

Maître d'ouvrage :



Co-maîtres d'ouvrages :



Marseille Fos
Le port euroméditerranéen



Conservatoire du littoral

Avec le soutien financier de :



DÉPARTEMENT
BOUCHES
DU RHÔNE



RÉGION
SUD
PROVENCE
ALPES
CÔTE D'AZUR

Action du :



ÉTUDE DES BESOINS D'ALIMENTATION EN EAU DES ZONES HUMIDES DE LA CRAU (OSMOSE 2)

Rapport final



BRL
Ingénierie



HYDROFIS



Avril 2023

ÉTUDE DES BESOINS D'ALIMENTATION EN EAU DES ZONES HUMIDES DE LA CRAU (OSMOSE 2)

Synthèse

VISION D'ENSEMBLE	1
QU'EST-CE QU'UNE ZONE HUMIDE ?	3
GRAND BRAHIS	4
BAUSSENQ	7
ILON	9
CHANOINES	11
MEYRANNE	13
COSTIÈRES DE CRAU	15
SYSTÈME DE SUIVI	17



VISION D'ENSEMBLE

L'étude OS MOSE 2 vise à déterminer les impacts sur les zones humides et leurs habitats pour différentes hypothèses de modification des conditions d'alimentation en eau ? » Elle s'articule en deux temps :

- La conception d'un protocole et l'acquisition de données de terrain ;
- L'analyse des données collectées pour comprendre le fonctionnement actuel des zones humides, leur devenir possible selon différents scénarios, et enfin la définition de niveaux d'alerte et d'un système de surveillance.

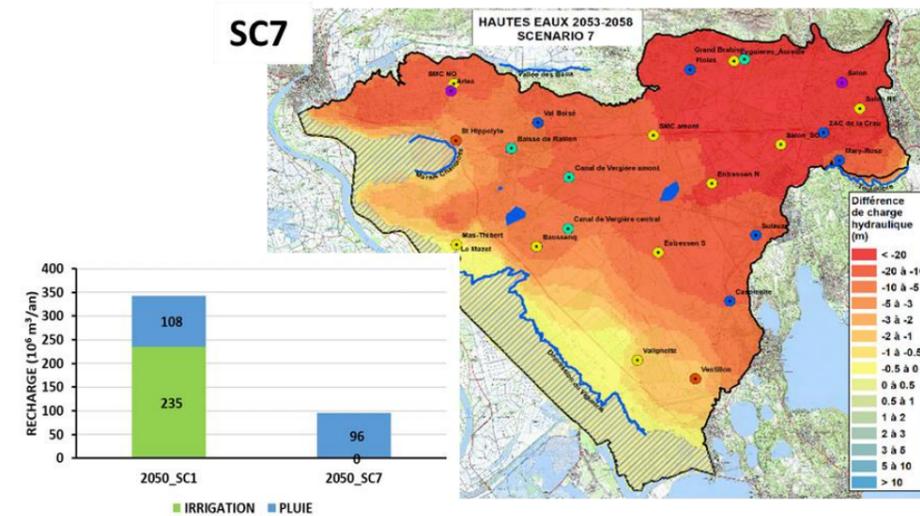
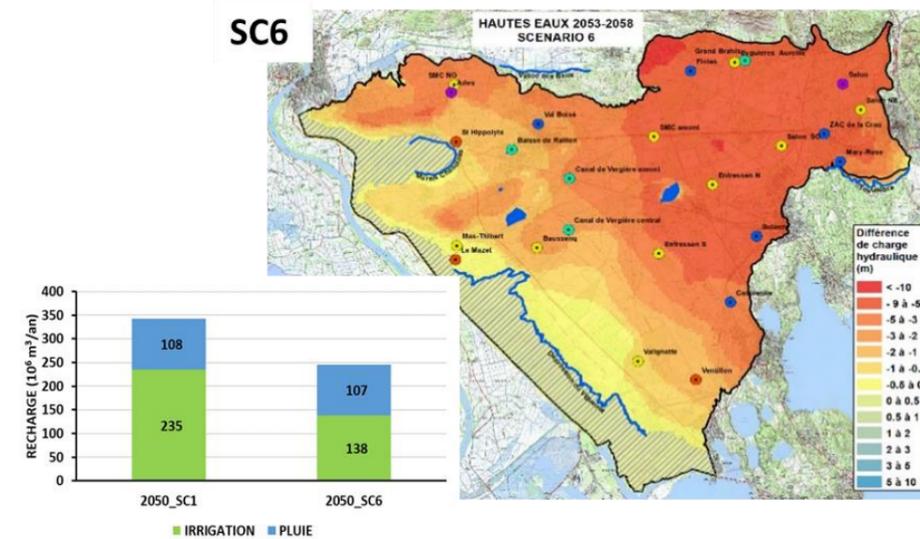
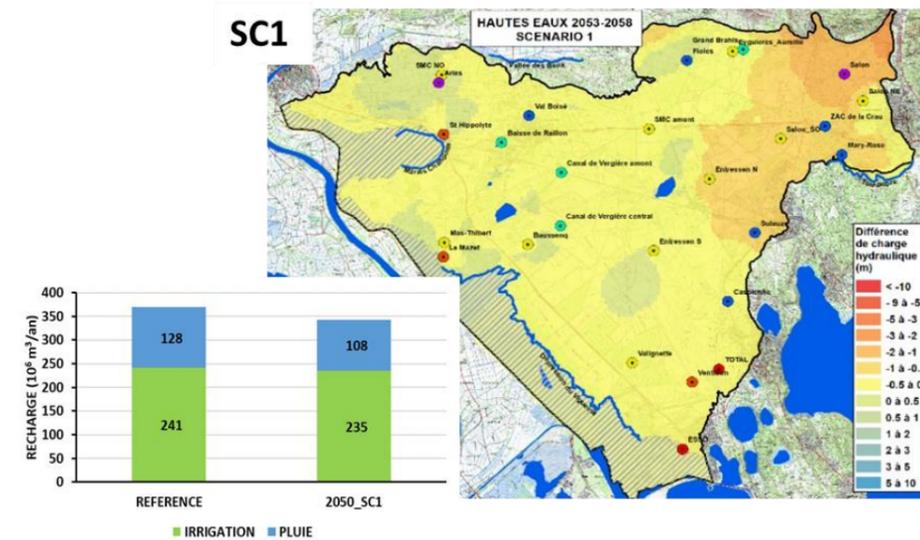
Les scénarios testés sont issus des modélisations de l'étude SINERGI (<https://www.symcrau.com/mediatheque/plaquette-de-letude-sinergi/>, SYMCRAU, 2020) et sont les suivants :

- Scénario 1 : Etat de référence horizon 2050. Seul le changement climatique est pris en compte ;
- Scénario 6 : Volume irrigué baissé de 30%. Hypothèse d'une nouvelle règle de partage des eaux de la Durance : réduction de 30% des volumes destinés à l'irrigation (traduit par une réduction du volume de manière homogène sur toutes les surfaces irriguées, non diminuées) ;
- Scénario 7 : Abandon de toute culture irriguée en Crau. Correspond à l'état naturel non influencé (baisse de la recharge de 72%).

La figure ci-contre, issue du rapport SINERGI, présente les niveaux piézométriques de la nappe de la Crau entre la situation actuelle et les scénarios 1, 6 et 7. La baisse du niveau de la nappe est importante sur la partie nord / nord-est. La partie sud-ouest est quant à elle peu impactée. Ceci s'explique par la répartition de l'irrigation du foin de Crau sur la plaine. En effet, l'irrigation du foin de Crau est principalement localisée sur la moitié nord-est de la plaine. En période d'irrigation, cette partie de la nappe est massivement alimentée par les eaux d'irrigation. Avec les volumes distribués actuellement, cela se traduit par des augmentations pluri-métriques du toit de la nappe en période estivale. Une faible partie de la nappe (environ 30%) est donc alimentée avec des volumes colossaux. Le centre et la bordure Sud-Ouest de la nappe ne sont pas directement alimentés par les apports d'irrigation ; on observe une hausse des niveaux de nappe amortie et différée dans le temps de plusieurs mois par rapport à la période d'irrigation. Réduire pour partie ou en totalité les apports liés aux eaux d'irrigation impactera donc principalement la partie de la nappe qui en bénéficie majoritairement aujourd'hui.

Le signal souterrain est très marquant pour le fonctionnement des zones humides de la Crau et ce même quand le flux d'eaux superficielles est supérieur au flux souterrain. Il intègre le signal irrigation lointain en été, assure la permanence des arrivées d'eau en hiver et le maintien quasi-permanent d'un ennoisement ou engorgement (selon les cas). Il conditionne aussi la présence d'habitats dits froids.

Scénarios retenus dans le cadre de l'étude

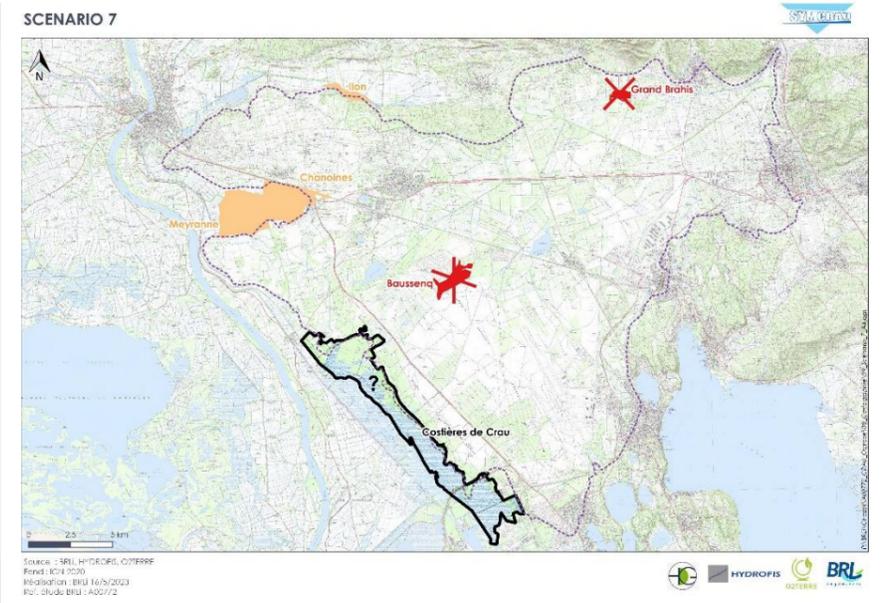
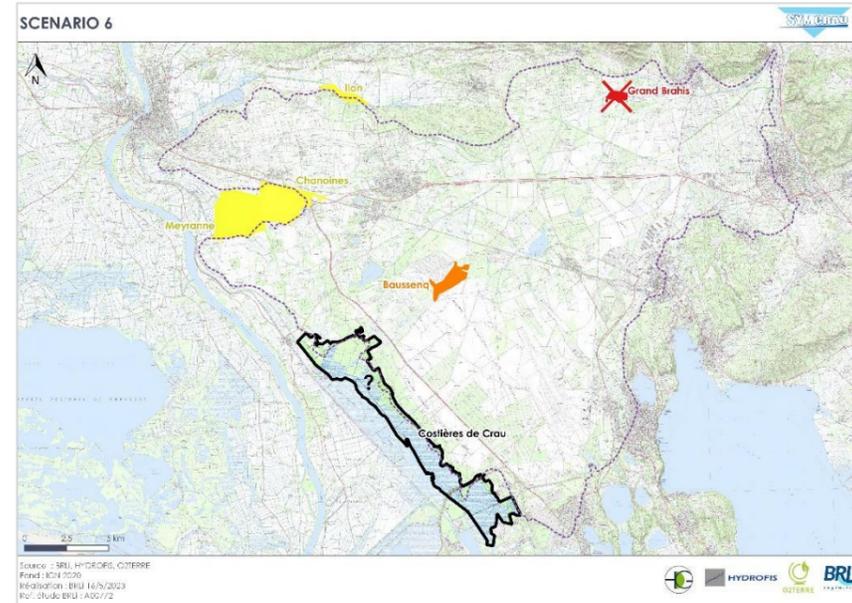
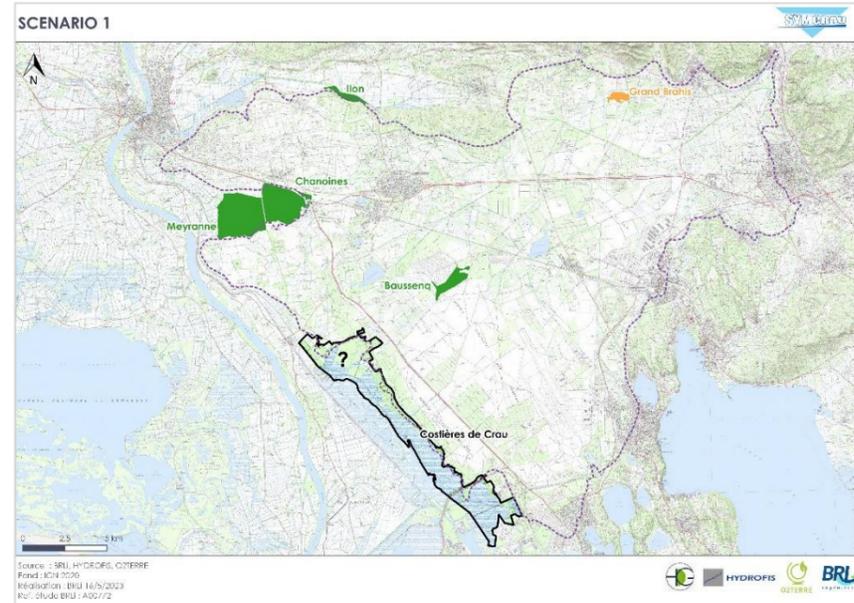
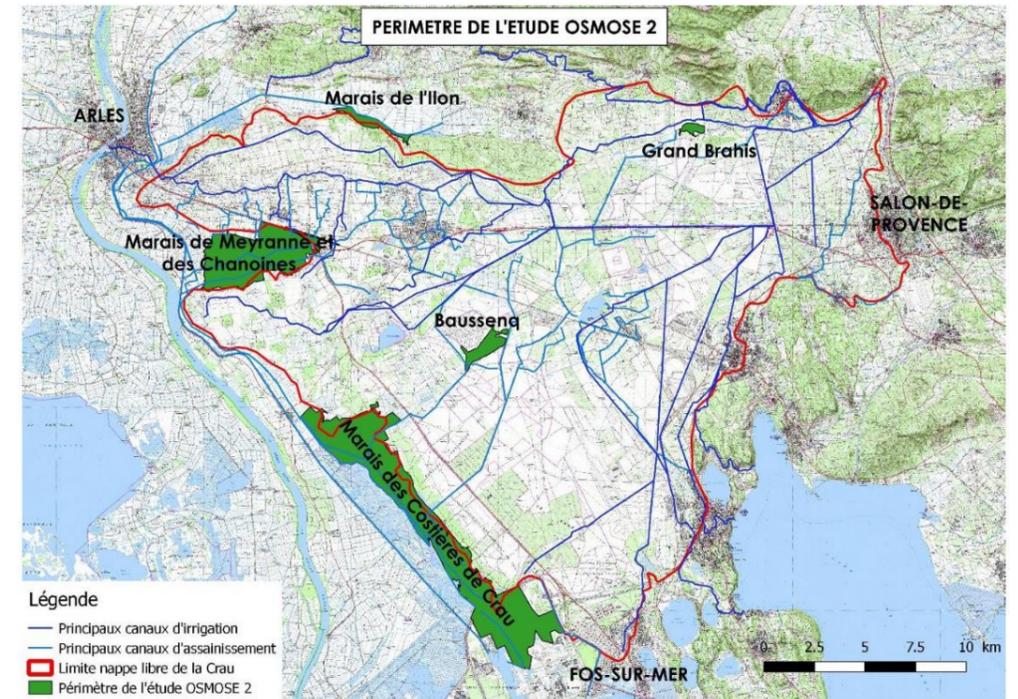




