



Syndicat Mixte de gestion
de la nappe phréatique de la Crau

Dossier technique n° 3

-

Étude de la qualité des eaux souterraines dans le secteur d'Entressen



L'étang d'Entressen



Les vergers et la voie ferrée



Le CSD de la Crau



Le canal de liaison de l'étang d'Entressen à l'étang de
l'Olivier

Titre : Étude de la qualité des eaux souterraines dans le secteur d'Entressen

Date : Janvier 2018

Auteurs : Villesseche D., Baillieux A., Alcazar C.

**Avec le soutien
technique et
financier de :**



**Agence de l'eau
RMC**

Région



Provence-Alpes-Côte d'Azur

Région PACA



CEREGE

Cadre et objectifs de l'étude

Le SYMCRAU gère un réseau de suivi patrimonial de la qualité des eaux de la nappe de la Crau depuis 2011. Malgré le classement de la masse d'eau en « bon état chimique », des anomalies qualitatives locales soulignent la vulnérabilité des eaux souterraines vis-à-vis des micropolluants organiques (hydrocarbures, pesticides) et minéraux (éléments traces métalliques).

Les anomalies constatées sur la nappe sont généralement ponctuelles et/ou spécifiques d'un type de polluant, hormis sur la station 09937X0157/QUALI5 (Q5) située dans le secteur d'Entressen. Plusieurs facteurs potentiels d'altération de la qualité des eaux souterraines s'y concentrent : présence du Centre de Stockage des Déchets (CSD) de la Crau, de grandes plantations arboricoles, de l'utilisation de l'étang d'Entressen (classé en mauvais état au titre de la DCE) comme réserve d'eau pour les irrigations gravitaires.

Cette étude vise à estimer les impacts respectifs de ces pressions sur la qualité des eaux souterraines dans le secteur d'Entressen.

Site d'étude et méthodes d'investigation

Le point Q5 est située à l'est du village d'Entressen (commune d'Istres), entre l'étang d'Entressen et le CSD de la Crau (Fig. 1).

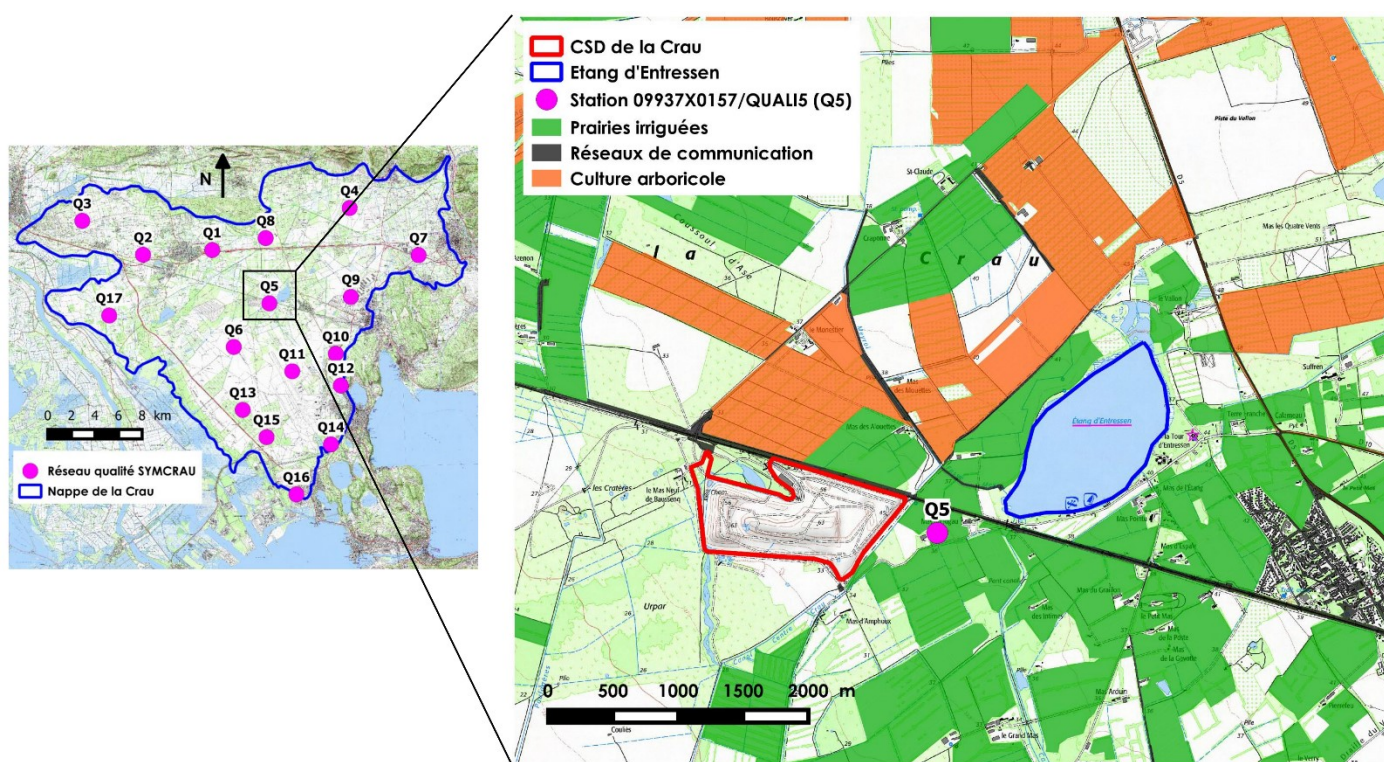


Fig. 1 Localisation du site d'étude, de l'occupation des sols, de l'étang d'Entressen, du CSD de la Crau et du point Q5 sur un fond de carte IGN au 1/ 25 000.

L'étang d'Entressen est un plan d'eau libre de 92 ha dont le fonctionnement hydrologique est principalement contrôlé par les interactions avec la nappe de la Crau, par les apports d'eaux provenant des canaux d'assainissements et d'arrosages et les précipitations locales. Il est utilisé comme réservoir à partir duquel sont soutirés les besoins en eau pour l'irrigation des prairies incluses dans le périmètre de l'ASA des arrosants de l'étang d'Entressen. L'état écologique et les paramètres physico-chimiques généraux place l'étang dans la catégorie des plans d'eau eutrophe à hypereutrophe (Agence de l'eau RMC, 2013).

Le CSD de la Crau fut le réceptacle des ordures de la ville de Marseille, puis de la communauté urbaine, pendant près d'un siècle (1912 – 2010). A l'aval du site, l'aquifère contient un panache de pollution qui fait l'objet d'un suivi réglementaire. Ce panache est caractérisé par de très fortes teneurs en chlorures, en sulfates et en matières organiques. On constate en outre la présence significative d'azote ammoniacal, de fer et de manganèse sous forme dissoute (Fe^{2+} , Mn^{2+}). Ce panache est transporté selon la direction principale d'écoulement de la nappe dans cette zone, du nord-est vers le sud-ouest.

L'occupation des sols est à dominante agricole sur l'emprise du site d'étude : de grandes cultures arboricoles (pêcher) occupe l'espace au nord de l'étang, tandis que les prairies de foin Crau domine au sud. L'eau utilisée pour l'irrigation des vergers provient de l'exploitation de la nappe des cailloutis grâce à un réseau de captage. Comme évoqué précédemment, les prairies du secteur sont irriguées gravitairement grâce à des pompes installées au droit de l'étang.

D'un point de vu géologique, le secteur d'étude est situé à l'interface entre les deux faciès de la « jeune Crau » (Crau du Luquier, Riss ; Crau de Miramas, Würm). Les cailloutis reposent sur un substratum constitué par les marnes montmorillonitiques plastiques rouges et jaune à passées limoneuses et sablo-gréseuses du miocène moyen (helvétien). Au nord et au sud-est de l'étang d'Entressen les cailloutis rissiens de la Crau de Miramas sont localement recouvert de colluvions limoneuses (sols noirs hydromorphes) liés à des variations holocènes du niveau des nappes dans la cuvette d'Entressen (notice explicative de la feuille d'Eyguières). La carte géologique au 1/50 000 ne considère pas l'affleurement des cailloutis pourtant bien présent sur des épaisseurs de l'ordre du mètre, donc potentiellement important du point de vue hydrogéologique, sur le pourtour de l'étang d'Entressen (Fig. 2). Le « dépotoir de Marseille » (CSD) s'étend à présent vers l'ouest comme indiqué sur la figure 1.



