/PZ3)

De manière simultanée à l'accroissement des débits en mars/avril, il est observé une augmentation de la charge hydraulique sur la nappe de la Crau (Fig. 3), se stabilisant jusqu'en octobre 2016. Cette concomitance des phénomènes conforte l'hypothèse d'un lien hydraulique entre la nappe drainée par les sources et la nappe de la Crau. Sur le terrain, cela se traduit par une remontée de la côte d'émergence des sources qui, en période hivernale, se situe en contrebas de la route D24 puis, à partir de mi-avril, remonte quelques mètres au-dessus de la route (photos).



Emergences observées au-dessus de la route D24 (26/04/2016)

Les analyses ont mis en évidence des signatures chimiques distinctes entre les différents points d'échantillonnage (Tab 1). La source de Servanne se caractérise par une teneur en sulfate, magnésium et potassium relativement élevée, ce qui pourrait traduire une influence agricole (K_2SO_4 et $MgSO_4$ sont des engrais couramment employés). A l'inverse de l'eau des canaux, le gaudre du Destet se caractérise par une teneur relativement élevée en calcium et carbonates, traduisant l'influence de l'environnement calcaire du gaudre. Les eaux de la nappe de la Crau et des Fontaines de Mourières présentent des teneurs relativement élevés en nitrate, sodium et chlorure.

	Date	Conductivité à 25°C [$\mu S/cm$]	pH	T°C	Ca ²⁺ [mg/L]	K ⁺ [mg/L]	Mg ²⁺ [mg/L]	Na ⁺ [mg/L]	SiO ₂ [mg/L]	F ⁻ [mg/L]	Cl ⁻ [mg/L]	NO ₃ ⁻ [mg/L]	SO ₄ ²⁻ [mg/L]	HCO ₃ ⁻ [mg/L]	$\delta^{18}O$ [‰]	δ^2H [‰]
Gaudre du Destet	22/04/2016	761.0	7.0	15.0	112.5	0.7	7.7	8.2	4.0	0.1	13.2	5.4	41.2	324.5	-7.0	-44.7
Source de Servanne	19/05/2016	972.0	6.9	15.5	115.8	2.0	28.2	12.8	9.4	0.7	18.9	3.2	163.0	295.2	-9.0	-61.9
Fontaine Mourières 1	25/02/2016	688.0	6.8	15.9	112.7	1.1	14.6	14.0	4.8	0.1	23.0	10.3	95.7	286.0	-9.5	-66.4
Fontaine Mourières 2	18/05/2016	871.0	7.0	16.1	117.3	1.2	14.9	14.5	4.7	0.1	23.0	10.2	96.0	292.8		
Fontaine Mourières 3	14/06/2016	876.0	6.4	16.3	110.0	1.1	14.0	13.9	4.6	0.1	22.9	10.2	94.5	297.7	-9.6	-66.4
Nappe Crau	moyenne 2016	705.2	6.7	16.7	118.1	1.4	12.1	15.5	10.5	0.1	21.9	8.4	106.9	296.0	-9.7	-67.8
Canal irrigation	moyenne 2016	480.5	8.2		72.9	1.2	11.9	10.9	3.8	0.1	14.6	2.2	87.7	181.0	-10.9	-78.2
Pluie	moyenne 2009														-6.0	-39.8

Tab. 1 Analyses chimiques et isotopiques (isotopes stables moyens des eaux de la nappe de la Crau, du canal d'irrigation et de la pluie selon Séraphin P. 2016, chimie moyenne de la nappe selon SYMCRAU 2017)

Des corrélations peuvent être établies entre différentes espèces chimiques (Fig. 4 et annexe 2) : entre K^+ , Mg^{2+} et SO_4^{2-} , entre Na^+ et Cl^- , ainsi qu'entre Ca^{2+} et HCO_3^- . Ceci indique des processus de mélanges entre les différentes eaux. Une analyse à composante principale montre la proximité de la signature chimique des eaux de la nappe de la Crau avec celles des Fontaines de Mourières. A contrario, les eaux de Servanne, des canaux d'irrigation et du gaudre du Destet se distinguent nettement (Fig 5).