Pour les raisons évoquées précédemment, la sensibilité des zones humides à la réduction des apports d'eau de la Durance est fonction de leur position géographique par rapport à la plaine de la Crau. Cette position influence directement la manière dont s'exprime le signal nappe (logique de niveau ou de flux) et l'intensité de la réduction de l'alimentation par la nappe en fonction des scénarios. On distingue les secteurs suivants :

- Secteur amont (Brahis) :
 - Logique de niveau piézométrique/recoupement¹ ;
 - Nappe relativement chaude, haute en été ;
 - Baisse de 30 m en cas de coupure totale de l'irrigation.
- Secteur intermédiaire (Baussena) :
 - Logique de niveau piézométrique ;
 - Nappe relativement chaude en été, haute en hiver ;
 - Baisse de 7 m en cas de coupure totale de l'irrigation.
- Secteur aval / exutoire (Ilon, Meyranne-Chanoines, Costières) :
 - Logique de flux² ;
 - Nappe fraîche, relativement haute en hiver.
 - Pas ou peu de baisse de niveau. Réduction drastique des flux en cas de coupure totale de l'irrigation (~70% à potentiellement 100% pour Ilon) ;
 - Sur ce secteur, les conditions pédologiques (présence de tourbe estimée à une dizaine de mètres d'épaisseur) laisse supposer des conditions d'alimentation et des processus d'apparition bien antérieurs à l'aménagement des canaux de Crau.

Cette sectorisation permet d'extrapoler, dans une certaine mesure, les résultats de l'étude aux autres zones humides de la plaine de la Crau.



Légende des cartes :

- Vert : similaire à la situation actuelle
- Jaune : modifications légères de la distribution des habitats / espèces. L'existence de la zone humide n'est pas menacée.
- Orange pâle : modifications substantielles de la distribution des habitats / espèces. L'existence de la zone humide n'est pas menacée.
- Orange foncé : seules les espèces arbustives hydrophiles dont le système racinaire peut prospecter à des profondeurs supérieures à 2 mètres subsistent. Du point de vue de la végétation, il s'agit encore d'une zone humide.
- Rouge : assèchement total à terme.

¹ Le toit de la nappe des cailloutis de Crau est supérieur au point topographique le plus bas de la zone humide, donc la nappe résurge

² Les zones humides constituent l'exutoire de la nappe des cailloutis de Crau. Quel que soit le débit de le niveau de la nappe en amont, elle résurgera au niveau des zones humides



QU'EST-CE QU'UNE ZONE HUMIDE ?

GENERALITE

La réglementation définit les zones humides comme des terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ; la végétation quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année (Article L.211-1 du code de l'environnement).

La présence d'eau constitue donc un facteur déterminant du fonctionnement des zones humides. La présence et la distribution des habitats et espèces végétales qui constituent la zone humide dépend principalement :

- De la **quantité d'eau** : la zone humide peut être ennoyée (niveau d'eau supérieur au terrain naturel), l'eau peut être seulement affleurante (niveau d'eau proche du terrain naturel) ou bien engorger le sol sans être affleurante. Au sein de la zone humide, cette quantité d'eau varie dans le temps, selon les conditions d'alimentation.
- De la qualité de l'eau : **température**, salinité, turbidité, caractère oligotrophe ou eutrophe,
- Du type de sol et d'autres paramètres.

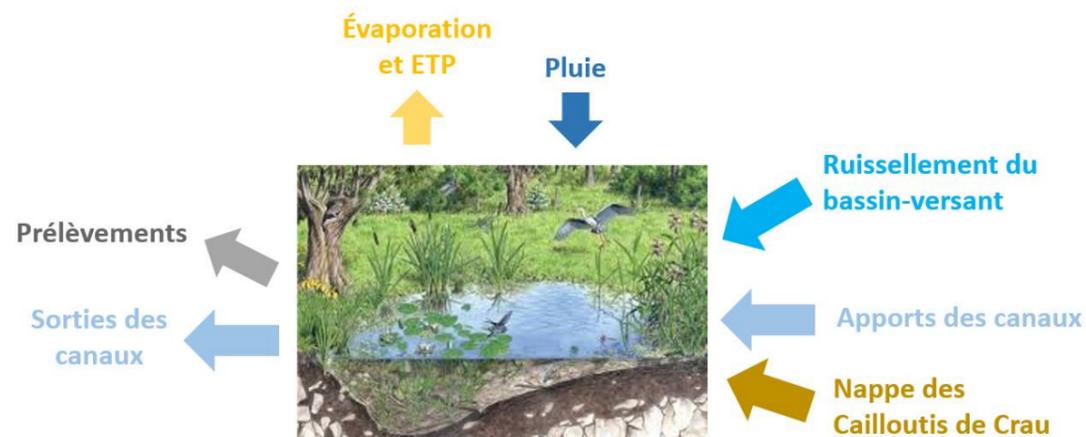
ALIMENTATION EN EAU DES ZONES HUMIDES ETUDIEES

Les zones humides étudiées sont notamment alimentées par :

- Des apports en eau souterraines provenant de la nappe des cailloutis de Crau ;
- Des apports en eau de surface provenant de canaux d'irrigation ou de drainage ;
- Des apports météoriques directs ou de ruissellement.

L'eau quitte les zones humides via :

- Les eaux souterraines ;
- Les canaux de drainage ;
- L'évaporation à la surface de l'eau et l'évapotranspiration de la végétation.



PROTOCOLE

Quels seraient les impacts sur les zones humides et leurs habitats si les conditions d'alimentation en eau étaient modifiées ? Répondre à cette question implique de comprendre le fonctionnement de chaque zone humide étudiée au regard des flux d'eau qui y ont lieu et de caractériser les compartiments et termes du bilan en eau suivants :

- Les écoulements de surface entrants, sortants et circulants dans les zones humides ;
- Les apports ou rejets en eaux souterraines ;
- Les niveaux d'eau dans les zones humides ;
- Les apports pluviométriques ;
- Les pertes par évaporation et évapotranspiration ;
- La qualité de l'eau (T°C, pH, turbidité) dans les zones humides et dans les canaux ;
- La pédologie ;
- La végétation ;
- Les niveaux d'eau dans la nappe de la Crau (équipement de 3 piézomètres supplémentaires en complément des réseaux préexistants) ;

Le protocole de mesure reprend l'ensemble des compartiments cités ci-dessus.

Installation de sondes de niveau d'eau

Le protocole comprend 46 sondes. Parmi ces sondes, 3 étaient déjà en place (2 sondes suivies par l'Association des Amis du Vigueirat et 1 sonde suivies par l'association A.Rocha. Ces sondes ont été réparties comme suit :

- 27 sondes ont été installées pour suivre les apports et sorties au niveau des canaux ;
- 17 sondes ont été installées pour suivre les variations de hauteur d'eau dans les zones humides ;
- 3 sondes ont été installées pour suivre les variations de hauteur du toit de la nappe.

Le suivi a été réalisé sur une durée de 1 an (ou légèrement inférieure à 1 an pour certaines sondes).

Campagnes de mesures du niveau d'eau et de la qualité de l'eau

4 campagnes de jaugeages ont été réalisées à 4 périodes distinctes de l'année de suivi. Durant chaque campagne, des mesures de débit ont été réalisées au droit des 27 sondes installées pour le suivi des apports et sorties des canaux d'irrigation et de drainage. Ceci a permis d'élaborer des courbes de tarage et donc de connaître les débits entrants et sortants des zones humides ;

La conductivité, le pH et la température ont été mesurés au droit des 27 sites de suivi des écoulements des eaux de surfaces et des 17 sondes de suivi dans les zones humides durant les 4 campagnes de jaugeages.

Relevés de terrain

- 237 sondages pédologiques réalisés pour qualifier la nature des sols et leur caractère hydromorphe (présence d'eau permanente ou temporaire) ;
- 372 relevés de végétation ont été réalisés afin de caractériser sommairement la végétation et les habitats présents dans les zones humides.



GRAND BRAHIS



Herbier à *Potamogeton coloratus*



Roselières à *Phragmites australis*



Canal central

PRESENTATION DE LA ZONE HUMIDE

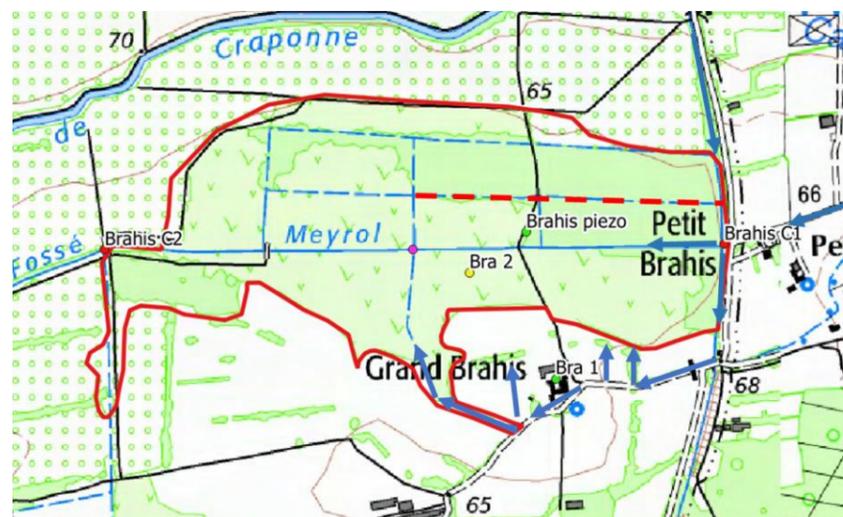
La zone humide de Grand Brahis est une dépression d'environ 40 ha entourée d'oliviers au nord et de prairies irriguées au sud.

Elle est parcourue de fossés de drainage qui rejoignent un grand fossé collecteur central, orienté est-ouest, et qui constitue l'unique exutoire des eaux de surface. Elle est alimentée par le fossé Meyrol à l'est. Des apports d'irrigation arrivent également par le sud.

La végétation du site est principalement représentée par des mosaïques de roselières à Roseau commun et Scirpe lacustre. Les secteurs les plus humides accueillent des cariçaies à Laïche des rivières localement colonisée par des saules. Dans les zones d'atterrissement, les scirpaies à Scirpe jonc dominant et sont relayées par les ripisylves à Peuplier blanc et Peuplier noir. La flore comporte très peu d'indicateurs de milieux froids.

Les herbiers de Potamot coloré en fond du canal central sont les seuls indices de l'influence d'une nappe d'eau froide, lorsque les saulaies blanches et cariçaies indiquent la proximité d'une nappe d'eau fraîche, mais pas franchement froide.

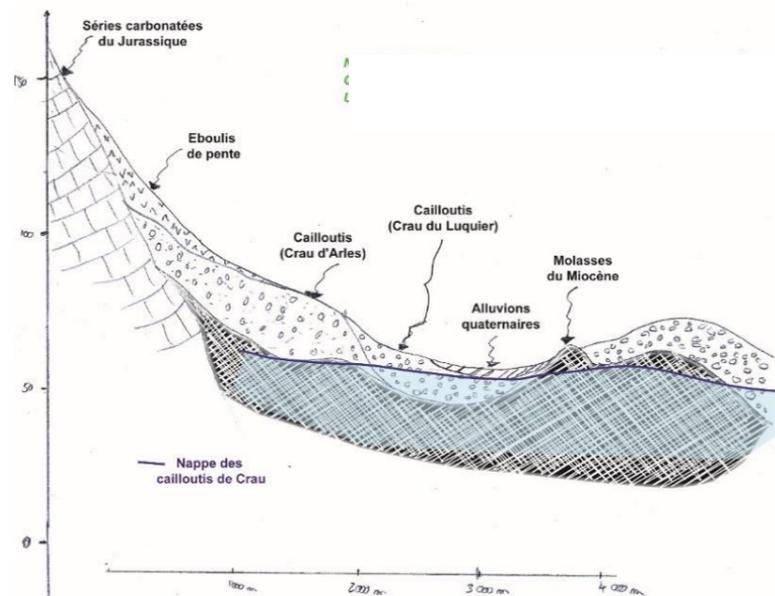
Principaux flux entrants d'eau superficielle dans la zone humide



La géologie de ce secteur est complexe. Les cailloutis de Crau sont peu épais et sont en recouvrement de la molasse miocène qui est elle-même aquifère ; localement, cette molasse miocène affleure. Latéralement, des éboulis de pente (colluvions) viennent en recouvrement des cailloutis de Crau. La zone humide elle-même est située dans un creux topographique caractérisé par une accumulation de sédiments quaternaires.

Il en résulte une certaine complexité hydrogéologique ; on a potentiellement trois nappes : une nappe puissante dans les cailloutis de Crau, une nappe plus inerte dans la molasse miocène et une nappe superficielle dans les horizons argilo-limoneux liée à la faible perméabilité de ces solums et aux eaux d'irrigation provenant des prairies irriguées au sud ; les interrelations entre ces trois nappes doivent être considérées comme inconnues.

Géologie de la zone humide selon une coupe nord sud



FONCTIONNEMENT ACTUEL

L'alimentation principale de la zone humide est constituée par la présence d'eaux souterraines à très faible profondeur (<1 mètre).

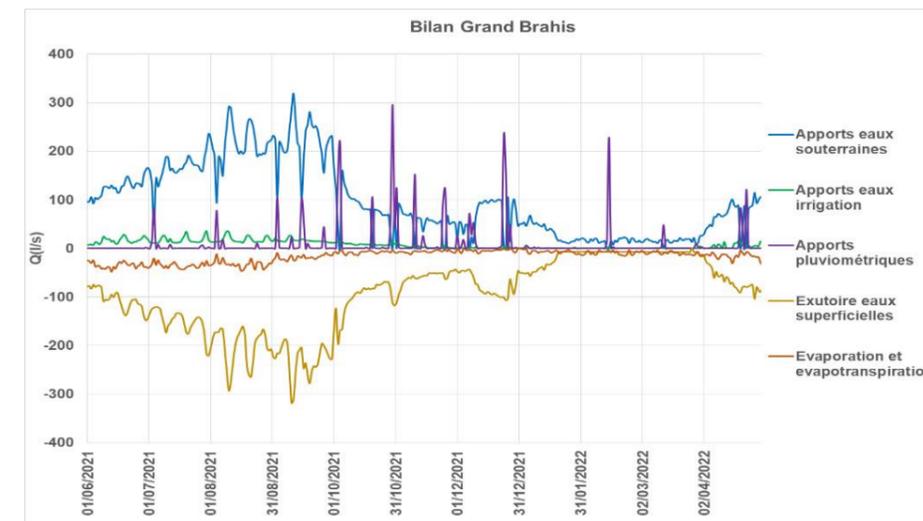
Le flux sortant principal correspond aux eaux superficielles qui s'échappent de la zone humide dans sa partie ouest (exutoire de la zone humide).