Figure 2 : Extrait de la carte géologique au 1/50 000, feuille d'Eyguières (à gauche). Affleurements des cailloutis de la Crau, surmontant les marnes rouges sur la rive sud de l'Étang d'Entressen au lieu-dit « La Chrysalide » (à droite)

Les micropolluants retrouvés sur le point Q5 sont corrélés d'une part avec ceux retrouvés en aval du CSD de la Crau (type « hydrocarbures » et anomalies sur les éléments traces métalliques) et d'autre part avec ceux retrouvés dans l'étang (type « pesticides »). Ce dernier point attire également l'attention sur l'impact potentiel des pratiques d'une agriculture intensive (grandes cultures arboricoles) dans le secteur. Enfin, l'utilisation des eaux de l'étang d'Entressen, dont les paramètres physico-chimiques sont dégradés, à des fins d'irrigations des cultures extensives (foin de Crau) posent la question de l'impact de ce transfert d'eaux sur la qualité générale de la nappe dans ce secteur.

Les méthodes d'investigations sont basées sur trois axes distincts mais largement complémentaires :

▪ **Réalisation d'une carte piézométrique à l'échelle du site d'étude**

La compréhension et l'interprétation des concentrations en éléments dissous mesurées dans les eaux souterraines nécessite une connaissance fine des directions d'écoulements à l'échelle locale. Ceci est d'autant plus important que le secteur d'Entressen concentre plusieurs sources potentielles de pollution qu'il est important de pouvoir retracer, en limitant les incertitudes. Une bonne connaissance de la situation piézométrique permettra en outre de positionner les points d'échantillonnages au regard des différentes pressions supposées (amont – aval) afin d'en évaluer les impacts.

▪ **Analyse temporelle des données physico-chimique sur Q5 (2011 – 2016)**

L'analyse détaillée du jeu de données disponible sur le point Q5 permettra de cerner les processus principaux qui affectent la qualité des eaux souterraines à l'échelle annuelle et saisonnière. En effet, les paramètres physico-chimiques qui décrivent les eaux souterraines affectées par une pollution peuvent présenter une variabilité importante. Il conviendra donc de bien saisir cette variabilité afin de ne pas écarter trop hâtivement des hypothèses concernant les résultats qui seront obtenus suite à la campagne spatiale, de nature ponctuelle.

▪ **Distribution spatiale de la qualité des eaux souterraines à l'échelle du site d'étude**

Les indicateurs de la pollution des eaux souterraines sont dépendants des facteurs d'altérations potentiels de la nappe. L'impact négatif des pratiques agricoles sur les ressources en eaux souterraines est généralement caractérisé par des concentrations élevées en nitrates et par la présence de pesticides. Les lixiviats de décharge sont susceptibles de faire naître un panache de pollution marqué par des teneurs élevées en chlorures, la mise en place d'une zone réduite en lien avec la dégradation de la matière organique, et la présence de nombreux micropolluants (métaux lourds, COV). D'après les suivis RCS de l'Agence de l'eau RMC, les eaux de l'étang d'Entressen sont marquées par des concentrations importantes en carbone organique dissous (COD), de faibles concentrations en nitrates (voire nulle) et la présence significative de phosphates par rapport aux eaux de la nappe. Les points de prélèvements ont été définis afin de :

- disposer d'échantillons amont / aval des zones agricoles et du CSD,
- disposer d'échantillons qui permettent de caractériser la qualité des eaux souterraines qui alimentent l'étang d'Entressen,
- disposer d'échantillons qui permettent de caractériser la qualité des eaux souterraines dans les secteurs où l'irrigation est réalisée avec les eaux de l'étang

Figure 4 : Carte piézométrique produite par triangulation à partir de 45 points d'observations au mois de mars 2017. Pas pris en compte charge de l'étang.

Analyse temporelle des données physico-chimique sur Q5

Contrairement au piézomètre situé à l'amont de l'étang (code BSS 09937X0134/P19T, isopièze 44 m NF sur la Fig. 4, chronique présentée en annexe 1) qui réagit fortement aux pratiques d'irrigations et présente des cycles annuels (annexe 1), les niveaux de la nappe à l'aval de l'étang sur le point Q5 présentent des cycles à tendances interannuelles, majoritairement contrôlés par les pluies (fig. 5).

Les irrigations gravitaires semblent néanmoins induire des hausses de niveaux entre les mois d'avril et d'octobre (e.g 2012, 2015). La fréquence des relevés piézométriques ne permet pas de décrire plus finement l'hydrodynamique locale. Ils ont donc été croisés avec l'évolution de la conductivité électrique (CE) et des concentrations en chlorures sur les mêmes périodes. La période de hautes eaux entre avril 2012 et avril 2015 est marquée par des faibles valeurs relatives de conductivités électriques et des concentrations en chlorures. À contrario, les valeurs augmentent en période de basses eaux. L'évolution de EC et des chlorures, qui sont des paramètres conservatifs, peut être reliée à la dilution entre les eaux souterraines locales, très chargées, avec des eaux peu minéralisées.

L'augmentation synchrone en carbone organique et de nitrates (fig.5) exclue les possibilités que les nitrates proviennent de la dégradation de la matière organique comme c'est le cas au sein de la nappe des cailloutis non influencé par les pressions anthropiques (annexe 2). On observe, d'avril à octobre, le déroulement d'un processus de dénitrification qui conduit à la mise en place de conditions réductrices au sein de la nappe. L'activité bactérienne provoque la dégradation de la matière organique par dénitrification hétérotrophe ce qui conduit à une baisse rapide de la concentration en NO_3^- et une hausse des concentrations en Mn^{2+} et Fe^{2+} en phase aqueuse. Cette séquence redox est permise par les faibles teneurs en oxygène dissous (4mg/L en moyenne) et NO_3^- , ainsi que la présence non limitante d'oxydes de fer et de manganèse au sein de la formation aquifère. L'épandage de fertilisants non stabilisés pourrait expliquer l'augmentation synchrone en matière organique et en nitrates.