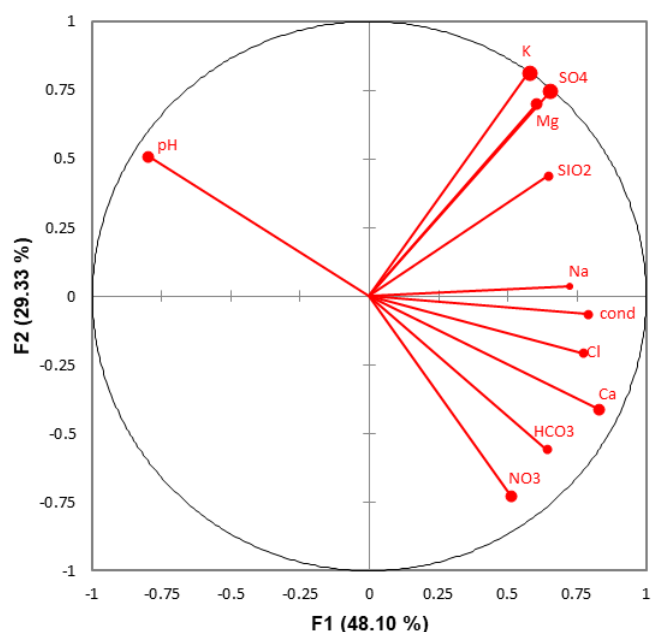


Fig. 4 Cercle des corrélations

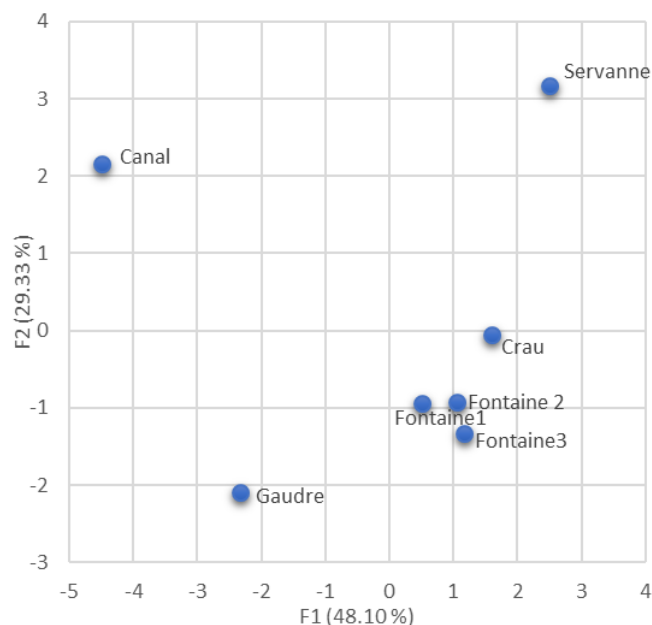


Fig. 5 Analyse en composante principale

La figure 6 montre que les teneurs isotopiques s'alignent selon la droite météorologique mondiale, ce qui signifie que les eaux ne subissent pas de processus évaporatoires significatifs. Les eaux présentent des signatures isotopiques contrastées. Ainsi, le gaudre du Destet se rapproche de la signature des eaux de pluies relevées localement tandis que les eaux de la nappe de la Crau et des Fontaines de Mouriès se rapproche des valeurs mesurées dans les canaux d'irrigation.