Les volumes d'eau superficielle sortants à l'exutoire de la zone humide sont très largement supérieurs à ceux entrants dans la zone humide au niveau du canal, ce qui renforce l'identification du rôle de la nappe (228 500 m³ entrant contre 2,7 millions de m³ sortant sur la période juin 2021 – avril 2022). Ils sont de l'ordre de 300 l/s au pic de la saison d'irrigation. Les sorties sont très faibles en hiver mais maintenues autour de 50l/s. Quand le niveau piézométrique de la nappe des cailloutis sous-passe le TN-1, il est possible et probable que le flux résiduel hivernal corresponde plus à un lent ressuyage des horizons limoneux superficiels, qu'à un apport de la nappe des cailloutis.

L'évaporation à la surface de l'eau, l'évapotranspiration et les apports depuis le Fossé Meyrol (eaux d'irrigation) sont des phénomènes secondaires en termes de flux (environ 50 l/s pour les phénomènes évaporatoires et les apports d'eau d'irrigation).

Les événements pluvieux ne se traduisent pas forcément par une augmentation simultanée des flux en sortie de la zone humide, ce qui ne peut être expliqué que par l'absence de pluies significatives au droit de la **zone humide**.

Flux d'eau entrants et sortants sur la zone





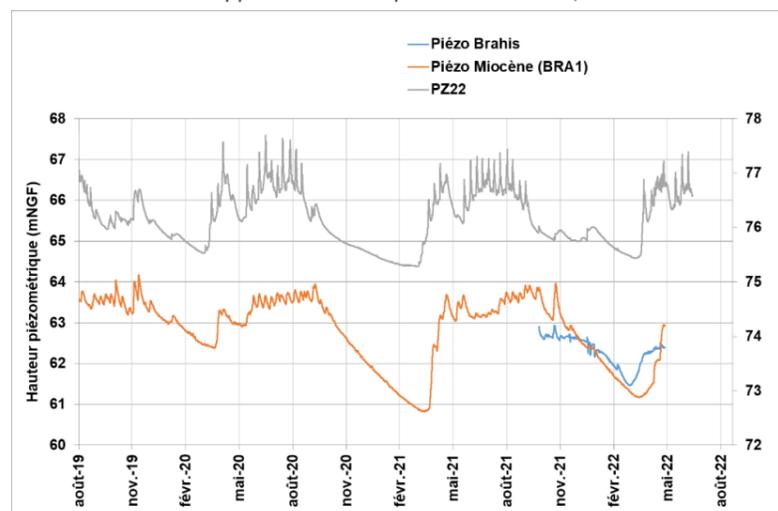
Engorgement quasi-permanent du Terrain naturel – 1 mètre (TN-1) d'après les sondages pédologiques



La variation de niveaux dans la zone humide est dans l'ensemble très corrélée au niveau d'eau dans la nappe de la zone humide et la nappe des cailloutis de Crau.

Sur zone, nous disposons d'un piézomètre installé dans les cailloutis de Crau en octobre 2021 (piezo Brahis). Les données sont relativement courtes pour être analysées. Toujours sur site, le piézomètre Bra 1 renseigne sur les variations de piézométrie dans le miocène sous-jacent aux cailloutis. En amont de la zone humide, le PZ 22 renseigne quant à lui sur les variations piézométriques dans les cailloutis ; **on peut observer une très bonne corrélation entre les variations piézométriques de Bra 1 et PZ 22.**

Hauteur de la nappe mesurée aux piézomètres Brahis, BRA1 et PZ22



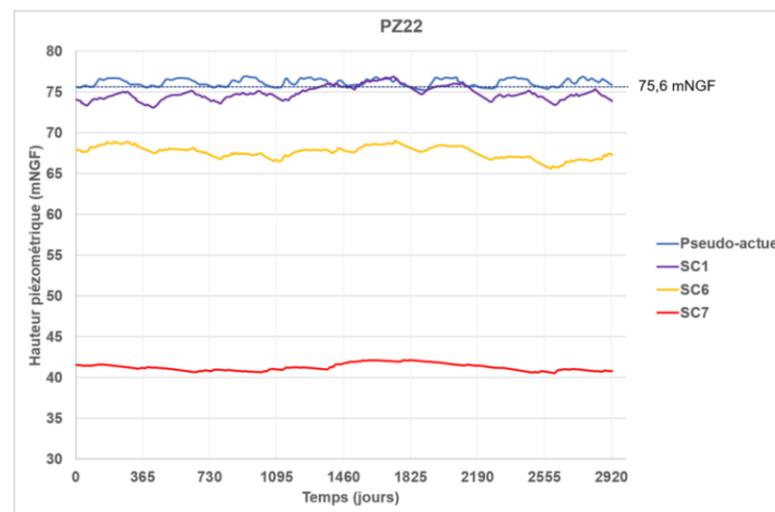
L'analyse du bilan montre que les flux d'eau souterraine deviennent très faibles, voire négligeables sur la période allant de février à fin mars 2022. Sur cette même période, le Piézo Brahis **sous-passe 62 mNGF, côte altimétrique qui correspondrait au seuil de coupure d'un flux significatif d'eau souterraine.** Cette observation est par ailleurs cohérente avec la topographie du site qui montre un minimum altimétrique en sortie de zone humide à environ 62 mNGF.

À partir de cette observation et compte tenu de la forte corrélation entre les relevés piézométriques, **nous proposons de considérer les apports en eau souterraine sur la zone humide comme négligeable sous un niveau piézométrique d'environ 75,6 mNGF pour le PZ 22.**

ÉVOLUTION FUTURE

Avec l'hypothèse de coupure des flux souterrains autour de 75,6 mNGF pour le PZ 22, il est possible d'estimer l'évolution de la zone humide avec les scénarios proposés dans le programme de recherche SINERGI.

Hauteurs piézométriques mesurées dans la situation actuelle et évolution selon les scénarios SC1, SC6 et SC7 d'après les simulations réalisées dans le cadre de Sinergi



Le scénario SC1, basé sur une continuité des apports d'eau depuis la Durance et la seule modification des paramètres hydro-climatiques en 2050, montre que la valeur seuil sera fréquemment sous-passée (potentiellement plusieurs années de suite) et que l'on aura une alimentation par la nappe seulement les années les plus humides.

Les scénarios SC6 et SC7, qui cumulent modification des apports d'irrigation et aggravation des conditions climatiques, montrent un effondrement de la nappe qui se traduira par une absence totale d'apports d'eaux souterraines à la zone humide.

Évolution potentielle de Grand Brahis selon les différents scénarios retenus

SITUATION ACTUELLE	SCENARIO 1 (CHANGEMENT CLIMATIQUE)	SCENARIO 6 (CHANGEMENT CLIMATIQUE ET REDUCTION DE 30% DES APPORTS D'EAU D'IRRIGATION DEPUIS LA DURANCE)	SCENARIO 7 (CHANGEMENT CLIMATIQUE ET SUPPRESSION TOTALE DES APPORTS D'EAU D'IRRIGATION DEPUIS LA DURANCE)
<ul style="list-style-type: none"> - Ennoisement circonscrit et limité à la période estivale. Flux de l'irrigation très faibles. Zone humide surtout alimentée par la nappe. - Terrain naturel – 1 mètre (TN-1) engorgé de manière quasi-permanente sur la quasi-totalité de la zone humide. - Absence d'espèces végétales inféodées aux eaux froides (sauf canal en hiver). 	<ul style="list-style-type: none"> - Légère baisse de la nappe mais suffit à réduire très fortement voire supprimer les flux souterrains vers la zone humide. - Substitution des zones engorgées en permanence à TN-1 par un engorgement temporaire. - Disparition de la cariçaie, fragmentation de la roselière, extension des scirpaies à Scirpe jonc. 	<ul style="list-style-type: none"> - La nappe baisse de 8 m environ. Coupure totale et permanente de l'alimentation de la zone humide par les eaux souterraines. - Maintien des apports d'irrigation et des précipitations - Assèchement total à terme. À court et moyen termes : extension des habitats boisés peupleraies blanches et noires au détriment des roselières et cariçaies. Les scirpaies pourraient se maintenir un peu. 	<ul style="list-style-type: none"> - La nappe baisse de 30 m environ. Coupure totale et permanente de l'alimentation de la zone humide par les eaux souterraines. - Assèchement total plus rapide que pour le scénario 6 en l'absence des apports de l'irrigation. - Evolution des forêts de bois tendre (saulaies et peupleraies) vers des forêts à bois dur (frénaies et chénaies pubescentes). Possibilité d'infiltration des éléments xérophiiles (pinèdes de Pin d'Alep, chénaies vertes, garrigues sclérophylles) par apport depuis les Alpilles.



BAUSSENQ



Pâturage



Prise d'eau



Bois de Frêne



Canal central

PRESENTATION DE LA ZONE HUMIDE

La zone humide de Bausseq constitue une dépression d'un peu moins de 200 ha. Elle s'inscrit au sein d'un sillon humide orienté nord-est sud-ouest bordé par le Coussoul. L'épaisseur de sol est très réduite, notamment en bordure est où le poudingue affleure.

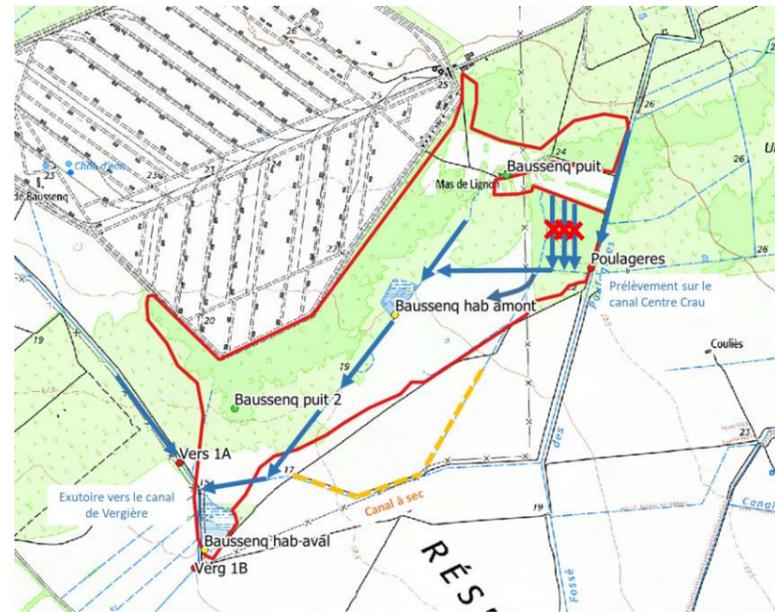
L'altitude moyenne est d'environ 20 mNGF. Le site présente une pente nord-est sud-ouest. À son extrémité amont, l'altitude s'élève à environ 25 mNGF, et présente une altitude d'environ 17 mNGF à son extrémité aval. Les bordures est et ouest se situent à environ 22 et 20 mNGF respectivement.

Le site est irrigué par submersion et gestion de martellières à partir des canaux qui suivent globalement l'axe du sillon. Il est pâturé par des taureaux et des chevaux dans le cadre d'une exploitation agricole familiale.

La végétation de la zone humide présente un contraste marqué entre les habitats herbeux et les boisements. Les prairies humides méditerranéennes se développent sur des sols humides en hiver et au printemps. Elles bénéficient par ailleurs des apports d'eau d'irrigation durant l'été. Les espèces caractéristiques des prairies humides de Crau comme la Molinie bleuâtre, l'Orchis des marais ou l'Œnanthe de Lachenal côtoient des herbiers hygrophiles de Paspale distique, espèce exotique envahissante qui profite de l'apport d'eau estival. Les milieux les plus humides se cantonnent à la zone centrale de la dépression, où se développent des mégaphorbiaies opulentes et quelques circulations d'eau affleurantes. Sans indiquer des milieux froids, la présence du Myosotis cespiteux, de la Gratiolle ou la Baldellie fausse renoncule indiquent une ambiance fraîche, particulièrement remarquable dans le contexte très aride des coussouls de Crau. À l'extrémité de la zone humide, l'accumulation des eaux d'irrigation après ruissellement s'accompagne d'un plan d'eau quasi-permanent où se développent des herbiers de Renoncule scélérate et Poivre d'eau. Les seuls marqueurs de milieux froids liés à la proximité directe de la nappe se situent en marge du site, au niveau du canal de Vergière, où se maintiennent plusieurs stations de Marisque.

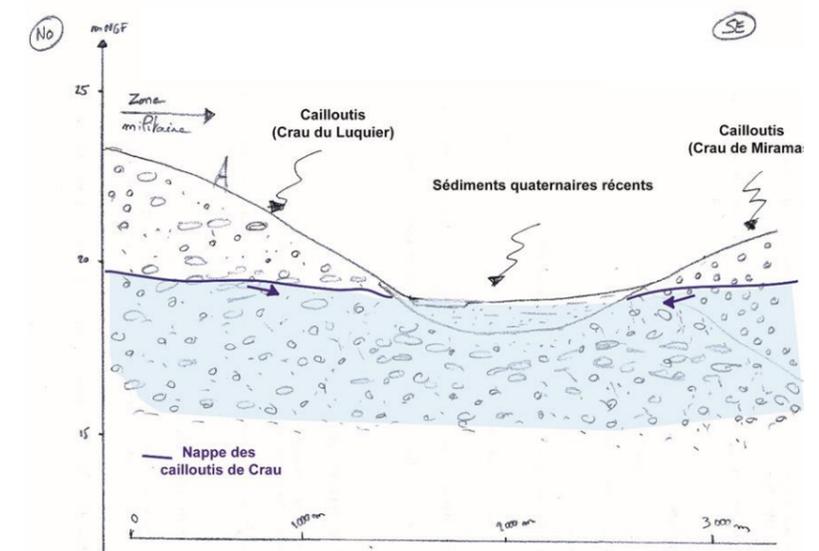
La végétation du site est par ailleurs fortement influencée par l'activité pastorale, qui contient le développement des espèces ligneuses. Lorsque la pression de pâturage est insuffisante, les Scirpales à Scirpe junc puis les bois à Frêne et Orme colonisent rapidement les prairies. Les secteurs non pâturés accueillent des ripisylves à Peuplier blanc localement substituées par des plantations de Platane en bordure du terrain militaire.