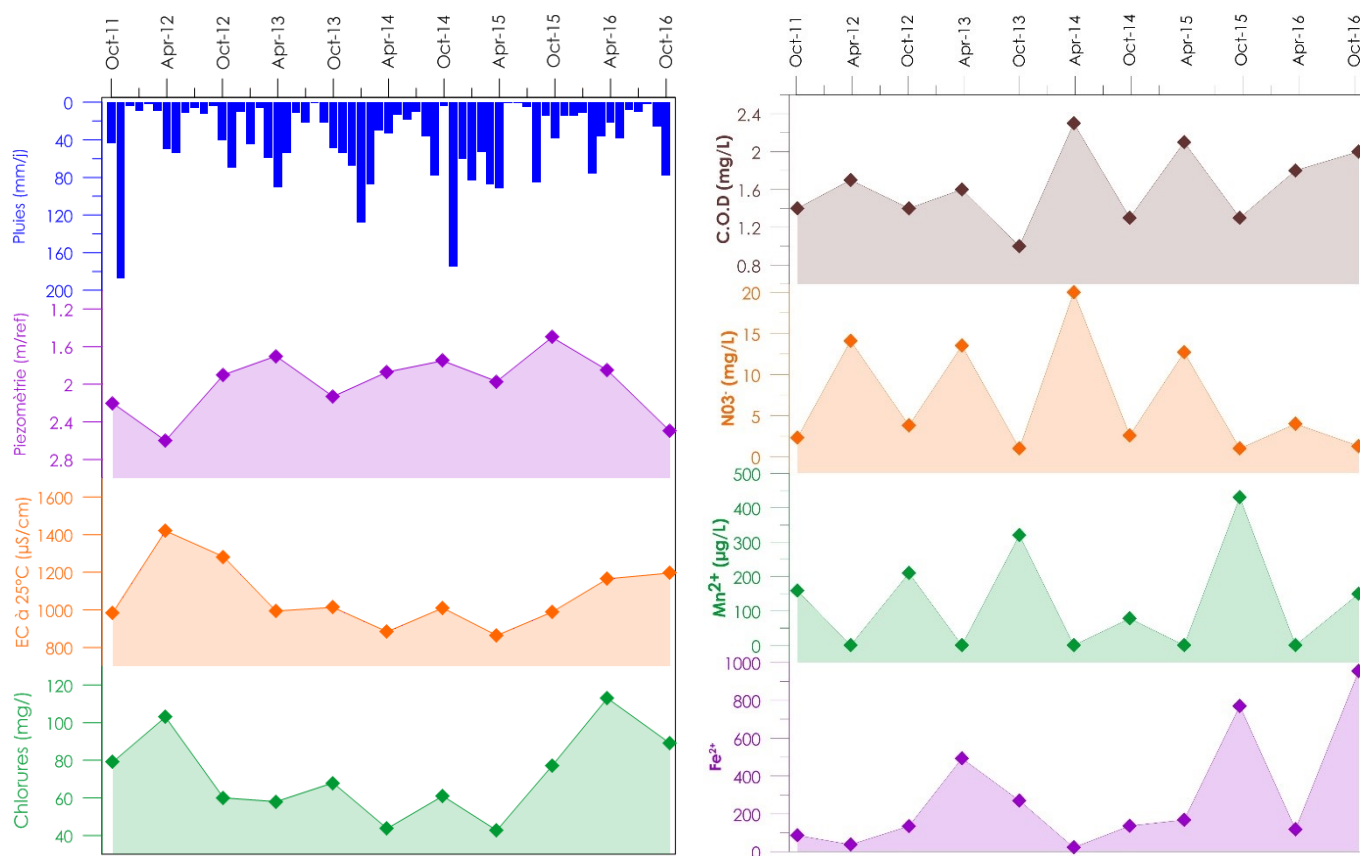


Figure 5 : Évolution temporelle des principaux facteurs physiques et chimiques entre 2011 et 2016 sur le point 09937X0157/QUALI5.

Les valeurs de EC et de chlorures sont très élevées au regard du fond géochimique naturel de l'aquifère des cailloutis, et pourraient être simplement rattachées à la dispersion du panache depuis la décharge. Cela expliquerait également la présence de HAP sur Q5. Cependant plusieurs observations remettent en cause cette hypothèse :

- La carte piézométrique place cependant ce point à 35 m NGF, nettement en amont hydraulique du panache qui s'écoule depuis le CSD (à 30 m NGF).
- Les investigations géophysiques réalisées par Naudet et al, 2003 ont démontré qu'il s'agit d'une zone de très faible résistivité électrique (Fig. 6).
- Les photographies aériennes d'archives témoignent de la disparition, entre 1965 et 1971, d'une zone humide entre le CSD et le point Q5 (annexe 3).

Sur la base de ces observations, il est donc possible de conclure que le fond géochimique de ce point est très fortement influencé par les matériaux qui auraient été utilisés pour combler la zone humide, sur lequel semble se surimposer l'impact de pratiques d'épandage non-conforme, dans une zone de très faible taux de renouvellement des eaux souterraines.

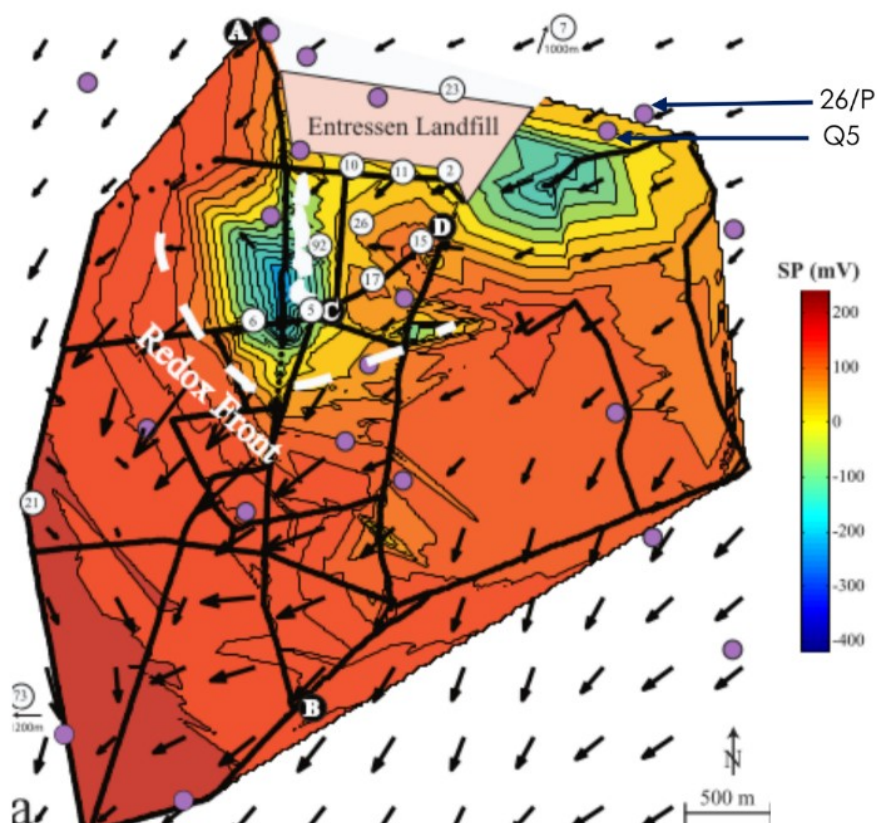


Figure 6 : Carte des résistivités électriques obtenues par la méthode des potentiels spontanés. SP = Potentiel spontané (exprimé en mV). Modifié d'après Naudet et al, 2003

La fréquence de quantification globale en micropolluants sur le point Q5 est de 60% entre 2011 et 2016 (11 prélèvements). Les HAP, régulièrement quantifiés entre 2011 et 2016 sur Q5, sont des composés systématiquement retrouvés au sein du panache qui s'écoule à l'aval du périmètre actuel du CSD. Le glyphosate et l'AMPA, son métabolite, sont régulièrement quantifiés dans les échantillons à des concentrations pouvant atteindre 0,1 µg/L.

Au regard de la répartition des charges hydrauliques et de la remontée locale du substratum miocène la présence de glyphosate et d'AMPA ne peut pas être mis en relation avec les grandes cultures arboricoles. Le glyphosate a été commercialisé à partir 1974, il est donc possible d'écarter les remblais de la zone humide (réalisé avant 1971) comme source potentielle. Le désherbage de la ligne de chemin de fer située à 100 mètres en amont hydraulique est réalisée grâce à l'épandage massif d'herbicide contenant du glyphosate, qui est très probablement à l'origine de leurs présences dans les eaux souterraines de ce secteur.

Date	Paramètre	Famille	Concentration [µg/L]
oct.-11	Naphtalène	HAP (COV)	0,053
oct.-12	Fluoranthène	HAP (COV)	0,011
sept.-13	Glyphosate	Herbicide	0,103
sept.-13	AMPA	Sous-produit	0,05
mars-14	AMPA	Sous-produit	0,022
sept.-15	Fluoranthène	HAP (COV)	0,021
sept.-15	Anthraquinone	HAP (COV)	0,007
févr.-16	Diclofop-méthyl	Herbicide	0,02
févr.-16	Fluoranthène	HAP (COV)	0,006
févr.-16	Dichlorophenol-2,4	COHV	0,11
oct.-16	Fluoranthène	HAP (COV)	0,018
oct.-16	Pentachlorophénol	COHV	0,033
oct.-16	AMPA	Sous-produit	0,054

Tableau 1 : Quantification des micropolluants présents dans les échantillons prélevés entre 2011 et 2015 sur le point 09937X0157/QUALI5.

Distribution spatiale de la qualité des eaux souterraines

La campagne spatiale a porté sur 10 points de prélèvements, échantillonnés en juin 2017. La distribution (fig. 7) spatiale permet de représenter les impacts potentiels sur la qualité des eaux souterraines des activités visées dans le contexte (arboriculture, CSD), de caractériser les eaux souterraines qui alimentent l'étang et de disposer d'une station (Mas Espale) au droit d'une prairie irriguée avec les eaux de l'étang.

L'analyse en composante principale est particulièrement utile pour regrouper statistiquement des individus à partir des séries de données complexes qui les caractérisent. Dans le cadre de cette étude, les dix stations d'observations ont été traitées en retenant les ions majeurs et le COD comme variables. Les micropolluants n'ont pas été intégrés à cette ACP¹, ces résultats sont valorisés à posteriori pour discuter le classement établi.