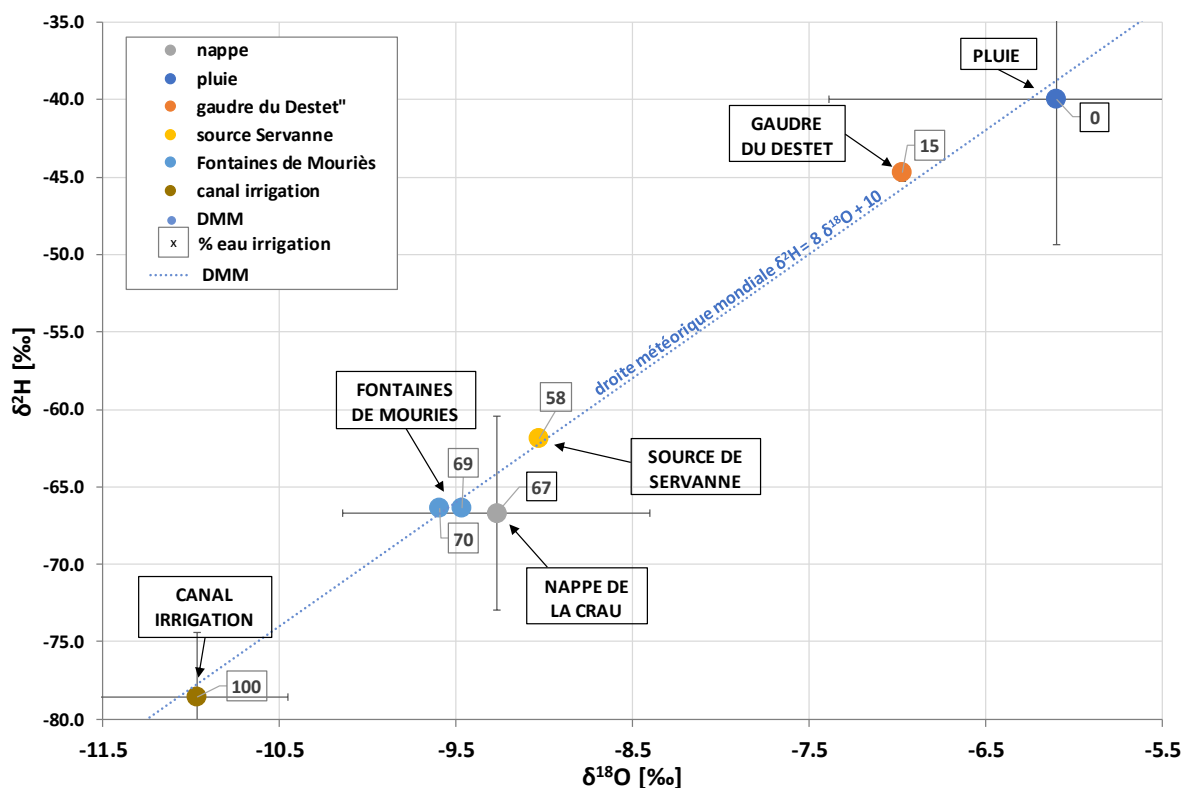


Fig. 6 Isotopes stables des eaux échantillonnées

En faisant comme hypothèse l'existence de deux pôles d'alimentation des aquifères, d'une part les précipitations locales et d'autre part les eaux d'irrigation, il est possible de calculer l'influence des eaux d'irrigation pour chaque point d'échantillonnage, comme cela a été effectué dans les travaux de Séraphin P (2016). Ainsi, la signature isotopique au gaudre du Destet se situe dans la marge d'erreur des signaux isotopiques de la pluie. Cela signifie que ce point est largement tributaire des précipitations. A l'inverse, les eaux de la nappe de la Crau sont constituées à 67% d'une eau d'eau issue de l'irrigation. Il est intéressant de constater que les eaux des Fontaines de Mouriès ont une signature isotopique très proche de celle de la nappe de la Crau et que l'eau de la source de Servanne semble fortement influencée par des eaux d'irrigation.

Ainsi l'analyse isotopique montre d'une part l'influence des eaux d'irrigation sur le système des Fontaines de Mouriès et sur les eaux captées de Servanne. Pour la source de Servanne, il est improbable que l'eau soit influencée par des apports de la nappe de la Crau. Par contre, il est probable que le canal d'irrigation de la Vallée des Baux, qui se situe à environ 1 km au nord du captage, alimente en partie cette source. Ceci indique d'une part une alimentation par l'eau d'irrigation, soit par pertes dans le canal soit indirectement via les cultures irriguées, et d'autre part la vulnérabilité de la qualité des eaux de la source alimentant Mouriès en cas de pollution dans le canal ou sur les terres agricoles.

La signature isotopique des Fontaines de Mouriès, stable dans le temps et très proche de celle de la nappe de la Crau, renforce l'hypothèse d'une alimentation principale par la nappe la Crau. Cependant, l'influence des eaux d'irrigation sur les nappes du système Alpilles, mise en évidence dans la source de Servanne, ne permet pas d'exclure tout à fait un apport Alpilles dans le système des Fontaines de Mouriès.

Conclusions et perspectives

Cette étude constitue une première analyse des processus d'alimentation des Fontaines de Mouriès. Un faisceau d'indices, tant physiques que chimiques et isotopiques, tend à démontrer la dépendance des Fontaines de Mouriès aux apports de la nappe de la Crau. Cependant, l'étude n'a pas permis de démontrer l'absence d'apport en provenance d'un aquifère plus profond, dont le bassin versant serait le massif des Alpilles. La zone de drainance de ce système reste encore à déterminer.

Les analyses isotopiques ont fait émerger l'hypothèse d'une alimentation significative de la source de Servanne par le canal d'irrigation, soit directement par pertes dans le canal, soit indirectement via les terres irriguées. Cette source présente des teneurs en sulfates, potassium et magnésium dont l'origine devrait être étudiée. La gestion qualitative et quantitative de cette ressource en eau potable pour la commune de Mouriès demanderait donc de mieux connaître les processus de recharge dans la zone de capture.