Principaux flux entrants d'eau superficielle dans la zone humide



La zone humide repose sur les sédiments quaternaires qui viennent en recouvrement des cailloutis de Crau. Selon la carte géologique, il s'agit de « limons fluviaux : ces sédiments colmatent les dépressions qui jalonnent les contacts entre les différentes nappes de cailloutis. ».

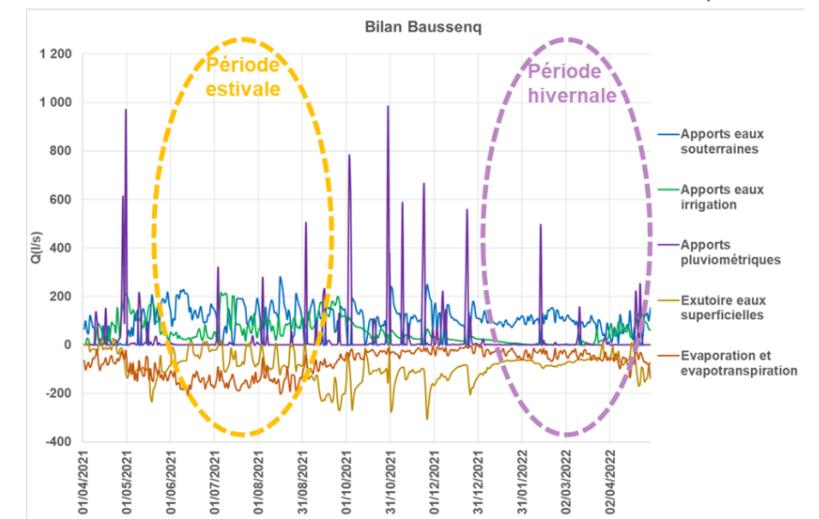
Schéma de la géologie de la zone humide de Bausseq



FONCTIONNEMENT ACTUEL

La zone humide de Bausseq présente un comportement particulier avec un mix d'alimentation 50/50 entre eaux superficielles et eaux souterraines en période estivale et 100% d'eaux souterraines en période hivernale. Cette observation doit être nuancée par une caractéristique spécifique à cette zone humide : sa forte pente qui interdit toute accumulation d'eau (les eaux passent, peut-être à l'exception de la partie ouest qui présente un horizon argileux), excepté en sortie de zone humide où les écoulements sont barrés (présence d'une martellière bloquant les écoulements vers le canal de Vergière). Soulignons que le niveau du toit de la nappe reste dans la zone TN-1 la quasi- intégralité du temps, ce qui conforte le rôle de la nappe dans l'alimentation de la zone humide.

Flux d'eau entrants et sortants sur la zone humide de Bausseq



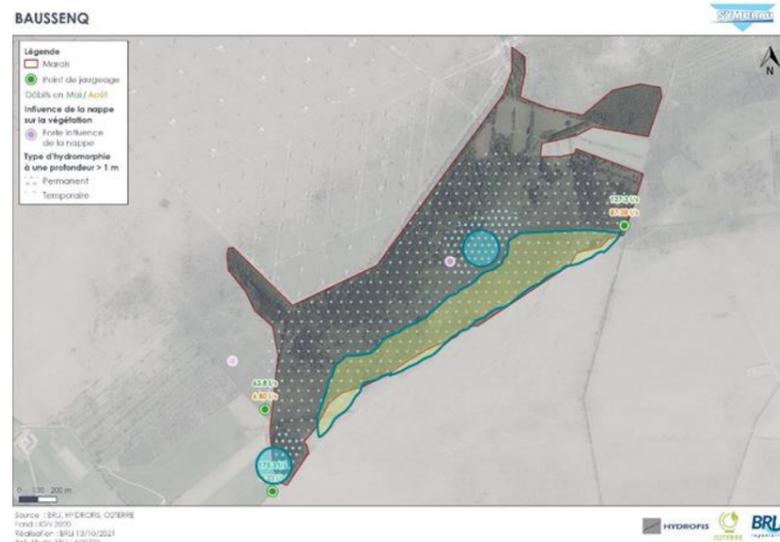


L'ennoiement permanent est très limité sur ce site. Seules les dépressions (centrale et aval) sont ennoyées quasiment toute l'année, même sur des superficies très limitées. La moitié sud-est du site est ennoyée de manière temporaire en période d'irrigation.

L'alimentation de la mare aval correspond a priori à un mix d'eaux souterraines et d'eaux d'irrigation en été et reste alimentée en hiver par la nappe et les précipitations.

La dépression centrale semble surtout alimentée par les eaux d'irrigation en été et par la nappe et les précipitations en hiver.

Secteurs ennoyés de manière permanente et temporaire sur le site de Baussenq



En bleu : ennoiement quasi-permanent.

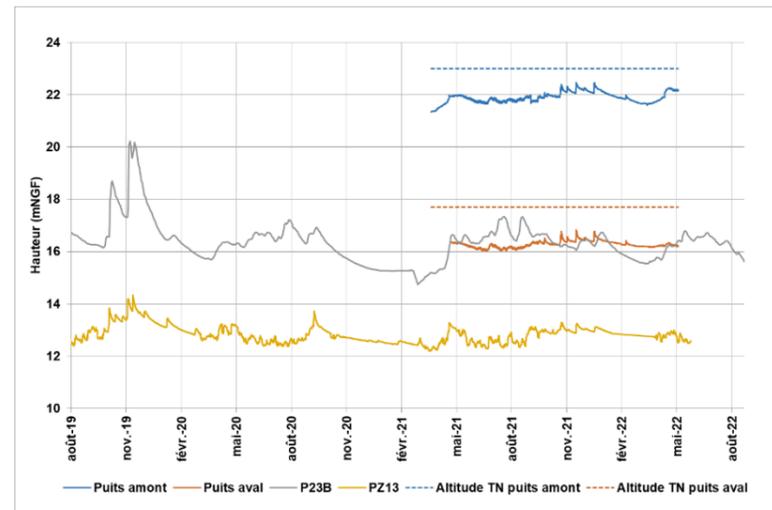
En vert clair : ennoiement temporaire.

La taille des cercles bleus est approximative et varie au cours de l'année.

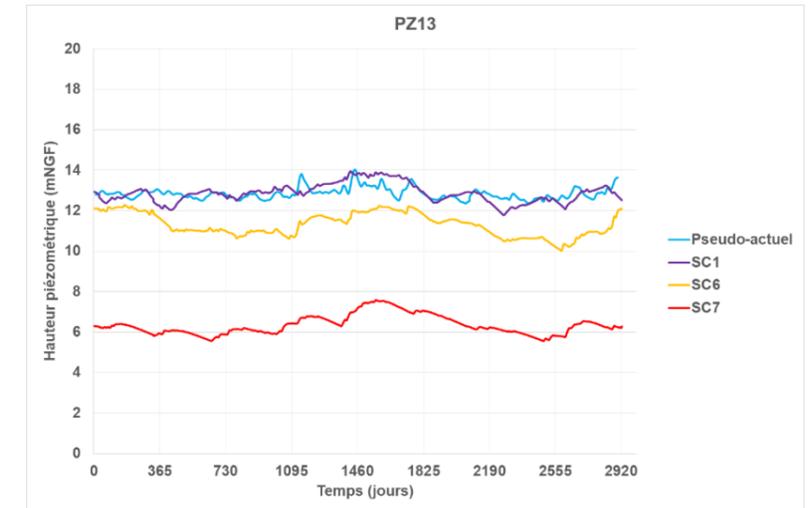
Les variations piézométriques enregistrées sur la période de mesure montrent des battements de nappe d'ordre métrique (faible amplitude). Cette faible variation des niveaux piézométriques est observée autant dans la zone humide (puits amont et aval, P23B) qu'à l'aval immédiat PZ13.

Le terrain naturel des sites « Puits amont » et « Puits aval » se situe à une altitude respective de 23 mNGF et 17,7 mNGF. On observe sur la figure suivante que le toit de la nappe varie dans une amplitude de 1 mètre par rapport au terrain naturel la plus grande partie de l'année.

Variations piézométriques de la nappe au droit des piézomètres Puits amont, puits aval, P23B et PZ13



Hauteurs piézométriques mesurées dans la situation actuelle et évolution selon les scénarios SC1, SC6 et SC7 d'après les simulations réalisées dans le cadre de SINERGI sur la zone humide de Baussenq



EVOLUTION FUTURE

Au vu des observations disponibles, il n'est pas possible de déduire formellement une cote seuil justifiée pour l'arrêt d'alimentation de la zone humide par les eaux souterraines. Il est probable que des baisses de piézométrie sous 12 mNGF pour le piézomètre de référence PZ13 se traduisent par un arrêt des alimentations. En effet, lorsque la hauteur de la nappe au niveau du piézomètre PZ13 se rapproche de 12 mNGF (mois de juin, juillet et août 2021), le niveau de la nappe au niveau des sites Puits et Puits2 se rapproche du TN-1.

Ces constats ainsi que les chroniques piézométriques simulées dans le cadre du projet de recherche SINERGI permettent de proposer les observations suivantes quant à l'évolution possible des flux d'eau souterraine alimentant la zone humide :

- Le scénario SC1 ne se traduit pas par des variations significatives du niveau de la nappe dans ce secteur de l'aquifère ; les dynamiques d'alimentation de la zone humide par les eaux souterraines seront peu altérées.
- Les scénarios SC6 et SC7 se traduisent par des baisses de niveau de nappe sous 12 mNGF sur le piézomètre de référence. Il est possible et probable que cela entraîne la disparition du flux d'alimentation de la zone humide par les eaux souterraines.

Évolution potentielle de Baussenq selon les différents scénarios retenus

SITUATION ACTUELLE	SCENARIO 1 (CHANGEMENT CLIMATIQUE)	SCENARIO 6 (CHANGEMENT CLIMATIQUE ET REDUCTION DE 30% DES APPORTS D'EAU D'IRRIGATION DEPUIS LA DURANCE)	SCENARIO 7 (CHANGEMENT CLIMATIQUE ET SUPPRESSION TOTALE DES APPORTS D'EAU D'IRRIGATION DEPUIS LA DURANCE)
<ul style="list-style-type: none"> - Ennoiement temporaire des prairies humides (en période d'irrigation). Mares centrale et aval ennoyées quasiment toute l'année (superficie parfois très faible). - Croisement de la nappe et du TN limité à deux secteurs (centre et aval), dont la superficie est supérieure en hiver. - Croisement de la nappe et du TN-1 sur la quasi-totalité de la zone humide en hiver. 	<ul style="list-style-type: none"> - Similaire à la situation actuelle 	<ul style="list-style-type: none"> - La nappe baisse de 2 m environ. - Ennoiement temporaires mares centrale et aval (irrigation + pluies) mais ne sont plus ennoyées en permanence en hiver. - Possibilité de conservation des prairies humides si les périodes d'irrigation sont appropriées et si l'activité de pâturage est maintenue - Maintien de la peupleraie. Réduction surfacique des habitats frais. 	<ul style="list-style-type: none"> - La nappe baisse de 7 m environ. - Assèchement total à terme - Développement durable des fruticées mésophiles (ronciers, fourrés à Prunelliers...) sur les terrains actuellement pâturés.



ILON



Ilon est



Ilon ouest – grand marais



Cladiaie

PRESENTATION DE LA ZONE HUMIDE

Le marais de l'Ilon est situé au pied du massif de l'Anelier, en bordure nord de la Crau, dans la dépression de la vallée des Baux face aux Alpilles. La zone humide couvre environ 75 ha.

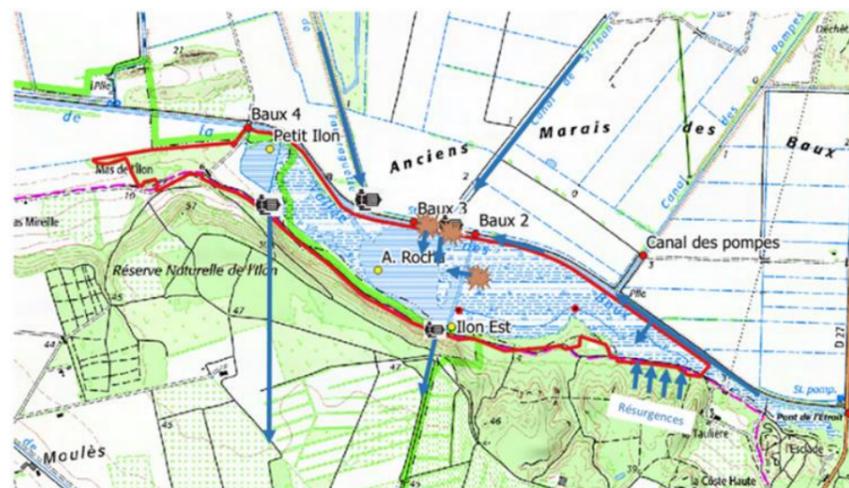
Elle correspond à un exutoire nord de la nappe des cailloutis de la Crau, située en surplomb par rapport au marais, qui l'alimente à travers le karst de l'Anelier, sous forme de résurgence, surtout visibles à l'Est et de drainance ascendante sur toute la zone humide.

L'altitude moyenne est d'environ 1 mNGF. Le minimum recensé se situe autour de 0,2 mNGF (altitude du miroir d'eau).

Le marais de l'Ilon Est montre une très forte influence des résurgences de la nappe d'eau froide, qui se traduit par le développement de la cladiaie à Marisque, accompagnée de plusieurs espèces strictement associées aux marais froids comme la Scutellaire à casque. A l'inverse, les marais ouest (Grand marais et Petit marais) sont caractérisés par les apports d'importantes quantités d'eaux de surface provenant des brèches du canal d'assainissement de la vallée des Baux. La végétation y est radicalement différente, avec développement très important de la cariçaie à Laiche élevée, de plans d'eau à macrophytes comme le Nénuphar jaune, et de ceintures à Roseau commun et à joncs. Dans les marges sud des marais de l'Ilon Ouest, la présence régulière de l'Ecuelle d'eau et, plus localement, la présence du Nénuphar blanc signent la proximité des eaux froides. Le signal d'une nappe froide est bien présent, même si l'influence des eaux chaudes de surface domine et obère le développement des cortèges les plus exigeants de la cladiaie.

Les transitions avec la végétation du bassin versant sont très franches : le marais est par endroit directement contact avec la Chênaie verte xérophile. Un étroit cordon de ripisylve à Frêne et Peuplier blanc s'intercale par endroits entre les zones hygrophiles et la chênaie verte.