La majorité des variables chimiques traitées sont fortement corrélées avec le premier facteur qui représente la minéralisation totale des échantillons, à l'exception des ions nitrates et fluorures qui sont anti-corrélés (Fig. 8). Le second facteur permet d'opposer d'une part les échantillons dont la composition chimique révèlent généralement une pollution (Cl, COD, NH₄), et d'autre part ceux dont les compositions sont principalement contrôlées par la composition initiale des eaux de recharge (SO₄²⁻), l'altération hydrochimique de l'encaissant (SiO₂) et les conditions d'équilibres physico-chimiques au sein de l'aquifère (HCO₃⁻). Le cosinus carré de la variable SO₄ présente des valeurs équivalentes sur les deux axes, traduisant ainsi le fait que ce paramètre peut s'expliquer à la fois par la composition des eaux de recharge, mais également par une pression de pollution.

¹ Une ACP intégrant l'ensemble des paramètres a été réalisé. Le classement obtenu est identique. Il est présenté dans l'annexe 3.

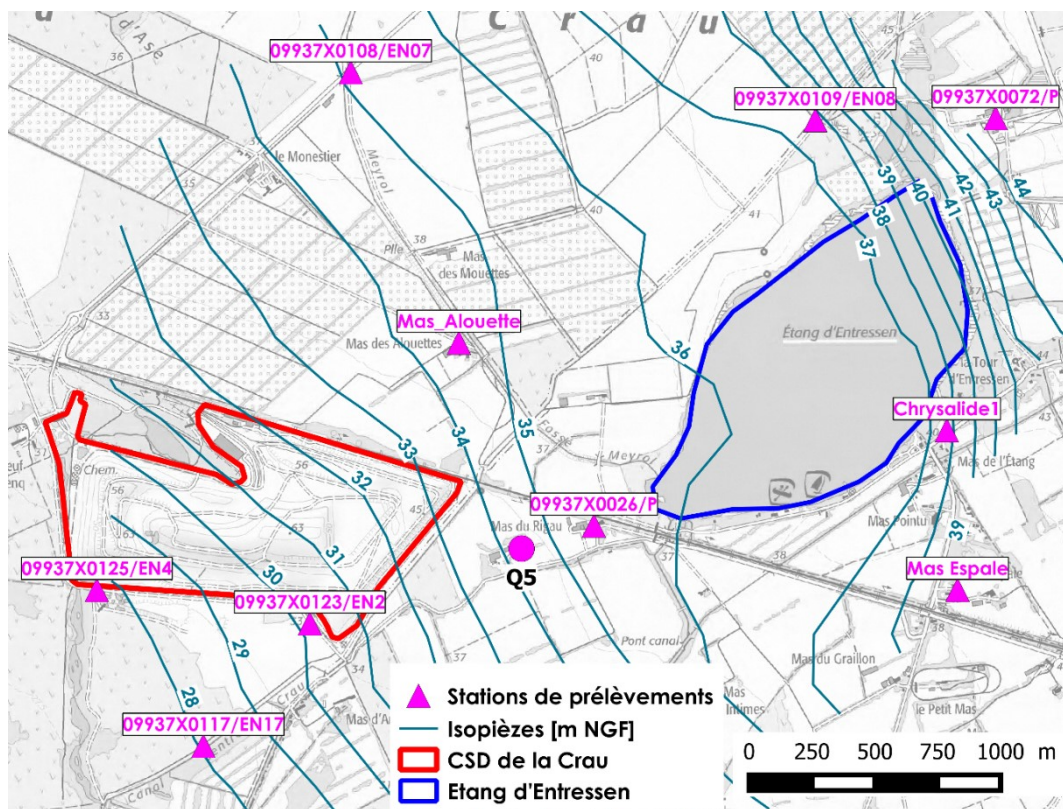


Figure 7 : Localisation des stations de prélèvements de la campagne spatiale de juin 2017. Les isopièzes présentées sont celles de mars 2017.

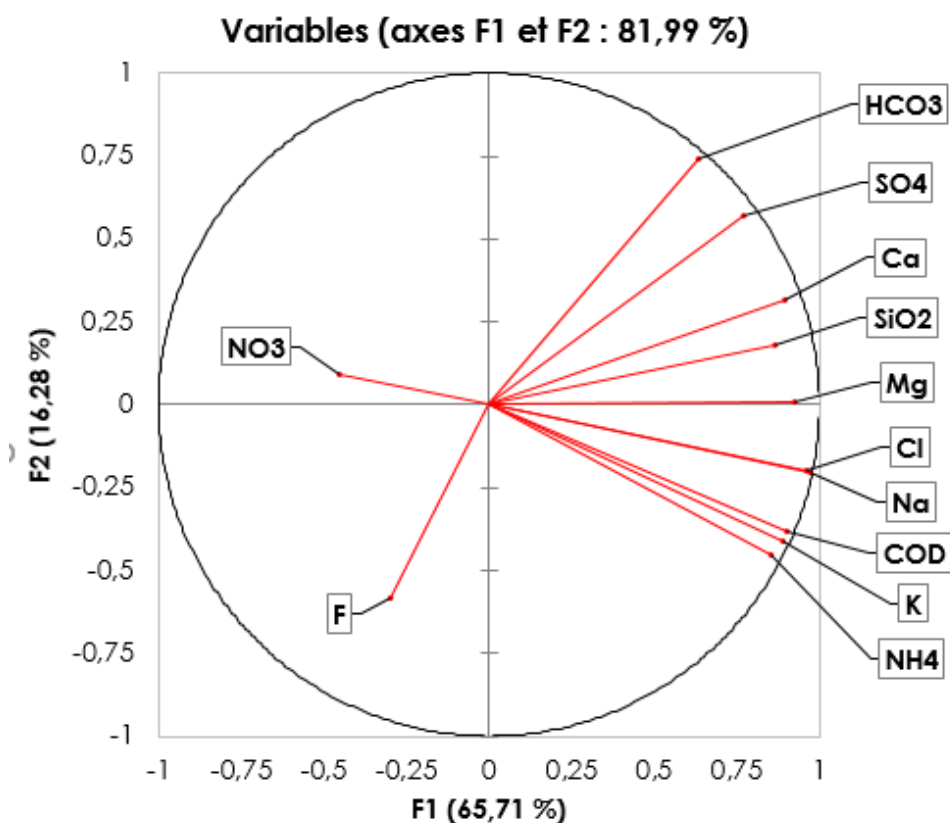


Figure 8 : Projection des variables sur le plan des facteurs F1 et F2, représentant 82% de la variance totale

La projection des stations selon les deux axes principaux met en évidence un groupe constitué par les stations typiques de la nappe de la Crau, dont la composition chimique n'est pas ou peu influencée par des pollutions, naturelles ou anthropiques (Figure 9).

Ce groupe d'eaux, de faciès bicarbonaté calcique à tendance sulfatée, constitue la référence auxquelles peuvent être comparé les autres stations qu'il est proposé de distinguer en 3 sous-groupes :

- Les stations EN2 et EN4 présentent les mêmes coordonnées sur l'axe F2 ce qui témoignent d'une origine commune de la pollution sur ces deux stations. Le taux d'impact de cette pollution sur la minéralisation totale de l'eau est cependant différent (coordonnées sur l'axe F1). Le panache de polluants engendré par le CSD est beaucoup plus intense sur EN2 que sur EN4.
- Les stations *Mas Espale* et 26/P sont toutes les deux affectées par une pollution en matière organique dont la dégradation induit la mise en place de conditions réductrices qui expliquent d'une part les faibles concentrations en nitrates (absent sur Mas Espale), et d'autre part la présence significative de Fe^{2+} et Mn^{2+} . Comme le souligne leurs positions respectives sur l'axe F2, l'origine et/ou l'intensité de la pollution qui affectent la station 26/P est différente et/ou plus importante que sur *Mas Espale*, en raison de la grande différence de minéralisation totale des échantillons, deux fois plus élevée sur 26/P.
- La station 72/P ne peut pas être regroupé avec d'autres stations, les eaux y sont relativement peu minéralisées. Les faibles teneurs en SO_4 et HCO_3 peuvent s'expliquer par le fait que cette station n'intercepte pas l'aquifère des cailloutis mais les marnes sous-jacentes. La concentration atypique en fluorures de 6,57 mg/L mesurée sur cet échantillon peut s'expliquer par l'altération de la composition minéralogique des minéraux constitutif de l'horizon aquifère capté.