Afin de mieux comprendre les interactions complexes entre les systèmes aquifères du secteur de la Vallée des Baux, il est préconisé de poursuivre le suivi des débits aux sources, ainsi que les investigations chimiques et isotopiques dans des points intermédiaires des systèmes aquifères, comme les captages de Mouriès situés au niveau de la station d'épuration et celui localisé près de la station de traitement de l'eau potable (Annexe 1). Ceci permettrait de suivre l'évolution des faciès chimiques et isotopiques des eaux le long des lignes d'écoulement souterrains de l'aquifère du Crétacé supérieur du synclinal du Destet, précisant les relations que ces aquifères profonds pourraient avoir avec la ligne de sources observées en bordure sud de la Vallée de Baux.

Remerciements

Les auteurs remercient Mme et M. Pierre pour les avoir à maintes reprises accueillis dans le parc des Fontaines de Mouriès. Ils remercient également la mairie de Mouriès pour l'intérêt manifesté dans cette étude et pour la visite des installations communales d'alimentation en eau potable. Enfin, ils remercient le Centre d'Hydrogéologie et de Géothermie de l'Université de Neuchâtel (CHYN) pour les analyses isotopiques et l'Université de Franche-Comté pour les analyses chimiques.

Bibliographie

Barruol G, Fustier-Dautier N. 2009 *Les Alpilles encyclopédie d'une montagne provençale* Edition Alpes de Lumière 347 pp.

BRGM 1977 Carte géologique 1/50000 d'Eyguières + notice explicative 31 pp.

PNR Alpilles 2010 *Etat des lieux de la connaissance de l'eau sur le territoire du Parc Naturel Régional des Alpilles* Rapport 2010 177 pp.

Ros L. 2016 *Interactions eaux souterraines – eaux de surface des milieux humides naturels : étude des résurgences de la nappe de la Crau sur le site Natura 2000 des « trois marais »* - Mémoire de fin d'étude, Master de Géologie appliquée, Université de Franche-Comté 56 pp.

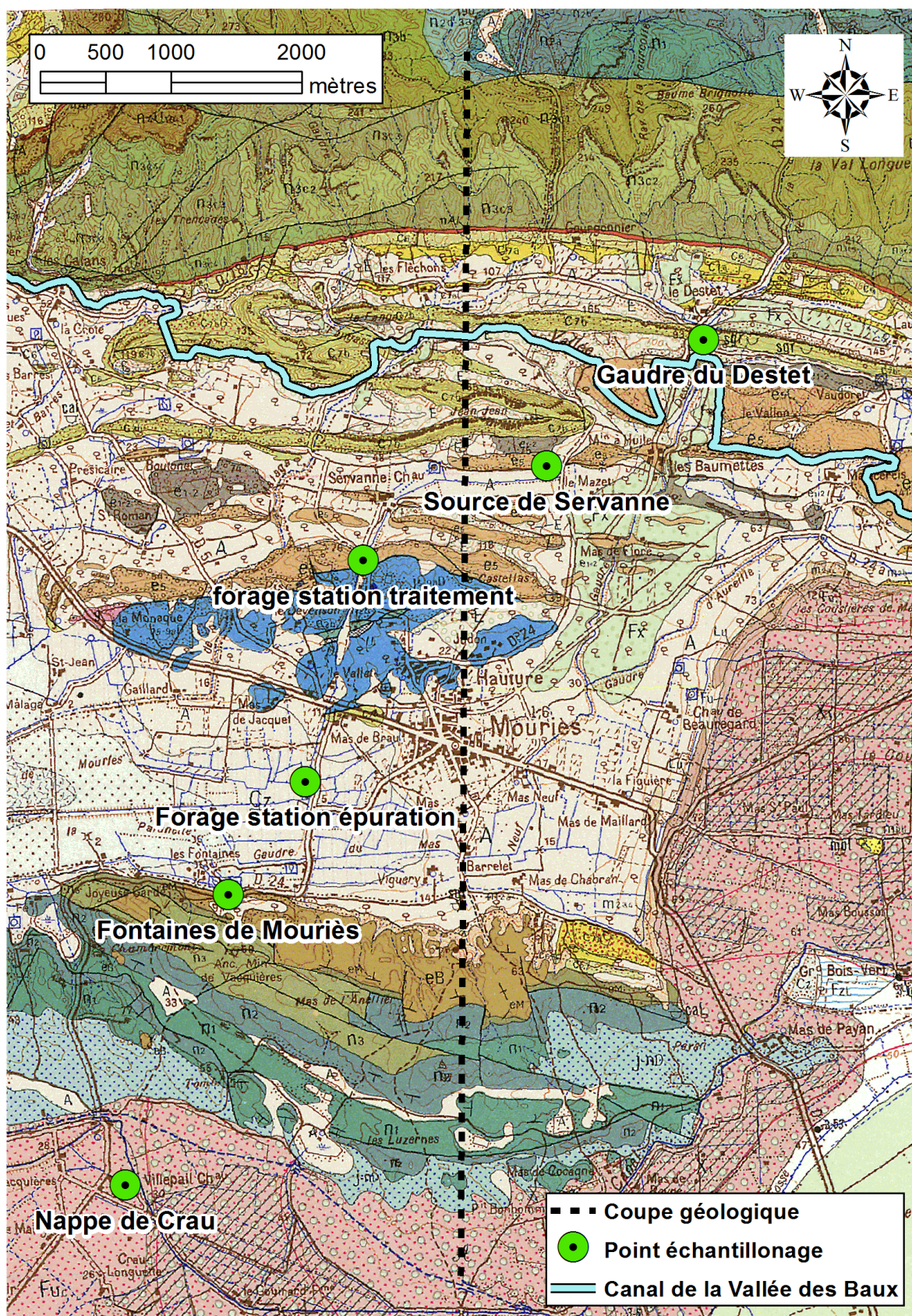
Schwartz T. 2010 *Plan de gestion du polder de Joyeuse Garde – Volet 1 : Diagnostic du site* Etude A ROCHA / PNR Alpilles 41 pp.