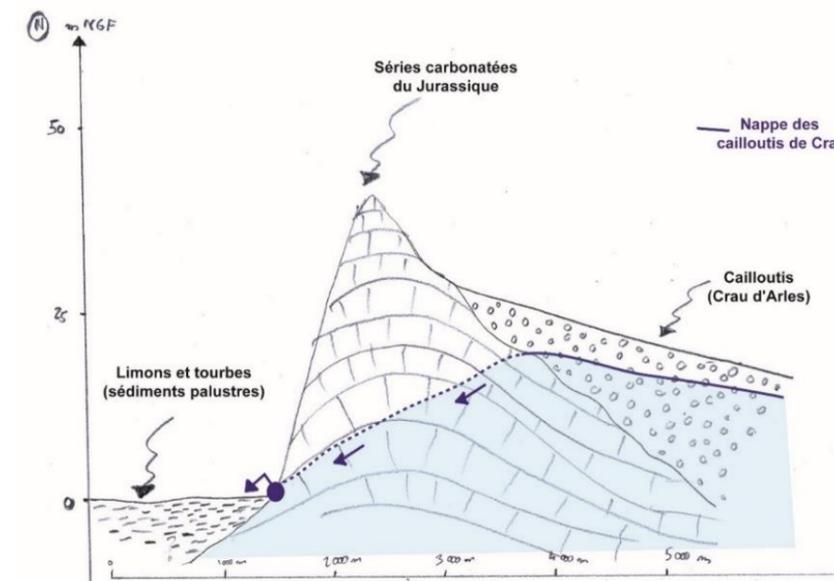
Principaux flux entrants d'eau superficielle dans la zone humide



- Jaugeage au droit d'une sonde sur canal
- Jaugeage sur canal uniquement
- Flux d'eau
- ☼ Pompe
- ☼ Brèche

La zone humide repose sur les sédiments quaternaires qui forment la dépression des Baux. Au droit de la zone humide, selon la carte géologique, il s'agit de « limons d'origine colluviale, parfois tourbeux : il s'agit essentiellement des limons de décantation piégés dans la cuvette allongée des marais des Baux. Les limons gris proviennent du lessivage des formations environnantes ». D'un point de vue hydrogéologique, ces limons sont peu perméables.

Schéma de la géologie du marais de l'Ilon selon une orientation nord-sud



FONCTIONNEMENT ACTUEL

Le marais de l'Ilon est compartimenté. On distingue :

- L'Ilon Est ;
- Le grand marais de l'Ilon Ouest ;
- Le petit marais de l'Ilon Ouest.

Ces trois compartiments sont délimités au nord par le canal d'assainissement de la vallée des Baux.

Ilon est

L'Ilon Est est déconnecté du canal d'assainissement de la Vallée des Baux tant que le débit de ce dernier reste inférieur à environ 2 000 l/s. Lorsque le débit du canal d'assainissement de la Vallée des Baux est supérieur à 2 000 l/s, celui-ci alimente l'Ilon Est. Cependant, lorsque le débit du canal diminue pour repasser en-dessous des 2 000 l/s, l'Ilon Est se décharge dans le canal d'assainissement de la Vallée des Baux pour revenir à son état initial.

La constance du niveau d'eau de l'Ilon Est est assurée par les apports d'eaux souterraines, via des résurgences. En été, ces dernières apportent environ 200 l/s à l'Ilon Est et environ 50 l/s en hiver.

Les sorties d'eau de l'Ilon Est s'effectuent par débordement dans le canal, évaporation et évapotranspiration (les phénomènes évaporatoires correspondent à 10 à 20 l/s en été).

Tant que le flux souterrain sera supérieur 20 l/s, l'Ilon Est sera en grande partie ennoyé



Grand marais de l'Ilon Ouest

Le fonctionnement du Grand marais est principalement régulé par le débit et la hauteur d'eau du canal d'assainissement de la Vallée des Baux. Le canal d'assainissement de la Vallée des Baux et le Grand marais fonctionnent comme un seul et même réservoir.

Petit marais de l'Ilon Ouest

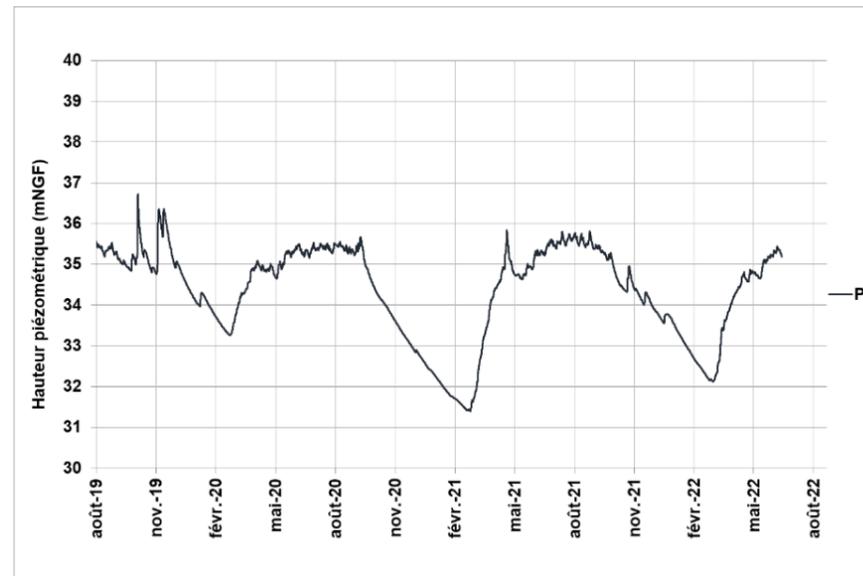
La hauteur dans le Petit marais est corrélée avec celle du canal d'assainissement de la vallée des Baux lorsque cette dernière dépasse 0,73 mNGF environ (débit dans le canal voisin de 1 700 l/s). En dessous, la hauteur d'eau du Petit marais varie indépendamment du canal d'assainissement de la Vallée des Baux.

EVOLUTION FUTURE

L'Ilon est alimenté de façon constante par les eaux souterraines. Les apports d'eau se font au droit de la zone humide (cote NGF du sol à environ 1 mNGF) en provenance des cailloutis de Crau à plusieurs kilomètres au Sud et dont la nappe est localisée entre 30 et 35 mNGF, au travers du massif karstique de l'Anelier.

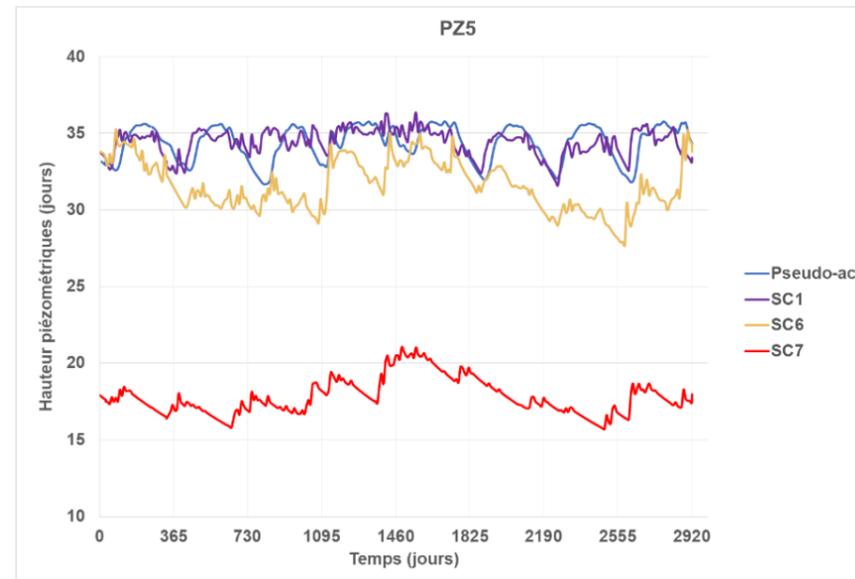
Le piézomètre le plus proche de la zone humide (PZ5) montre des variations pluri-métriques entre hautes et basses eaux ; ceci étant, il faut raisonner en gradient et non en cote absolue dans cette configuration hydrogéologique. Avec une distance d'environ 7 000 m entre PZ5 et la zone humide, le passage d'une cote de 36 mNGF à une cote de 31 mNGF implique le passage d'un gradient de 0,5% à 0,4%, soit une baisse de débit attendue de l'ordre de 20% des débits en période hivernale par rapport à la période estivale.

Niveau de la nappe au niveau du piézomètre PZ5



Concernant l'estimation des flux d'eau souterraine alimentant la zone humide, le programme SINERGI a permis d'estimer les niveaux piézométriques sur le PZ5 en bordure de Crau.

Hauteurs piézométriques mesurées dans la situation actuelle et évolution selon les scénarios SC1, SC6 et SC7



Le scénario SC1 basé sur une continuité des apports depuis la Durance et la seule modification des paramètres hydro-climatiques en 2050 montre des cotes piézométriques à peu près équivalentes à la situation actuelle. Les débits d'alimentation en eaux souterraines de la zone humide ne devraient que peu varier.

Le scénario SC6 montre une baisse significative des niveaux de nappe mais en termes de gradient piézométrique, la baisse devrait être modérée (de l'ordre de 20%).

Le scénario SC7 se traduit par un effondrement des niveaux de nappe. En raisonnant en gradient, on passerait toutes choses étant égales par ailleurs d'un gradient de 0,5% à un gradient de 0,2%, soit une diminution probable des flux de 60%. De plus, au vu de la configuration hydrogéologique, il n'est pas exclu que les eaux en provenance de Crau et à destination de la zone humide se tarissent complètement. En effet, les eaux « empruntent » actuellement des réseaux karstiques dont l'altitude n'est pas connue ; on peut envisager qu'une baisse trop importante du niveau de la nappe entraîne un dénoisement de ces réseaux ou qu'à des cotes inférieures à 20 mNGF, on ait des formations peu ou moins perméables (Miocène ou Pliocène) entre les cailloutis de la Crau et les calcaires karstifiés de l'Anelier.

Évolution potentielle du marais de l'Ilon selon les différents scénarios retenus

SITUATION ACTUELLE	SCENARIO 1 (CHANGEMENT CLIMATIQUE)	SCENARIO 6 (CHANGEMENT CLIMATIQUE ET REDUCTION DE 30% DES APPORTS D'EAU D'IRRIGATION DEPUIS LA DURANCE)	SCENARIO 7 (CHANGEMENT CLIMATIQUE ET SUPPRESSION TOTALE DES APPORTS D'EAU D'IRRIGATION DEPUIS LA DURANCE)
<ul style="list-style-type: none"> - Majorité de la surface ennoyée toute l'année. Influence des eaux souterraines par résurgence (surtout visible sur Ilon Est) et par drainage ascendante sur tout l'lon. Expression des espèces inféodées aux milieux froids en bordure sud du site. - Grand marais de l'Ilon Ouest, en communication directe et permanente avec le canal via plusieurs brèches. - Ilon Est et petit marais de l'Ilon Ouest : alimentés par le canal uniquement en période de crue. - TN-1 engorgé de manière quasi-permanente sur la quasi-totalité de la zone humide. Tourbe à partir de 50cm de profondeur. 	<ul style="list-style-type: none"> - Similaire à la situation actuelle 	<ul style="list-style-type: none"> - Réduction du flux d'eaux souterraines d'environ 20%. A priori pas d'influence sur l'engorgement mais réduction surfacique de la zone d'influence des eaux souterraines au niveau de l'lon Est pourrait se traduire par une réduction des habitats froids et par une réduction des populations reliques glaciaires. - Sur le grand marais de l'Ilon Ouest : réduction de 15% de la surface ennoyée 75% du temps. Développement d'îlots de saulaie et, en marges, de peupleraies. 	<ul style="list-style-type: none"> - Réduction du flux d'eau souterraine d'environ 60% (ou possiblement 100% selon la configuration hydrogéologique du site). L'lon Est reste en eau (en cas de réduction de 60% des apports souterrains) ou ennoyé que quand le canal est en crue (100%). - Le reste des compartiments n'est ennoyé que quand le canal est en crue. - Maintien potentiel de l'engorgement affleurant. Extension de la saulaie et des peupleraies blanches. Réduction encore plus franche des habitats froids (cladaie) et des populations de reliques glaciaires dans l'lon Est.



CHANOINES



Apports drainage Raphèle les Arles



Canal de la Chapelette



Lauron

PRESENTATION DE LA ZONE HUMIDE

Le marais des Chanoines constitue la partie amont de l'ensemble « Marais de Raphèle ». Il s'étend sur environ 500 ha et est situé à l'exutoire nord-ouest de la nappe des cailloutis de la Crau.

L'altitude avoisine les 4-5 m NFG en bordure du site et s'élève à environ 1,7 m en moyenne sur la zone humide.

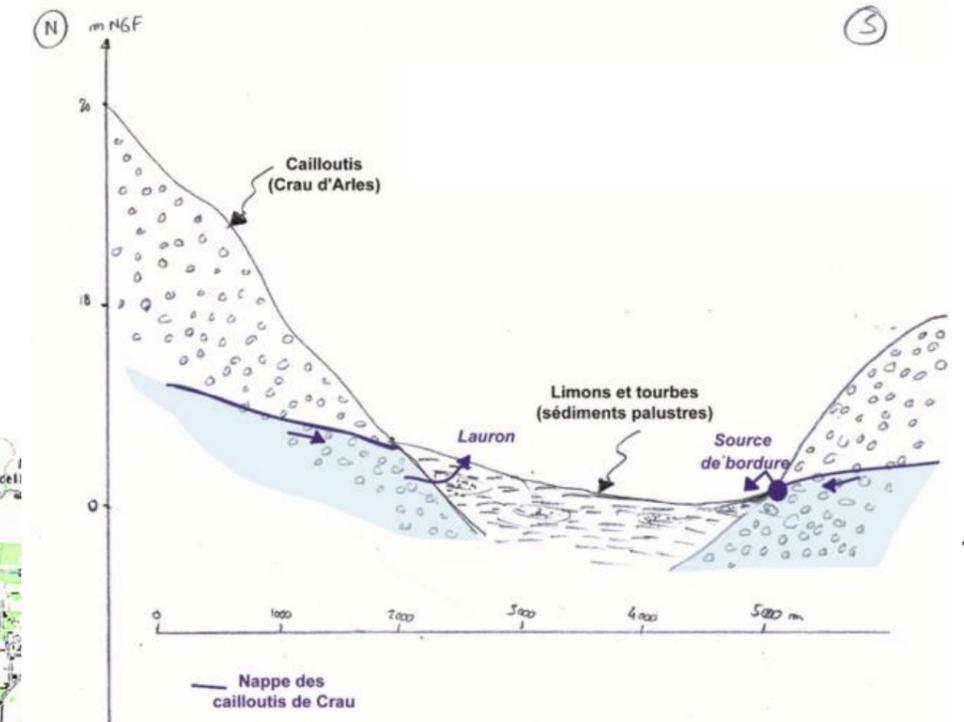
La végétation est dominée par les groupements typiques des marais froids, avec des mosaïques de cladaies à Marisque et différents faciès de prairies humides (prairies à Molinie, formations à Choin noir...). La pression pastorale joue un rôle important dans l'organisation de la végétation. Les fragments de cladaies s'observent principalement aux abords des laurons clôturés pour la protection du bétail. S'y maintiennent de nombreuses espèces typiques des eaux fraîches, dont quelques pieds de Gentiane des marais, espèce emblématique des marais froids de Crau, associée à la Fougère des marais ou au Mouron délicat. C'est dans ce marais qu'était encore cité dans les années 1970 le Liparis de Loesel, considéré aujourd'hui comme disparue, mais dont la mention témoigne de l'intérêt floristique exceptionnel de ce site. Le marais du Petit Beyne, au sud du canal de la Chapellette, accueille des mosaïques de cladaies et prairies humides pâturées avec une intensité plus faible.