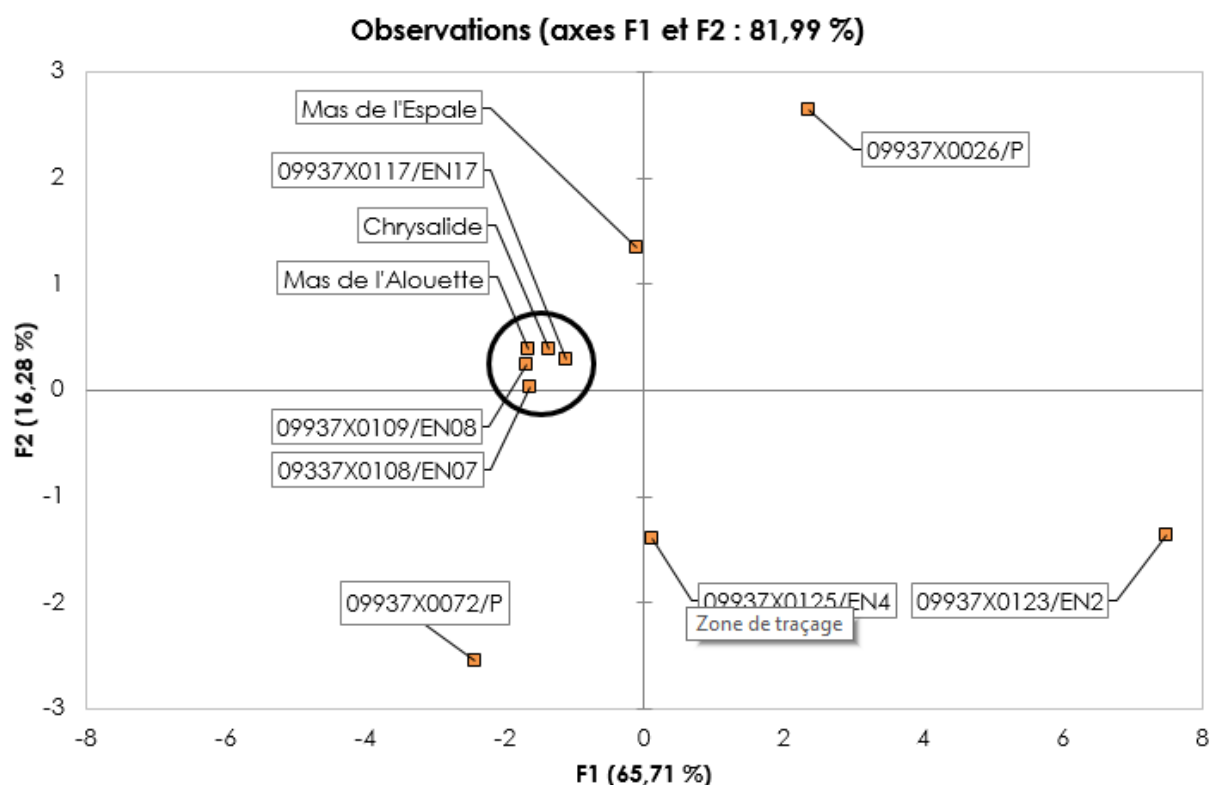


Figure 9 : Projection des stations sur le plan des facteurs F1 et F2, représentant 82% de la variance totale

La classification proposée ci-dessus est comparé aux résultats obtenus sur les micropolluants organiques (pesticides, BTEX, HAP), et sur les nitrates (tableau 2). Les chlorures sont également présentés afin de disposer d'un indicateur de pollution conservatif, et non affecté par les phénomènes d'adsorptions et de biodégradations.

	Σ Phyto ($\mu\text{g/L}$)	Σ BTEX ($\mu\text{g/L}$)	Σ HAP ($\mu\text{g/L}$)	NO3 (mg/L)	Cl (mg/L)
09937X0026/P	0,14 (n=1)	0	0	6,2	398
Mas Espale	0,02 (n=1)	0	0	0	34,2
09937X0072/P	0,01 (n=1)	0	0	10,9	113
Mas de l'Alouette	0,00	0	0	31,4	26,8
09937X0109/EN08	0,01 (n=1)	0	0,1	38,4	28,7
Chrysalide	0,00	0	0	12,7	23,2
09337X0108/EN07	0,00	0	0	9,8	19,6
09937X0123/EN2	2,24 (n=16)	4,279	2,5	0	1210
09937X0125/EN4	1,01 (n=11)	0	0,42	0	130
09937X0117/EN17	0,07 (n=2)	0	0,2	1,8	30,8

Tableau 2 : Synthèse des concentrations en micropolluants sur les 10 stations prospectées

Le point EN2, en aval direct du CSD, constitue bien le « hot spot » du panache de pollution, et au sein duquel on retrouve de manière synchrone des pesticides (16 molécules différentes, annexe 5), des HAP (tous excepté le Benzo(k)fluoranthène) et des BTEX (benzène et xylènes). Le point EN4, également situé en aval direct du CSD, est également affecté par le panache mais dans une moindre intensité. Les BTEX sont absents sur le EN4, les concentrations en pesticides et HAP y sont respectivement divisées par 2 et 5. Les nitrates sont absents de ces deux échantillons ce qui confirme les conditions fortement réductrices qui s'exercent dans l'aquifère à l'aval du CSD. Situé en aval de EN2, et bien qu'également soumis à des conditions réductrices comme en témoignent la faible concentration en NO3, la concentration en chlorure sur le point EN17 traduit une faible dispersion latérale du panache. Cela explique le fait de retrouver ce point parmi le groupe des stations de références pré-identifiée par l'ACP.

Les point 26/P et Mas Espale ne sont pas affectés par les micropolluants organiques comme c'est le cas en aval du CSD. Cependant l'AMPA est retrouvée sur les deux points, situés à proximité de la voie ferrée. Cette observation tend à soutenir l'hypothèse que le désherbage de la voie ferrée à l'aide de glyphosate provoque une contamination de la nappe phréatique par son métabolite (DT50 glyphosate \approx 200 jours).

Le point 26/P est soumis à une pollution très importante comme l'indique le taux de chlorures. La faible concentration en nitrates indique que la source contient de la matière organique, tout comme la station Q5 analysée en détails précédemment. Cette pollution ne pas s'expliquer par un flux actuel provenant du CSD. Dans une moindre mesure, le point Mas Espale traduit également une importante dégradation de la qualité des eaux souterraines. Selon la distribution des charges hydrauliques de la nappe, cela ne peut provenir ni du CSD, ni du point 26/P. En plus du CSD il existe donc, à minima, deux sources de pollutions géographiquement distinctes qui affectent la qualité de la nappe sur 26/P et Mas Espale. Sur ce dernier il n'est pas exclu que la pollution constatée puisse provenir de l'utilisation des eaux de l'étang d'Entressen comme source d'irrigation des prairies avoisinantes. La faible concentration relative en chlorures (34 mg/L) tend à soutenir le fait que la pollution ne provient pas d'un massif de déchets.

Le point 09937X0072/P présente des concentrations en chlorures supérieure à celle généralement observées au sein de la nappe de la Crau. La présence de NO3 à des concentrations naturelles confirme le fait qu'aucune pollution (fertilisants, matière organique) n'affecte cet échantillon. La présence d'un herbicide (mécocrop) indique cependant que des transferts de polluants depuis la surface vers les formations marneuses sont possibles.

Les résultats obtenus sur les NO₃ (Fig. 10) permettent d'extraire deux stations qui présentent des concentrations importantes par rapport au fond géochimique naturel : EN8 et Mas Alouette avec respectivement 38,4 et 31,4 mg/L. Près de quatre fois supérieures aux concentrations de références, ces deux échantillons témoignent de l'influence particulière des pratiques de fertilisation des grandes cultures arboricoles dans ce secteur.