Séraphin P. 2016 *Contribution du traçage isotopique ($\delta^{18}\text{O}$ et δD) à la compréhension et à la modélisation hydrogéologique de la nappe de la Crau* Thèse de doctorat Université d'Aix-Marseille 260 pp.

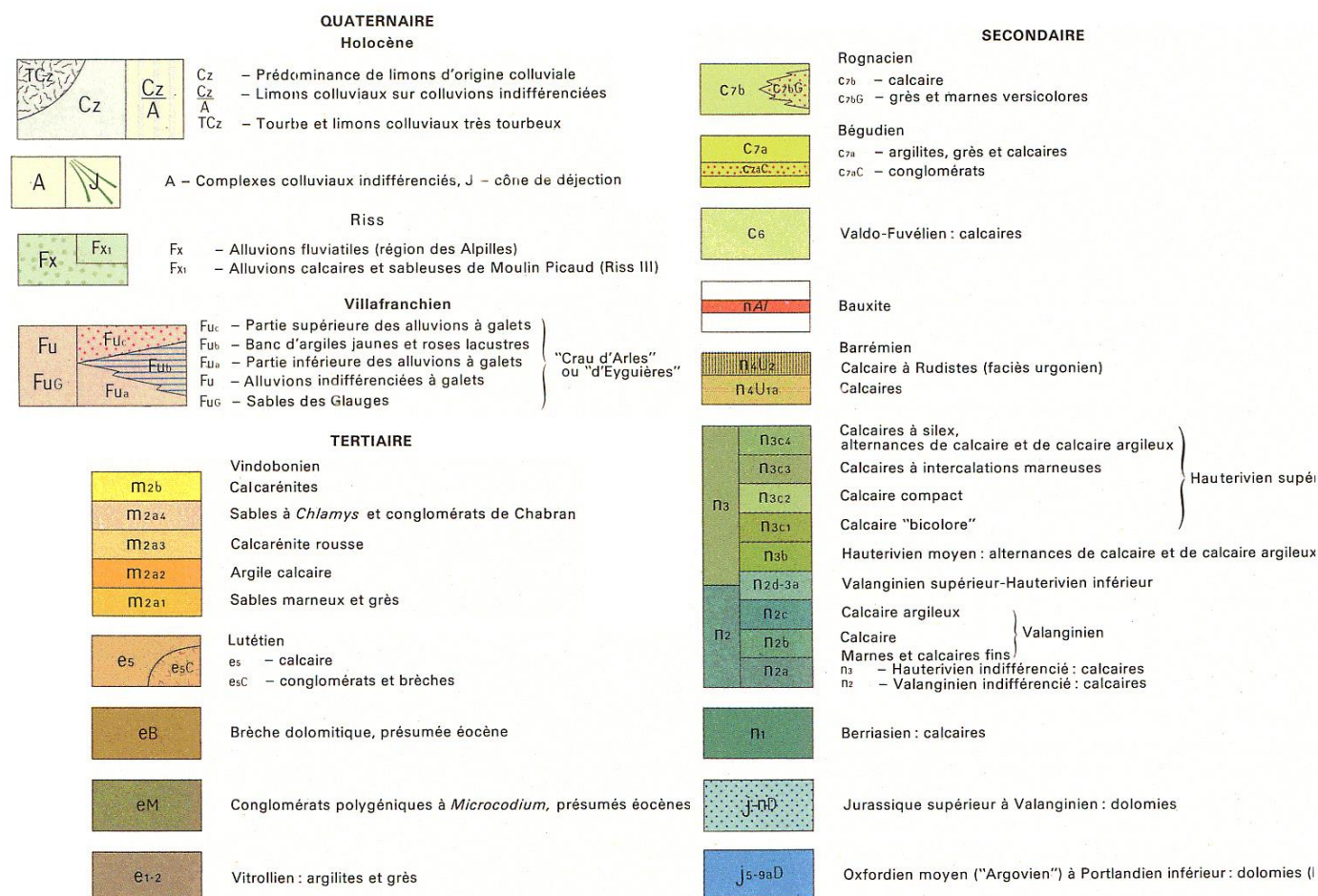
SYMCAU 2017 *Bulletin sur l'état qualitatif des eaux de la nappe de la Crau Année 2016* 24 pp.