La zone humide repose sur les sédiments quaternaires qui viennent en recouvrement des cailloutis de Crau. Il s'agit principalement de sédiments palustres réputés peu perméables.

D'un point de vue hydrogéologique, les sédiments quaternaires sont peu perméables ; l'alimentation de la zone humide peut se faire de deux manières : par des sources de bordure au contact avec les cailloutis de Crau ou par des laurons.

Schéma de la géologie du marais des Meyranne et des Chanoines selon une coupe nord sud



FONCTIONNEMENT ACTUEL

L'arrêt concomitant du fonctionnement de la station hydrométrique de la Chapelette avec le démarrage de l'acquisition des données d'Osrose 2 prive l'étude de l'information relative au principal flux entrant dans la zone humide. En l'absence de ces données il n'est donc pas possible de réaliser un bilan hydrologique complet comme sur les autres zones humides.

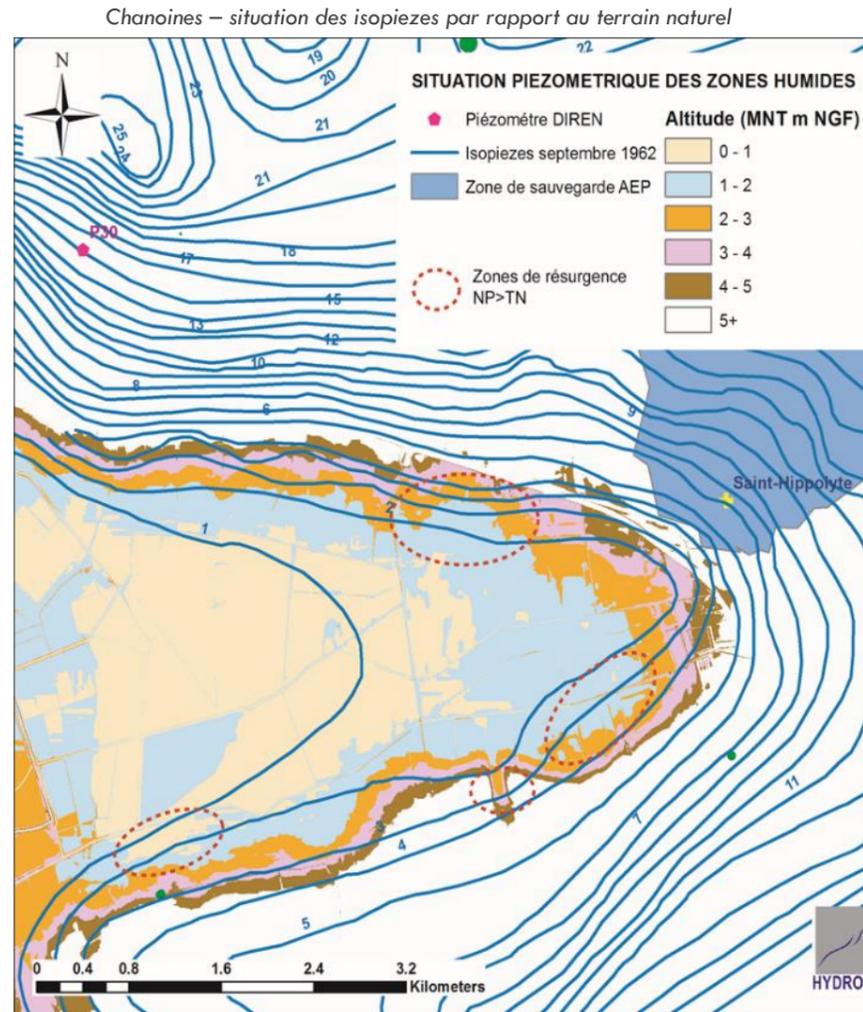
L'analyse des données historiques enregistrées au niveau de la station hydrométrique de la Chapelette indique qu'environ 800 l/s entrent dans le marais en été, contre 200 l/s en hiver.

Des mesures de débits ont été réalisées au niveau des fossés (Mandon et Saunier et Bellombre) situés au nord-est de la zone humide. Ces fossés drainent l'eau des parcelles agricoles et alimentent le canal du Chalavert. En été, ces fossés apportent environ 650 l/s. Ils sont à sec en hiver. Toutefois, de par leur position topographique, ces fossés drainent la nappe des cailloutis de Crau ainsi que de l'eau pluvial.



En sortie du marais, l'analyse des sondes mesurant en continu la hauteur d'eau (convertie en débit à l'aide des jaugeages réalisés à l'entrée de Meyranne), indique que le marais des Chanoines restitue environ 2 à 3 m³/s en été, contre 600 l/s en hiver.

Cette différence s'explique par un apport massif d'eau souterraine en permanence, avec un pic en été. Cette observation est cohérente avec la piézométrie qui est supérieure au terrain naturel sur plusieurs secteurs et alimente donc la zone humide par des résurgences mais également via des laurons et au travers de la drainance ascendante ailleurs.



Ce site présente peu de superficie ennoyée à l'exception des laurons et de leurs abords.

Le terrain naturel (TN) et le TN-1 semblent engorgés en permanence comme l'attestent les relevés de végétation et les sondages pédologiques. Ces éléments sont corroborés par la piézométrie.

La majeure partie des sols de la zone d'étude sont caractérisés par des engorgements en eau permanent à très faible profondeur. A l'est, les conditions d'engorgement en eau à faible profondeur sont évaluées comme temporaires.

Superficie concernée par un engorgement quasi-permanent à TN-1 d'après les sondages pédologiques



ÉVOLUTION FUTURE

L'arrêt du fonctionnement de la station hydrométrique de la Chapelette prive ce site d'un bilan hydrologique complet. Les impacts sur le fonctionnement de la zone humide et sur la distribution des habitats et espèces végétales présentés dans le tableau ci-dessous constituent donc une appréciation à dire d'experts.

Évolution potentielle du marais des Chanoines selon les différents scénarios retenus

SITUATION ACTUELLE	SCENARIO 1 (CHANGEMENT CLIMATIQUE)	SCENARIO 6 (CHANGEMENT CLIMATIQUE ET REDUCTION DE 30% DES APPORTS D'EAU D'IRRIGATION DEPUIS LA DURANCE)	SCENARIO 7 (CHANGEMENT CLIMATIQUE ET SUPPRESSION TOTALE DES APPORTS D'EAU D'IRRIGATION DEPUIS LA DURANCE)
<ul style="list-style-type: none"> - Abondance des espèces liées aux eaux froides. Exutoire de la nappe de la Crau. - Nombreux laurons et résurgences. Croisement de la nappe avec la TN. - Pas d'enneigement (ou très localisé) mais TN engorgé de manière quasi-permanente. - Importante épaisseur de tourbe. 	<ul style="list-style-type: none"> - Probablement similaire à la situation actuelle : - Apport des eaux souterraines diminue de 10 % et baisse piézométrique négligeable ; - Conservation des flux d'eaux superficielles. 	<ul style="list-style-type: none"> - Réduction des flux d'eau souterraine d'environ 40% et baisse piézométrique potentiellement infra-métrique ; - Baisse significative des « arrivées » d'eau agricole (bout du réseau) ; - Coupure de toutes les alimentations latérales hautes (sources latérales de débordement), pertes de certains laurons, conservation du flux d'alimentation par drainance. - Probable maintien de l'engorgement permanent à TN-1 et potentiellement au niveau du terrain naturel dans les parties les plus basses. - Maintien de la signature des milieux froids dans les zones bénéficiant des apports par drainance, dans les parties les plus basses 	<ul style="list-style-type: none"> - Réduction du flux nappe d'environ 75% et baisse piézométrique de l'ordre du mètre ; - Probable maintien du caractère humide (TN-1 reste engorgé) mais probable dessèchement de l'horizon superficiel (entre TN et TN-1). - Réduction du caractère humide froid (colmatage des laurons, assèchement de la partie superficielle du marais) - Evolution vers des prairies humides puis saulaies, avec possible maintien de laurons vers l'aval du marais



MEYRANNE



Canal du Chalavert



Canal de la Chapelette exutoire

PRESENTATION DE LA ZONE HUMIDE

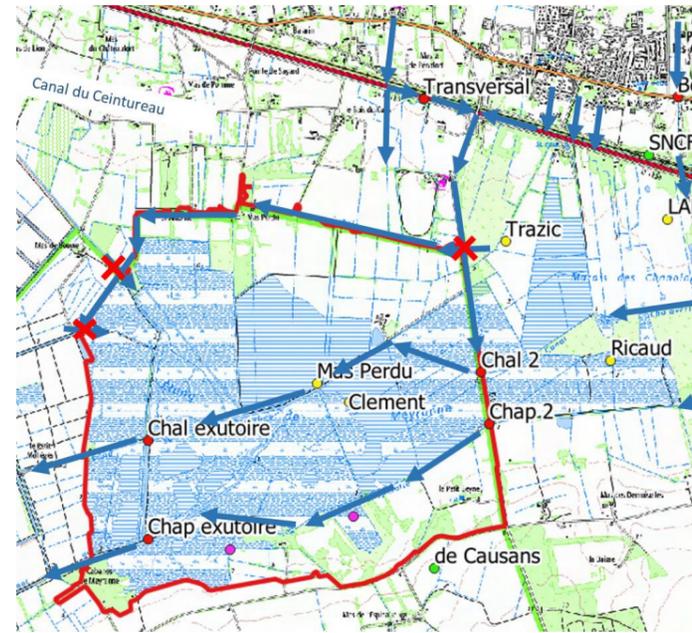
Le marais de Meyranne correspond à la partie aval des marais de Raphèle. Il s'étend sur près de 700 ha. Il constitue l'exutoire du marais des Chanoines dont il reçoit les apports principaux par les canaux du Chalavert et de la Chapelette. Il constitue également l'exutoire de la nappe des cailloutis de Crau et présente également des laurons moins nombreux que sur Chanoines.

Son altitude moyenne est d'environ 1,2 mNGF. La bordure sud est légèrement surélevée (altitude : 3 m). La partie centrale du marais présente une altitude moyenne d'1 m environ.

L'organisation de la végétation est fortement influencée par la gestion pratiquée sur le site. L'enneigement périodique par les eaux de surface se traduit par le développement de grandes surfaces en eau localement occupées par des herbiers de Nénuphar jaune, et bordées de diverses ceintures hygrophiles : roselières à Roseau commun, Scirpaies à Scirpe lacustre, typhaies à Massette à feuillues étroites... Les ripisylves à Frêne et Peuplier blanc se développent dans les stations surélevées.

L'influence des eaux froides reste notable à l'ouest et au sud du marais de Meyranne, où elle est masquée par les activités agricoles (prairies) et par l'enneigement par les eaux de surface, favorables aux cortèges plus tempérés. Cette proximité de la nappe se manifeste notamment par le développement important de la fougère des marais dans les roselières, par l'apparition ponctuelle du Nénuphar blanc dans les Scirpaies et par l'abondance de l'Ecuelle d'eau dans les zones cultivées.

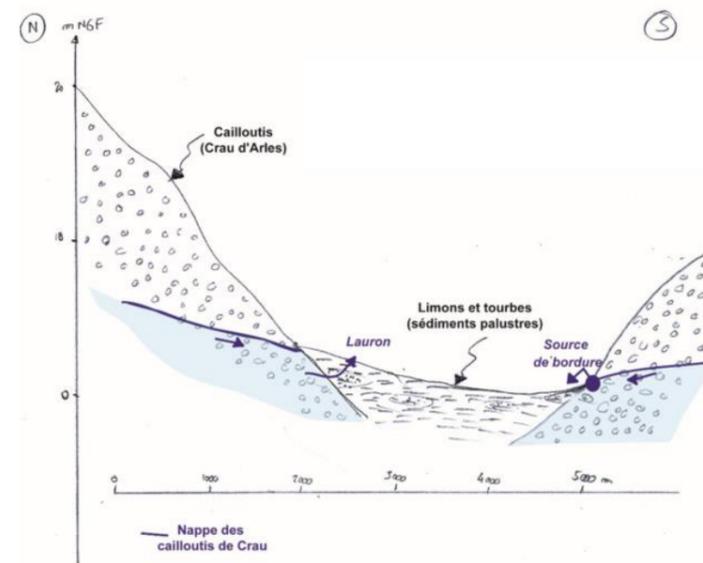
Principaux flux entrants d'eau superficielle dans la zone humide



La zone humide repose sur les sédiments quaternaires qui viennent en recouvrement des cailloutis de Crau. Il s'agit principalement de sédiments palustres réputés peu perméables.

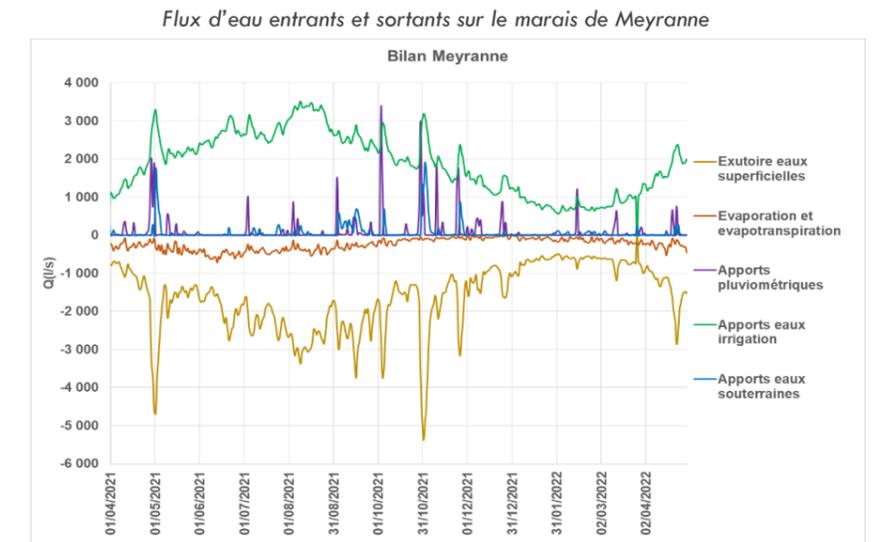
D'un point de vue hydrogéologique, les sédiments quaternaires sont peu perméables ; l'alimentation de la zone humide peut se faire deux manières : par des sources de bordure au contact avec les cailloutis de Crau ou par des Laurons.