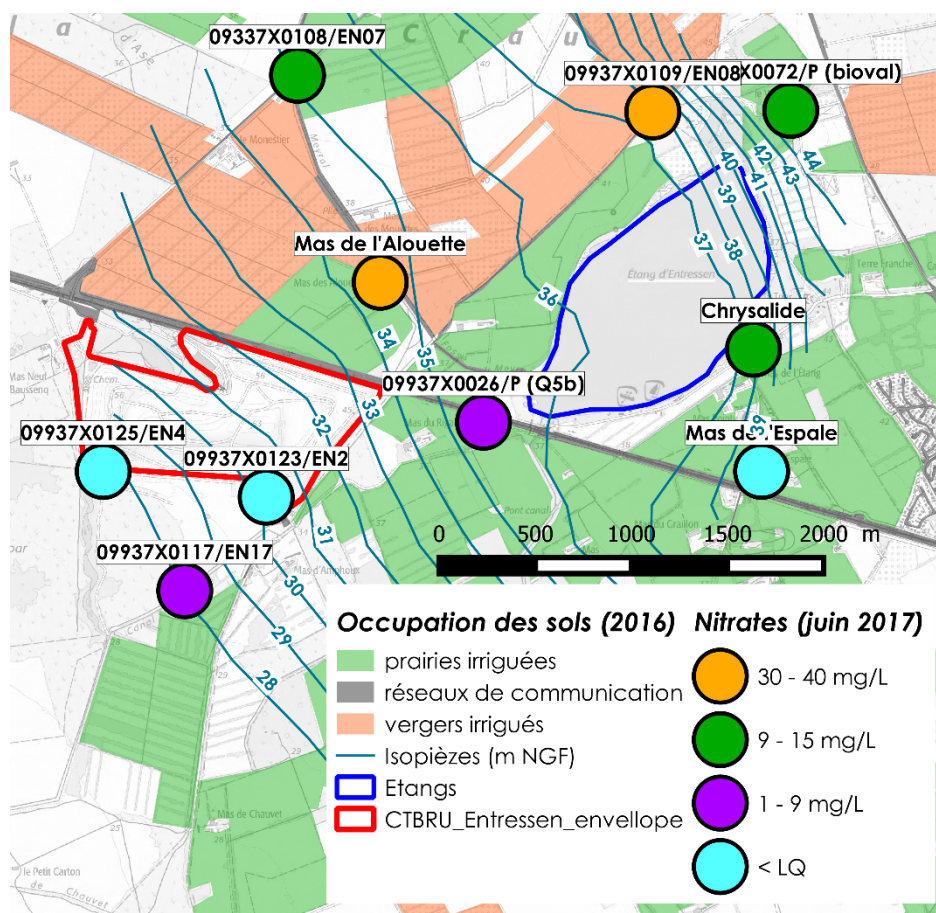


Figure 10 : Répartition des concentrations en nitrates en juin 2017 dans le secteur d'Entressen. Le fond géochimique naturel sur la nappe de la Crau est situé autour de 10 mg/L.

Conclusions et perspectives

L'état qualitatif de la nappe des cailloutis dans le secteur d'Entressen est soumis à des pressions multifactorielles qui portent atteinte au bon état de la masse d'eau dans ce secteur.

Cette étude a permis de mettre en évidence que le panache de pollution qui s'écoulent actuellement du CSD ne peut pas expliquer les pollutions observées sur les stations Q5 et 26/P positionnés en amont hydraulique. Une analyse de sols pourra être réalisée pour confirmer le fait que la pollution organique retrouvée sur Q5 et 26/P est susceptible de provenir d'une ancienne zone humide remblayée à la fin des années 1960. Un suivi piézométrique en continu couvrant au minimum une année hydrologique permettrait de mieux comprendre le phénomène de dilution saisonnier des chlorures.

Cette étude a permis d'identifier la présence en grande quantité de pesticides au sein du panache qui s'écoulent depuis le CSD vers la nappe. Il n'est pas à exclure qu'une partie de ces pesticides proviennent des secteurs agricoles en amont. Lors du passage sous la décharge ils peuvent subir un phénomène d'adsorption sur la matière organique, et être progressivement relargués en fonction des conditions hydrogéologiques.

La station Mas de l'Espale est probablement affectée par l'utilisation des eaux de qualité médiocre soutirées de l'étang d'Entressen en période estivale pour l'irrigation des prairies de foin. L'hypothèse d'une source de pollution locale dans le sous-sol est également valable, mais de second ordre au vu des concentrations en chlorures. Ce volet mériterait une étude spécifique pour mesurer l'impact de l'utilisation des eaux de l'étang d'Entressen sur la qualité des eaux souterraines dans le secteur de l'ASA des arrosants de l'étang d'Entressen.

Les résultats obtenus sur la station 72/P permettent d'apprécier les caractéristiques chimiques ponctuelles des eaux souterraines contenues dans les marnes du miocène moyen (helvétique). L'hypothèse d'une origine naturelle du fluor en solution nécessite des informations complémentaires, en particulier sur la composition minéralogique de cette formation. Cette ressource est largement utilisée à des fins domestiques sur la plaine de la Crau dans les secteurs de faibles épaisseurs des cailloutis. De telles teneurs en fluor, si toutefois elles sont généralisées, pose donc une problématique d'ordre sanitaire. Par ailleurs, la concentration élevée en chlorures est corrélée avec des concentrations élevées en sodium et magnésium, suggérant l'altération de minéraux évaporitiques. Enfin la présence d'un herbicide (médocrop) soutient la possibilité de transferts de polluants entre la surface et les marnes, donc depuis les cailloutis quaternaires vers les marnes.

Les pratiques agricoles au nord de l'étang d'Entressen induisent une hausse significative des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines, qui se trouve 3 à 4 fois plus élevées que le fond géochimique moyen généralement observé dans la nappe (≈ 10 mg/L). La répartition des charges hydrauliques indique que la nappe se trouve en position haute par rapport à la surface libre de l'étang d'Entressen qu'elle alimente en eau, tout comme elle y transfère probablement des nitrates. Ce dernier point contribue très probablement au phénomène d'eutrophisation qui est observée sur l'étang d'Entressen, mais ne peut en revanche pas expliquer l'extrême intensité du phénomène. Des facteurs complémentaires sont donc à rechercher.

Remerciements

Le SYMCRAU tiens à remercier le CEREGE (Phillipe Dussouliet et Christine Vallet Coulomb) pour sa contribution à la campagne de nivellement. Nous remercions la métropole Aix-Marseille, et plus particulièrement Mr Confais, pour nous avoir permis d'accéder aux piézomètres de contrôle en aval de la décharge. Nous remercions Mme Miallet pour nous avoir accueilli pendant les cinq années du suivi de la qualité sur son puits, et plus largement l'ensemble des propriétaires qui nous ont permis l'accès à leurs puits. Merci à André du centre de la chrysalide pour l'accueil café, pour nous avoir permis d'accéder à l'ensemble des sondages du site et au chantier en cours afin d'observer l'affleurement.

Bibliographie

Agence de l'eau RMC, 2014. Étude des plans d'eau du programme de surveillance des bassins Rhône Méditerranée et Corse – rapport de données brutes et interprétation. Lac d'Entressen – suivi annuel 2013. 80pp.

Atteia O., 2015. Chimie et pollution des eaux souterraines. 448 pp.