ANNEXE 1

Extrait de la carte géologique 1/50000 d'Eyguières (1977) et points d'échantillonnage
(légende de la carte page suivante)



Extrait de la légende de la carte géologique 1/50 000 d'Eyguières (BRGM 1977)



ANNEXE 2

Analyse en composantes principales

Variables	cond	pH	Ca	K	Mg	Na	SIO2	Cl	NO3	SO4	HCO3
cond	1	-0.712	0.765	0.395	0.598	0.244	0.324	0.398	0.277	0.452	0.739
pH	-0.712	1	-0.869	-0.051	-0.137	-0.444	-0.331	-0.628	-0.699	-0.134	-0.868
Ca	0.765	-0.869	1	0.139	0.236	0.404	0.455	0.541	0.590	0.196	0.936
K	0.395	-0.051	0.139	1	0.916	0.452	0.738	0.279	-0.297	0.986	-0.089
Mg	0.598	-0.137	0.236	0.916	1	0.306	0.514	0.262	-0.244	0.935	0.064
Na	0.244	-0.444	0.404	0.452	0.306	1	0.485	0.933	0.634	0.543	0.106
SIO2	0.324	-0.331	0.455	0.738	0.514	0.485	1	0.273	-0.091	0.685	0.270
Cl	0.398	-0.628	0.541	0.279	0.262	0.933	0.273	1	0.820	0.410	0.303
NO3	0.277	-0.699	0.590	-0.297	-0.244	0.634	-0.091	0.820	1	-0.163	0.503
SO4	0.452	-0.134	0.196	0.986	0.935	0.543	0.685	0.410	-0.163	1	-0.047
HCO3	0.739	-0.868	0.936	-0.089	0.064	0.106	0.270	0.303	0.503	-0.047	1

Matrice de corrélation

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
cond	0.792	-0.065	-0.462	-0.340	0.005	0.200
pH	-0.797	0.508	0.154	-0.037	0.281	0.047
Ca	0.829	-0.412	-0.294	0.128	0.191	-0.057
K	0.577	0.816	0.007	0.014	-0.020	-0.006
Mg	0.604	0.702	-0.177	-0.312	0.032	-0.113
Na	0.725	0.035	0.675	0.094	0.041	0.081
SIO2	0.646	0.438	-0.089	0.617	-0.013	0.049
Cl	0.774	-0.208	0.583	-0.134	0.004	-0.022
NO3	0.513	-0.728	0.442	-0.101	0.032	-0.029
SO4	0.653	0.747	0.082	-0.087	-0.023	-0.040
HCO3	0.642	-0.559	-0.512	0.093	0.044	-0.053

Corrélations entre les variables et les facteurs

Syndicat mixte de gestion de la nappe phréatique de la Crau

20 Cité des Entreprises ZI du Tubé

13800 ISTRES

04.42.56.64.86 / contact@symcrau.com

www.symcrau.com