Schéma de la géologie du marais de Meyranne selon une coupe nord sud



FONCTIONNEMENT ACTUEL

Le graphique suivant présente un bilan des flux à l'échelle du marais de Meyranne. Les flux d'eau de surface entrant et sortant du marais correspondent aux écoulements des canaux du Chalavert et de la Chapelette. A l'échelle du marais, les écoulements des canaux sont prédominants par rapports aux autres termes du bilan. Or, l'eau des canaux du Chalavert et de la Chapelette traverse le marais d'est en ouest et contribue peu à l'alimentation effective du marais.



L'alimentation principale de la zone humide se fait principalement à partir des eaux de surface. Les débits d'apport des eaux souterraines sont faibles (quelques centaines de l/s en moyenne) ; c'est un résultat conforme aux connaissances acquises dans le programme de recherche SINERGI qui avait montré que la vidange de la nappe intéresse plutôt les marais de Chanoines que ceux de Meyranne et que les flux d'alimentation en eau souterraine sur Meyranne seraient limités à sa bordure Sud.

Ceci étant dit, le signal superficiel intègre ici les eaux de nappe. Comme cela a été démontré sur le site des Chanoines, la zone humide gagne entre 200 l/s à 1,2 m³/s entre les entrées et les sorties en hiver (400 l/s en été). Ces apports rejoignent l'entrée de Meyranne par les canaux du Chalavert et de la Chapelette. Par ailleurs, l'influence géographique des canaux sur les niveaux d'eau est relativement modeste (casiers ennoyés) par rapport à la superficie globale de la zone humide. Les eaux souterraines jouent bien un rôle important voire prépondérant vis-à-vis de l'engorgement du TN et TN-1.

Le flux sortant principal correspond aux eaux superficielles (qui intègrent le signal souterrain en provenance de Chanoines) au niveau de l'exutoire de la zone humide.

L'évaporation à la surface de l'eau, l'évapotranspiration et les apports depuis la nappe sont des phénomènes secondaires en termes de flux.

Notons que les estimations de débit concernant les eaux souterraines doivent être considérées comme peu fiables.



Ennoiment superficiel des zones humides

Le marais de Meyranne présente de nombreux bassins dont l'alimentation peut être réalisée de façon artificielle à partir des canaux du Chalavert et de la Chapelette. Par ailleurs, le site présente des ennoiments superficiels ponctuels (localisés principalement au sud du site).

La figure suivante illustre les alimentations artificielles possibles des différents bassins du marais de Meyranne.

En ce qui concerne les roselières qui se trouvent à l'ouest du site (2 bassins situés entre la Chapelette et le Chalavert et 1 autre bassin au nord du Chalavert), ces 3 bassins sont occupés par des roselières où l'AMV vise un niveau d'eau idéal d'environ 0,8 mNGF de début mars à mi-juillet pour la nidification des hérons paludicoles. Ces trois bassins disposent d'au moins une martelière d'un mètre de large et de petits ouvrages secondaires. Lorsque cela est possible, ces bassins sont alimentés en eau depuis le Chalavert. Sur un des deux bassins le plus au sud, il est possible de faire rentrer de l'eau depuis la Chapelette (ceci reste exceptionnel au printemps sauf épisode de pluie intense).

Sur le terrain où est installée la sonde Mas Perdu, une gestion similaire est effectuée par les chasseurs depuis le Chalavert.

Sur la période 01/04/2021 au 15/07/2021, la hauteur d'eau dans le canal du Chalavert a dépassé 0,80 mNGF durant 23 jours.

Alimentations artificielles possibles des différents bassins du marais de Meyranne



- Ouverture libre
- Ouvrage fonctionnel
- Ouvrage non fonctionnel
- Bassins gérés par l'AMV
- Bassins gérés les chasseurs

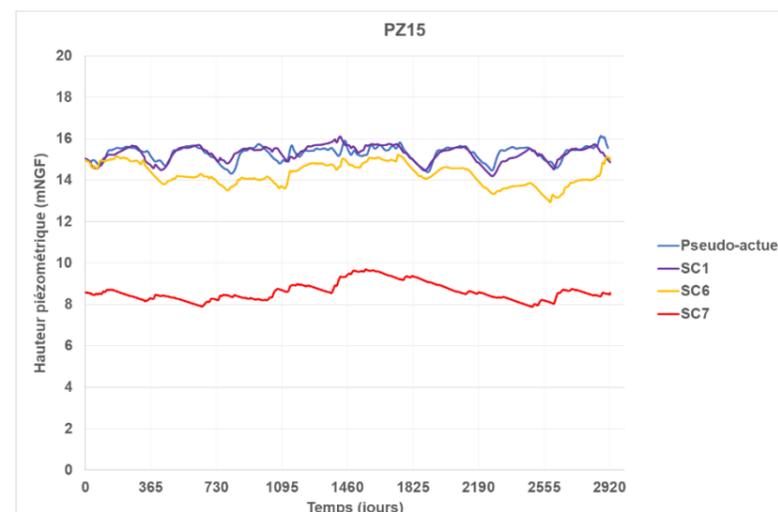
ÉVOLUTION FUTURE

Les modélisations réalisées dans le cadre du projet de recherche SINERGI permettent d'estimer les variations de hauteur de nappe des cailloutis de Crau à proximité de la zone humide.

En prenant comme référence le PZ15 situé à l'amont de la zone humide, à proximité de Saint-Martin de Crau, on peut constater sur le graphe ci-dessous que le scénario 1 se traduira par l'absence d'impacts significatifs en termes de baisses piézométriques.

Les scénarios 6 et 7 se traduisent par contre par des baisses importantes, respectivement de 2 et 8 m.

Hauteurs piézométriques mesurées dans la situation actuelle et évolution selon les scénarios SC1, SC6 et SC7



Il est difficile de quantifier précisément les impacts de ces baisses piézométriques sur le fonctionnement de la zone humide. En effet, rappelons que dans son fonctionnement actuel, les volumes colossaux d'eau superficielle alimentant la zone humide n'ont pas permis d'estimer précisément les volumes d'eau souterraine alimentant la zone humide.

Ceci étant, il est possible de qualifier l'impact de ces baisses piézométriques en raisonnant par gradient hydraulique. Rappelons que la zone humide affleure entre 1 et 3 mNGF sur les bordures. Toute chose égale par ailleurs, une baisse piézométrique de 2 mètres (SC6) devrait théoriquement se traduire par une diminution du flux d'alimentation par les eaux souterraines d'environ 30% ; selon cette même logique, une baisse de 8 m (SC7) impliquera théoriquement une diminution du flux d'alimentation par les eaux souterraines d'environ 60%.

Il reste délicat de qualifier spatialement les impacts de ces baisses de débit attendues. Il est cependant possible de proposer que ces baisses de flux impacteront les zones périphériques de la zone humide : on commencera probablement par assécher les sources de débordement latéral, puis les laurons les plus excentrés tariront.

Évolution potentielle du marais de Meyranne selon les différents scénarios retenus

SITUATION ACTUELLE	SCENARIO 1 (CHANGEMENT CLIMATIQUE)	SCENARIO 6 (CHANGEMENT CLIMATIQUE ET REDUCTION DE 30% DES APPORTS D'EAU D'IRRIGATION DEPUIS LA DURANCE)	SCENARIO 7 (CHANGEMENT CLIMATIQUE ET SUPPRESSION TOTALE DES APPORTS D'EAU D'IRRIGATION DEPUIS LA DURANCE)
<ul style="list-style-type: none"> - Reçoit les apports de Chanoines. - Ennoiment superficiel temporaire dans les compartiments proches des canaux. Principalement lié aux apports d'eaux superficielles par le canal du Chalavert. Gestion hydraulique pour maximiser l'ennoiment entre avril et juillet, favorable pour l'avifaune. - Ponctuellement, ennoiment superficiel lié aux eaux souterraines via des laurons (surtout au sud). - Importante épaisseur de tourbe. Engorgement permanent à TN - 1 (altitude 1 m et exutoire de l'hydrosystème) - Influence des eaux froides notable à l'ouest et au sud du marais de Meyranne, où elle est masquée par les activités agricoles (prairies) et par l'ennoiment par les eaux de surface, favorables aux cortèges plus tempérés 	<ul style="list-style-type: none"> - Quasi-similaire à la situation actuelle 	<ul style="list-style-type: none"> - Réduction des flux d'eau souterraine d'environ 30%. - Baisse du niveau d'eau dans les canaux ne permettant pas d'ennoiment (hors période de crue) sans aménagement des martelières. En cas d'abaissement des martelières, possibilité d'envoyer un tiers de la superficie ennoiyable actuellement. Impact sur herbiers de macrophytes flottants. - Maintien de l'engorgement et des laurons 	<ul style="list-style-type: none"> - Réduction du flux nappe d'environ 70%. - Colmatage des laurons - Disparition de l'ennoiment superficiel par les apports du canal en période d'irrigation. Potentiellement possible uniquement en période en crue. - Assèchement possible de l'horizon superficiel (entre TN et TN-1).



COSTIERES DE CRAU



Canal du Colmatage



Tenque habitat

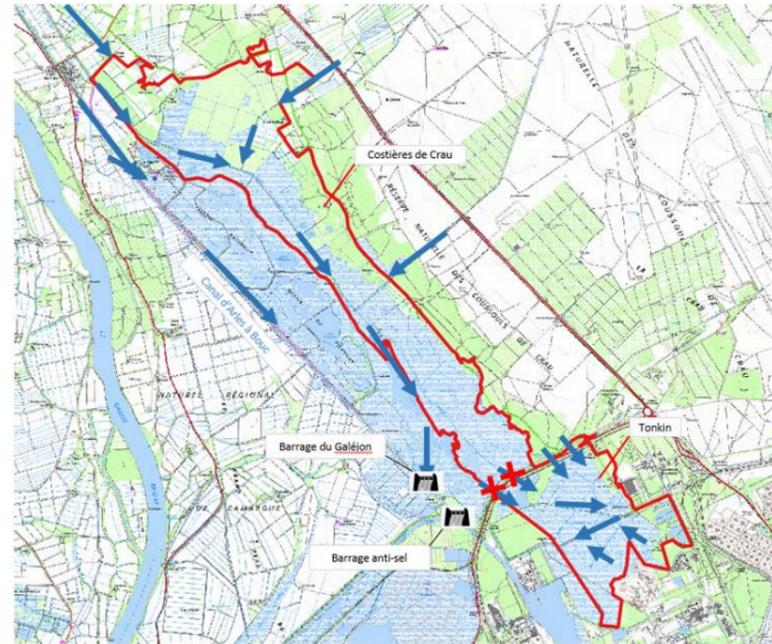
PRESENTATION DE LA ZONE HUMIDE

La figure suivante présente l'emprise du marais des Costières de Crau retenue dans le cadre de l'étude. Il se situe au sud-ouest de la plaine de la Crau. Cette emprise comprend le marais des Costières de Crau à proprement parlé et celui du Tonkin. Ces deux entités sont déconnectées et présentent des fonctionnements différents. L'ensemble s'étend sur une superficie de 2 700 ha.

La topographie du marais est caractérisée par une pente d'orientation nord-est sud-ouest. Sur sa bordure nord-est, la zone humide présente une altitude de 2 à 3 mNGF. Elle varie entre 0,5 et 0,7 mNGF dans l'emprise du marais.

La zone humide est très compartimentée et les circulations d'eau superficielle sont complexes. Son espace de fonctionnalité est vaste.

Principaux flux entrants d'eau superficielle dans la zone humide



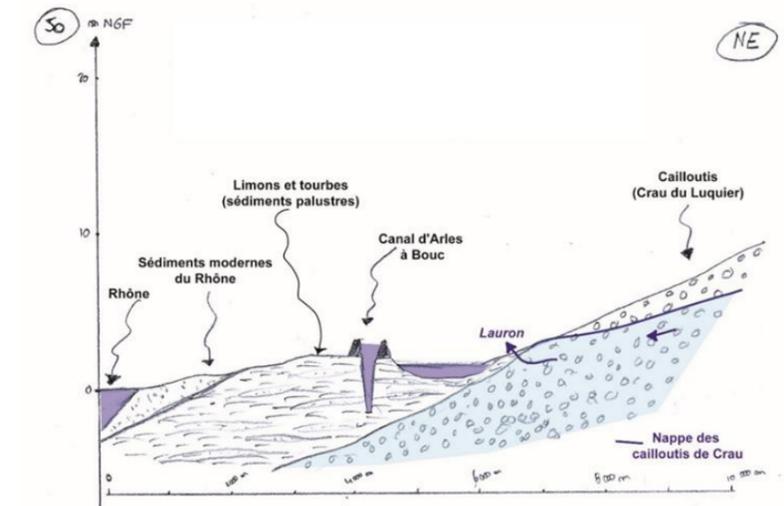
- Flux d'eau
- Absence de flux d'eau
- Ouvrage hydraulique

La végétation s'organise principalement en fonction des gradients d'humidité et de température des substrats. Différents faciès de prairies humides (prairies à Molinie, formations à Choin noir...) laissent la place à des marais froids à Marisque dans les zones d'affleurement de la nappe. S'y maintiennent de nombreuses espèces typiques des eaux fraîches, notamment de remarquables populations de Gentiane des marais, espèce emblématique des marais froids de Crau, associées à la Fougère des marais, à la Scutellaire en casque ou au Mouron délicat. La pression pastorale joue également un rôle important dans l'organisation de la végétation.

La zone humide repose sur les sédiments (limons et tourbes) quaternaires qui viennent en recouvrement des cailloutis de Crau (Crau du Luquier). Il s'agit principalement de sédiments palustres réputés peu perméables.

D'un point de vue hydrogéologique, les sédiments quaternaires sont peu perméables ; l'alimentation de la zone humide peut se faire de deux manières : par des sources de bordure au contact avec les cailloutis de Crau ou par des Laurons.

Schéma de la géologie du marais des Costières de Crau selon une coupe Nord-Est Sud-Ouest



Le terrain naturel (TN) semble engorgé en permanence comme l'attestent les relevés de végétation, tout comme le TN-1 comme l'attestent les sondages pédologiques. La majeure partie des sols de la zone d'étude sont caractérisés par des engorgements en eau permanent à très faible profondeur. Les sondages pédologiques sur la partie du marais du Tonkin ont mis en évidence la présence d'horizons histiques (tourbe). Ces sols sont rattachés à des **Histosols**. Ce type de formation atteste la présence d'une nappe à faible profondeur de manière quasi permanente.

Superficie concernée par un engorgement quasi-permanent à TN-1 d'après les sondages pédologiques





FONCTIONNEMENT ACTUEL

Une analyse détaillée des flux et du fonctionnement des marais n'a pu être réalisée pour plusieurs raisons :

- Les données obtenues à l'issue du protocole de suivi ne nous ont pas permis d'établir des courbes de tarage pertinentes pour la majorité des sites suivis ;
- Le protocole de suivi incluait l'utilisation des données de hauteur d'eau et/ou de débit des barrages pour le calcul des flux sortants du marais des Costières de Crau et du canal d'Arles à Bouc. Ces données n'ont pu être toutes récupérées auprès du GPMM pour l'ensemble de la période d'étude.