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

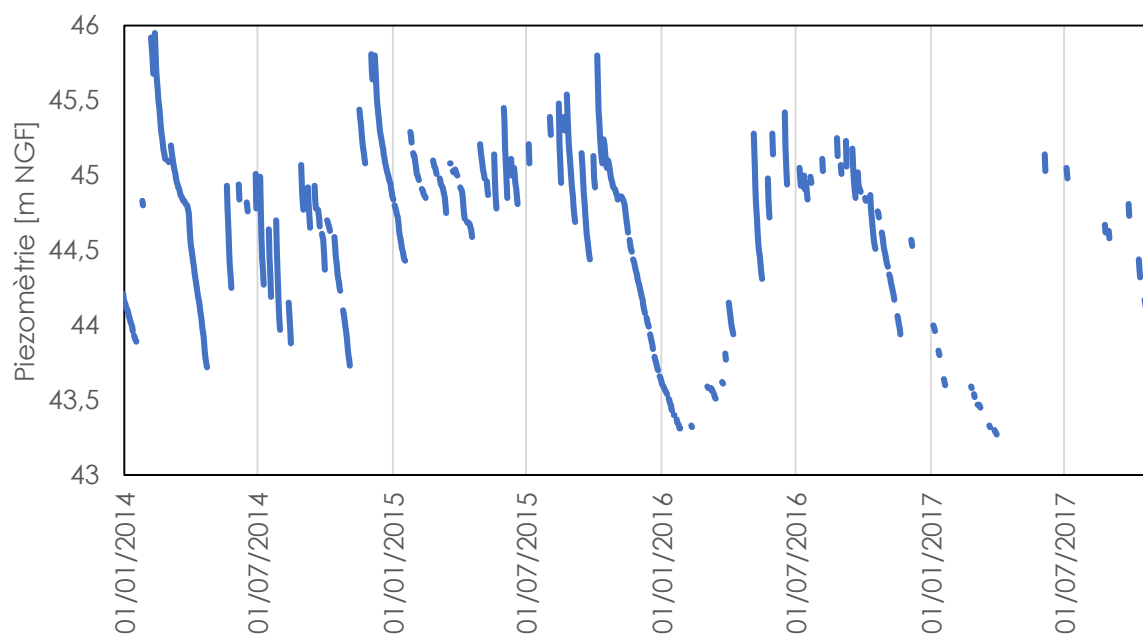
Cazaubon A., 1995. Les algues et l'eutrophisation de quelques écosystèmes d'eau douce méditerranéens. 5pp

Naudet V., Revil A., Bottero J.-Y., 2003. Relationship between self-potential (SP) signals and redox conditions in contaminated groundwater. 4 pp.

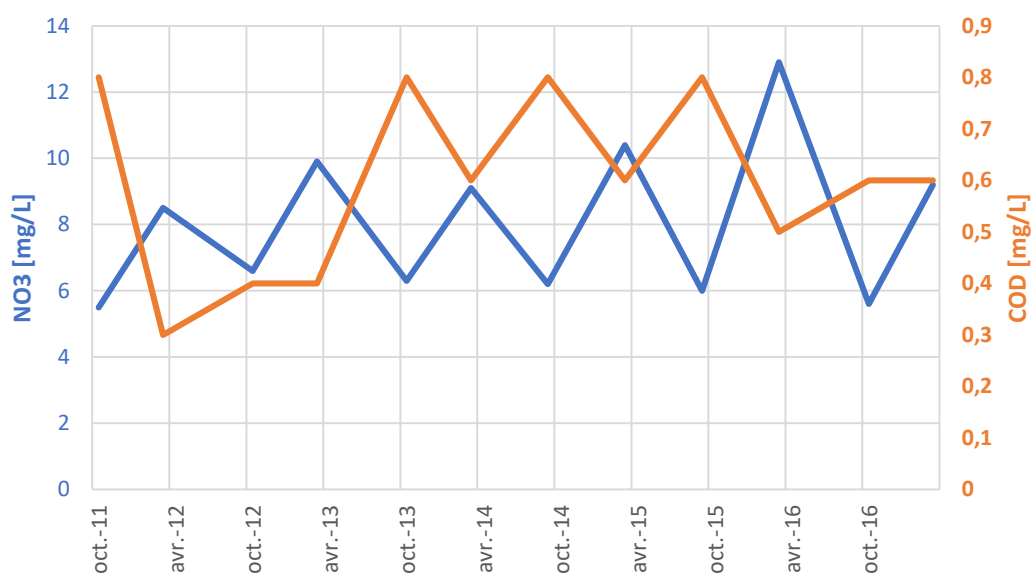
SYMCRAU, 2016. Bulletin sur l'état qualitatif des eaux de la nappe de la Crau. Année 2015. 21 pp.

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

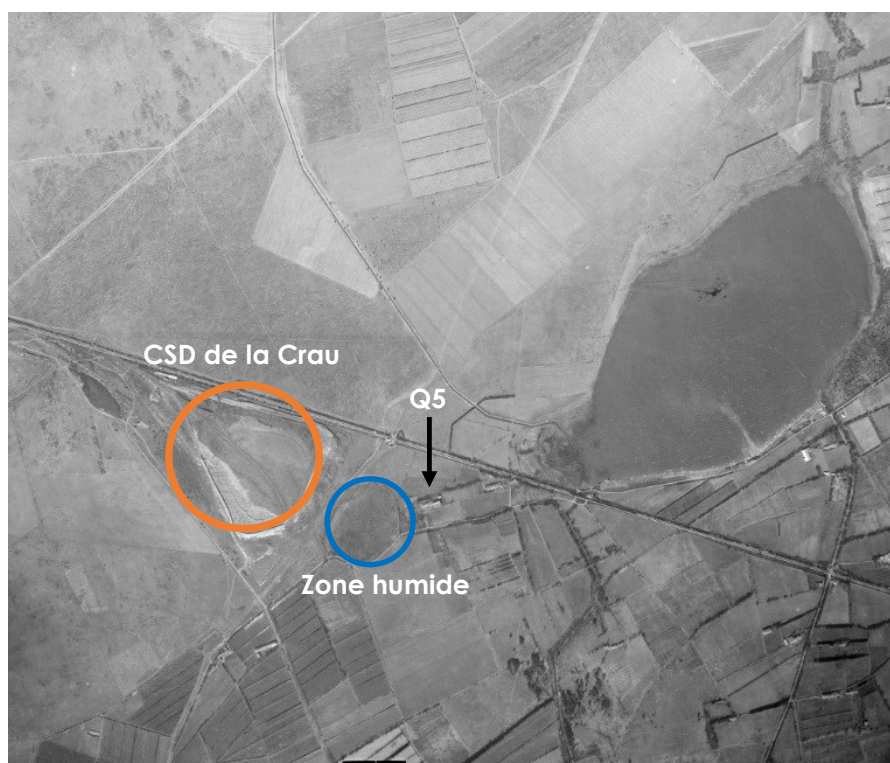
Annexe 1 : Chronique piézométrique du point 09937X0134/P19T



Annexe 2 : Évolution croisée des concentrations en nitrates et en carbone organique dissous sur le point de suivi Q2 du réseau RAQESOUCRAU



Annexe 3 : Comblement de la zone humide entre 1965 et 1971



Photographie aérienne de février 1965 (source : IGN)

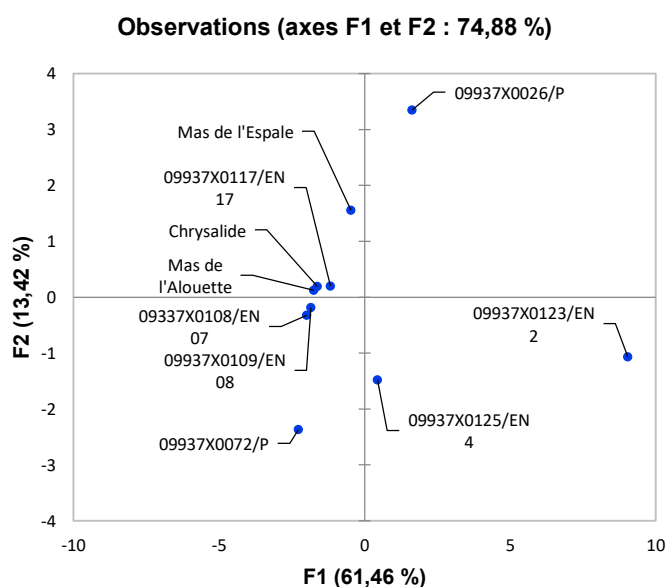
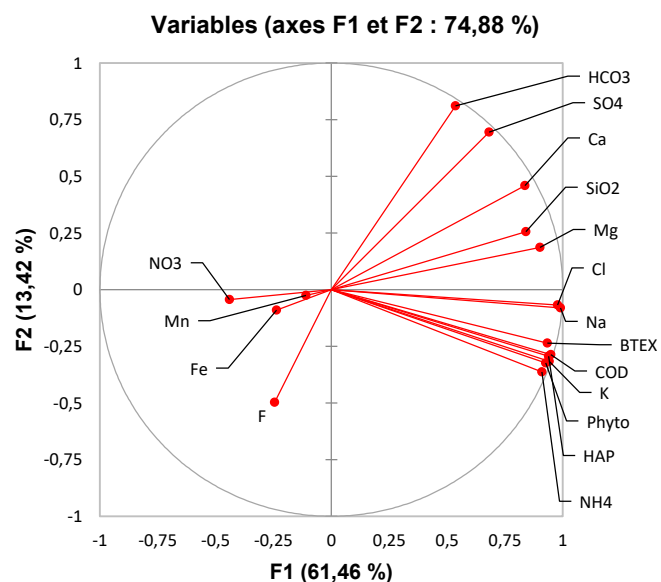


Photographie aérienne de janvier 1971 (source : IGN)

Annexe 4 : Caractéristiques des stations de prélèvements, et enjeux associés

Stations	Épaisseur de Cailloutis (m)	Profondeur de l'ouvrage (m)	Commentaires
Chrysalide1	1	2	Alimentation de l'étang
Mas Espale	1 - 3	3	Aval zone urbaine
Mas Alouette	5 - 10	10	Aval secteur arboricole
09937X0109/EN08	4	18	Secteur arboricole, alimentation de l'étang
09937X0072/P	4	60	Amont de l'étang, aquifère profond
09937X0026/P	1 - 3	5	Amont de Q5
09937X0108/EN07	12	13	Amont secteur arboricole et CSD
09937X0123/EN2	5	12	Aval CSD
09937X0125/EN4	10	14	Aval CSD (latéral)
09937X0117/EN17	7	8	Aval CSD

Annexe 5 : Résultats de l'ACP sur l'ensemble des paramètres, corrélation des variables (à gauche) et corrélation des stations (à droites)



ANALYSE	UNITE	09937X0026/P	09937X0072/P	Mas de l'Espale	Chrysalide	09337X0108/EN07	09937X0109/EN08	Mas de l'Alouette	09937X0117/EN17	09937X0123/EN2	09937X0125/EN4
Température de l'eau	°C	18,11	17,13	19,29	18,17	18,26	19,44	16,29	20,39	20,37	22,23
pH sur le terrain	-	6,84	7,06	6,63	7,11	7,02	7,11	6,92	7,29	6,86	7,46
Conductivité brute à 25°C sur le terrain	µS/cm	2460	762	1030	704	630	691	750	730	6711	1812
Oxygène dissous	mg/l O2	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm
Taux de saturation en oxygène sur le terrain	%	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm
Potentiel d'oxydoréduction E (Pt//Ag//AgCl)	mV	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm
Température de l'échantillon à réception	°C	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Bactéries coliformes à 36°C	UFC/100 ml	< LQ	6	< LQ	4	< LQ	1	< LQ	< LQ	20	< LQ
Escherichia coli	UFC/100 ml	< LQ	6	< LQ	4	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	6	< LQ
Entérocoques (Streptocoques fécaux)	UFC/100 ml	< LQ	11	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	6	< LQ
Anaérobies sulfito-réducteurs (spores)	UFC/100 ml	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	97	92
Turbidité	NFU	0,7	13	4,3	0,2	0,4	0,9	0,1	48	12	4
TA (Titre alcalimétrique)	°F	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0	0
TAC (Titre alcalimétrique complet)	°F	37	12,2	31,95	26,75	22,5	21,1	23.700	24,7	32,35	17,95
TH (Titre Hydrotimétrique)	°F	109,7	36,6	57,4	35,2	32,3	33,9	38.10	36,1	124,2	30,6
TH (Titre Hydrotimétrique)	°F	109,7	36,6	57,4	35,2	32,3	33,9	38.10	36,1	124,2	30,6
Carbone organique dissous (COD) <0,45 µm	mg/l C	2,5	0,6	4,7	0,7	0,5	0,5	0.50	1,2	190	38
Indice permanganate	mg/l O2	2	3,1	3,5	0,7	0,7	0,5	16.30	1,1	157,7	6,2
Demande Biochimique en Oxygène (DBO5)	mg/l O2	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	9	1,6
Demande Chimique en Oxygène (indice ST-DCO)	mg/l O2	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	580	188
Cyanures totaux (indice cyanure)	mg/l CN-	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	16	< LQ
Azote Kjeldahl	mg/l N	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	218	91,4
Fluorures	mg/l F-	< LQ	6,57	0,56	0,13	< LQ	< LQ	< LQ	0,06	< LQ	< LQ
Ammonium	mg/l NH4+	< LQ	< LQ	< LQ	0,07	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	261,35	116,8
Calcium dissous	mg/l Ca++	350,1	103,1	183,2	118	111,2	120,3	137.30	120,2	372,9	95,1
Magnésium dissous	mg/l Mg++	53,9	26,19	28,1	13,75	10,9	9,21	9.130	14,74	75,2	16,5
Sodium dissous	mg/l Na+	180,5	28,7	27,5	13,2	13,3	16,9	18.90	20,9	573,8	115,9
Potassium dissous	mg/l K+	7,2	0,8	0,6	3,4	1,4	0,7	1.10	4,1	247	77,8
Carbonates	mg/l CO3--	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0
Bicarbonates	mg/l HCO3-	451	149	390	326	275	257	289.00	301	395	219
Chlorures	mg/l Cl-	398	113	34,2	23,2	19,6	28,7	26.80	30,8	1210	130
Sulfates	mg/l SO4--	424	29,9	261	95	99	110	119.00	119	346	54
Nitrates	mg/l NO3-	6,2	10,9	< LQ	12,7	9,8	38,4	31.40	1,8	< LQ	< LQ
Orthophosphates	mg/l PO4---	0,08	0,05	0,03	0,03	0,02	0,03	0.030	0,03	0,27	0,08
Silicates dissous	mg/l SiO2	17,1	6,1	12,4	11,1	9,5	13,7	10.900	12	20,9	16,6
Nitrites	mg/l NO2-	< LQ	0,04	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,13	0,05
Aluminium total											

ANALYSE	UNITE	09937X0026/P	09937X0072/P	Mas de l'Espale	Chrysalide	09337X0108/EN07	09937X0109/EN08	Mas de l'Alouette	09937X0117/EN17	09937X0123/EN2	09937X0125/EN4
Amétryne	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,201	< LQ
Atrazine 2-hydroxy	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,052	0,417	0,072
Atrazine déséthyl	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,019	< LQ	0,033
Prometryne	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,015	< LQ
Simazine 2-hydroxy	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,006	0,016
Propazine 2-hydroxy	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,082	< LQ
Atrazine déséthyl déisopropyl	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,18
Dichlorophene	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,009
4,4'-DDE	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,036	< LQ
Somme des DDT, DDD, DDE	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,036	< LQ
Chlorméquat	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Mépiquat	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,13	< LQ
Mépiquat-chlorure	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,17	< LQ
Aminotriazole	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,11	0,38
2,4-D	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,007
MCCP (Mecoprop) total	µg/l	< LQ	0,013	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,298	0,279
Dicamba	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,277	< LQ
Triclopyr	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
2,4-DP (Dichlorprop) total	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,026	< LQ
Boscalid	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,011	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
AMPA	µg/l	0,139	< LQ	0,022	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Anthraquinone	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,38	0,012
Oxyfluorfe	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Piperonil butoxyde	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,009
Piperonil butoxyde	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,009
Biphényle	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,045	< LQ
Cycluron	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,012	< LQ
Total	µg/l	0,139	0,013	0,022	< LQ	< LQ	0,011	< LQ	0,071	2,241	1,006

ANALYSE	UNITE	09937X0026/P	09937X0072/P	Mas de l'Espale	Chrysalide	09337X0108/EN07	09937X0109/EN08	Mas de l'Alouette	09937X0117/EN17	09937X0123/EN2	09937X0125/EN4
Benzène	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	3,8	< LQ
Xylènes (m + p)	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,17	< LQ
Xylène ortho	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,069	< LQ
Xylènes (o + m + p)	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,24	< LQ
Benzo (b) fluoranthène	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,15	< LQ
Benzo (k) fluoranthène	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Benzo (a) pyrène	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,081	< LQ
Benzo (ghi) pérylène	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,053	< LQ
Indéno (1,2,3 cd) pyrène	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,033	< LQ
Fluoranthène	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,28	< LQ
Naphtalène	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,018	< LQ	0,042	0,68	< LQ
1,4-dichlorobenzène	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,1	< LQ	0,2	2,5	0,42

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