En régulant le débit sortant du marais des Costières de Crau, le barrage du Galeijon et, de façon indirecte, le barrage anti-sel font varier artificiellement la répartition de l'eau dans le marais, indépendamment des flux entrants. Les écoulements dans le marais des Costières de Crau n'est plus naturel. A cette explication s'ajoute le rôle de zone tampon des zones humides que comprend le marais

Malgré les difficultés rencontrées, nous proposons ci-après une analyse des flux des marais des Costières de Crau sur la base des données disponibles.

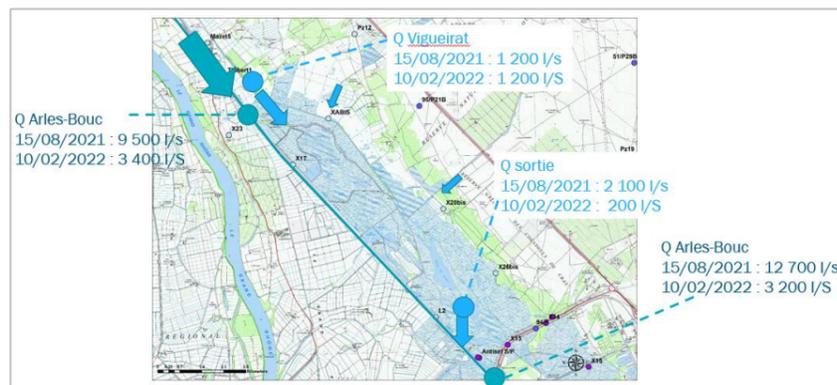
La figure suivante fait la synthèse des principaux débits entrants et sortants du marais des Costières de Crau pour 2 dates.

Ce bilan montre que le marais des Costières de Crau restitue plus d'eau en été qu'en hiver. En effet, les mesures permettent d'estimer un débit sortant de la zone humide de l'ordre de 2 m³/s en été et de 200 l/s en hiver, en rappelant que les pertes liées à l'évapotranspiration sont théoriquement maximales en période estivale et que les apports d'eau souterraine sont certainement plus importants en période hivernale.

C'est un constat majeur : on observe donc une situation totalement inversée par rapport à la théorie.

Attention, ce constat repose sur 2 mesures ponctuelles dans un contexte très influencé.

Principaux flux d'eau mesurés en août 2021 et en février 2022



Il est difficile de quantifier ou même de qualifier les dynamiques de restitution des eaux souterraines dans cette zone humide. Les modélisations SINERGI prédisaient des flux moyens d'eau souterraine de l'ordre de 3 à 4 m³/s sur le secteur Costières et Tonkin, et préférentiellement en période hivernale. Ce n'est pas ce que nous observons et l'explication la plus logique serait un manque de mesures pertinentes pour capter ce signal ; il est aussi possible que ces dynamiques de restitution soient très complexes spatialement avec une hypothèse de flux majeurs dans le secteur du Tonkin plutôt que celui des Costières (avec une hypothèse supplémentaire d'un flux souterrain direct vers la mer qui échapperait ainsi aux zones humides).

ÉVOLUTION FUTURE

En l'absence d'une compréhension complète du fonctionnement de la zone humide, il nous est difficile d'évaluer les évolutions possibles de la zone humide selon les différents scénarios considérés (SC1, SC6 ou SC7).

Évolution potentielle du marais des Costières de Crau selon les différents scénarios retenus

SITUATION ACTUELLE	SCENARIO 1 (CHANGEMENT CLIMATIQUE)	SCENARIO 6 (CHANGEMENT CLIMATIQUE ET REDUCTION DE 30% DES APPORTS D'EAU D'IRRIGATION DEPUIS LA DURANCE)	SCENARIO 7 (CHANGEMENT CLIMATIQUE ET SUPPRESSION TOTALE DES APPORTS D'EAU D'IRRIGATION DEPUIS LA DURANCE)
<ul style="list-style-type: none"> - Compréhension non stabilisée en l'absence de données essentiellement à la compréhension du hydro-système. - Rôle de l'évaporation et du stockage potentiellement très importants. - Fonctionnement hydrologique a priori très complexe et largement influencé par la gestion des milieux. 	<ul style="list-style-type: none"> - Non évaluable en l'état 	<ul style="list-style-type: none"> - Non évaluable en l'état 	<ul style="list-style-type: none"> - Non évaluable en l'état



SYSTEME DE SUIVI

Une réduction des prélèvements des canaux d'irrigation de la Crau engendrerait une diminution des apports à la nappe de la Crau, donc une diminution des apports aux zones humides faisant l'objet de l'étude. Ceci se traduirait, selon les zones humides, par une évolution des habitats tels qu'on les connaît aujourd'hui voire une disparition du caractère humides des sites concernés.

Le système de suivi détaillé dans le tableau suivant définit les conditions hydrologiques et hydrogéologiques qui devraient permettre le maintien des habitats tels qu'on les connaît actuellement et du caractère humide des zones humides. Pour chaque zone humide sont indiqués :

- Les sondes hydrométriques ou piézométriques qui constituent le système de suivi ;
- Un seuil de précaution (*) et un seuil de menace (**) associé au maintien des habitats tels qu'on les connaît actuellement ;
- Un seuil de précaution et un seuil de menace associé au maintien du caractère humide.

(*) Le seuil de précaution correspond à un seuil en dessous duquel on observe un début de dégradation de l'alimentation en eau de la zone humide.

(**) Le seuil de menace correspond à un seuil en dessous duquel l'alimentation en eau de la zone humide est réduite de manière significative.

Un seuil de précaution et un seuil de menace sont traduits par des niveaux d'eau en mNGF à ne pas sous-passer sur des durées définies au droit des sondes retenues pour composer le système de suivi.

Ces seuils se basent sur une année d'observation ou moins. Il s'agit donc de valeurs indicatives pour le gestionnaire, proposées sur la base des connaissances et de la compréhension actuelle des systèmes. Ces valeurs devront être affinées à l'aide des observations futures relatives aux hydrosystèmes et des observations futures sur les effets effectivement observés sur les habitats et espèces.

Ces seuils n'ont pas de valeur réglementaire.

Système de suivi

Zone humide	Paramètre à suivre	Sonde	Justification	Maintien des habitats tels qu'on les connaît aujourd'hui		Maintien du caractère humide	
				Précaution	Menace	Précaution	Menace
Grand Brahis	Hauteur de la nappe	PZ22	Le marais est principalement alimenté par la nappe.	Sous-passement de la cote 76,5 mNGF plus de 15 jours. Dans ce cas surveiller l'évolution de Brahis piézo	/	Sous-passement de la cote 75,2 mNGF (valeur minimale observée au cours des 10 dernières années) pendant plus d'un mois	Sous-passement de la cote 75,2 mNGF (valeur minimale observée au cours des 10 dernières années) pendant plus de 3 mois (à corrélérer avec des observations éventuelles de descente de cime)
	Hauteur de la nappe	Brahi piezo	Le marais est principalement alimenté par la nappe.	Surveiller dès sous-passement de 62,3 mNGF. Seuil de précaution : Sous-passement du TN-1 calculé au niveau de Bra2 (61,7 mNGF) plus de 15 jours consécutifs entre janvier et juin.	Sous-passement du TN-1 calculé au niveau de Bra2 (61,7 mNGF) plus d'1 mois d'affilée entre janvier et juin.	Sous-passement du TN-2,5 calculé au niveau de Bra2 (60,2 mNGF) pendant plus d'un mois	Sous-passement du TN-2,5 calculé au niveau de Bra2 (60,2 mNGF) pendant plus de 3 mois (à corrélérer avec des observations éventuelles de descente de cime)
Baussenq	Hauteur de la nappe	puits amont puits aval	La zone comprise entre le TN et le TN-1 est alimentée par la nappe. Très faible rôle du canal.	Sous-passement de la cote 22 mNGF plus de 3 mois consécutifs au printemps. Le reste de l'année, sous-passement de la cote 21,5 mNGF plus de 15 jours.	Sous-passement de la cote 22 mNGF plus de 2 mois consécutifs à partir de mai. Sous-passement de la cote 21,5 mNGF au niveau du puit amont plus de 1 mois consécutif au printemps.	Sous-passement de la cote 20 mNGF plus de 3 mois consécutifs au printemps. Le reste de l'année, sous-passement de la cote 19 mNGF plus de 15 jours.	Sous-passement de la cote 19 mNGF plus de 1 mois consécutif au printemps. Sous-passement de la cote 19 mNGF pendant plus de 3 mois (à corrélérer à observations éventuelles de descente de cime).
		puits aval		Sous-passement de la cote 16,3 mNGF plus de 3 mois consécutifs au printemps. Le reste de l'année, sous-passement de la cote 16 mNGF plus de 15 jours.	Sous-passement de la cote 16,3 mNGF plus de 2 mois consécutifs à partir de mai. Sous-passement de la cote 16 mNGF au niveau du puit amont plus de 1 mois consécutif au printemps.	Sous-passement de la cote 14,8 mNGF plus de 3 mois consécutifs au printemps. Le reste de l'année, sous-passement de la cote 14,1 mNGF plus de 15 jours.	Sous-passement de la cote 14,8 mNGF plus de 1 mois consécutif au printemps. Sous-passement de la cote 14,1 mNGF pendant plus de 3 mois (à corrélérer à observations éventuelles de descente de cime).
	Ennoisement des prairies situées en bordure sud-est du marais (important d'un point de vue écologique). Attention : alimentation artificielle de la prairie			Régularisation du prélèvement dans canal centre Crau et établissement d'une convention pour la conservation du niveau d'ennoisement actuel en hiver et au printemps. En été, maintenir l'irrigation mais la réduire par rapport à la situation actuelle.			

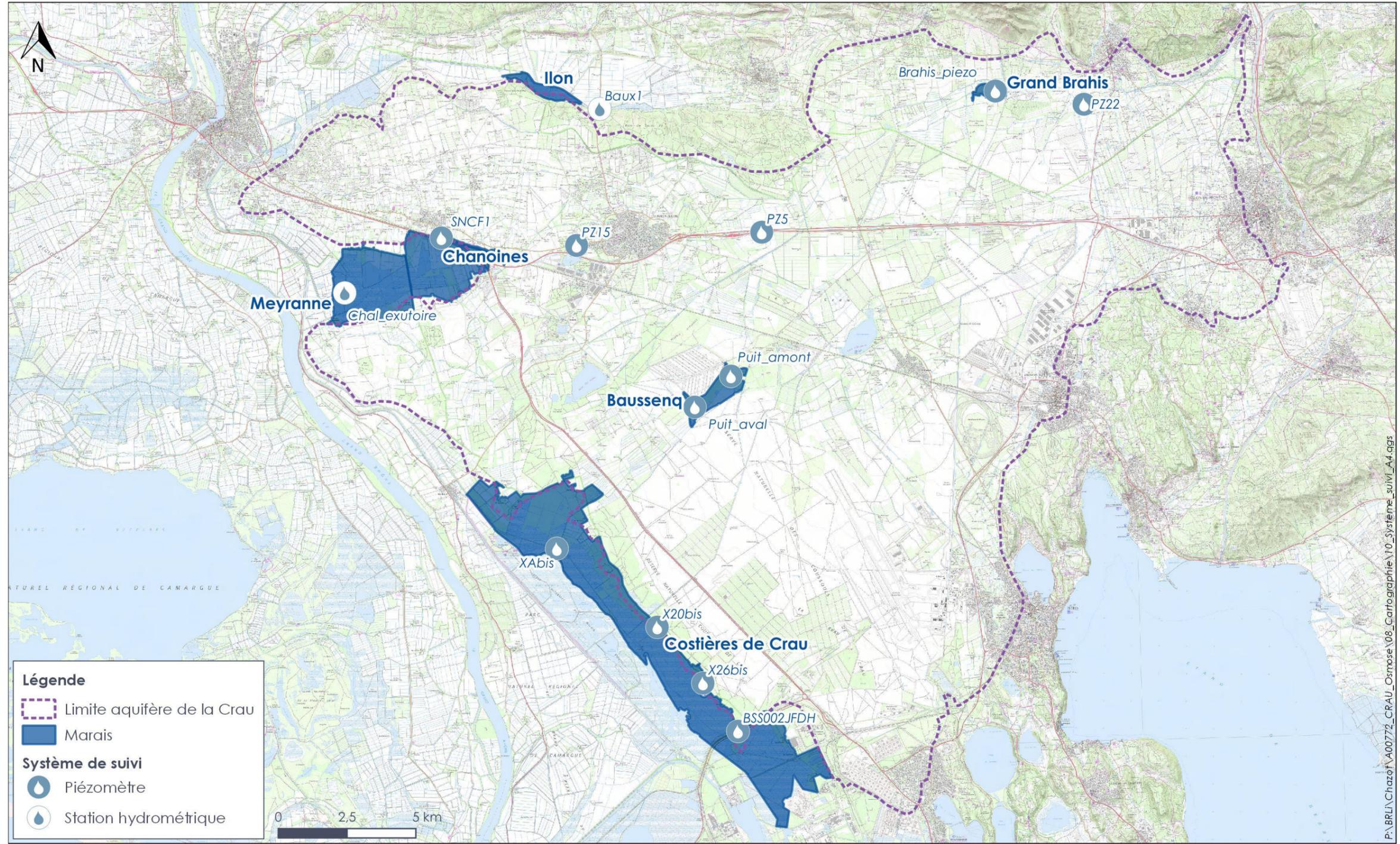


Zone humide	Paramètre à suivre	Sonde	Justification	Maintien des habitats tels qu'on les connaît aujourd'hui		Maintien du caractère humide	
				Précaution	Menace	Précaution	Menace
Ilon - Grand marais	Hauteur	Baux 1	La hauteur d'eau dans le canal d'assainissement de la vallée des Baux conditionne l'alimentation de l'Ilon central	Sous-passement de la valeur 0,643 mNGF pendant plus de 6 mois de l'année. On ne veut pas que la surface en eau observée dans la zone humide 9 mois sur 12 dans la situation actuelle diminue de plus de 30% plus de 6 mois dans l'année.	Sous-passement de la valeur 0,535 mNGF plus de 3 mois de l'année. On ne veut pas que la surface en eau observée dans la zone humide 9 mois sur 12 dans la situation actuelle diminue de plus de 50% plus de 3 mois dans l'année.	A priori amené à perdurer même si suppression des apports d'eau souterraine car précipitations suffisantes pour maintenir des forêts humides au moins pendant un temps vu le sol.	
Ilon - Ilon est	Hauteur de la nappe	PZ5	La nappe de Crau apporte un flux d'eau important pour le bon état écologique du Marais. Ce flux est proportionnel au gradient de charge entre le NP dans le secteur du PZ5 et le Marais (1 mNGF environ)	Sous-passement de 35 mNGF plus de 5 mois consécutifs	Sous-passement de 31 mNGF plus de 3 mois consécutifs (indicateur d'un dysfonctionnement)	A priori amené à perdurer même si suppression des apports d'eau souterraine car précipitations suffisantes pour maintenir des forêts humides au moins pendant un temps vu le sol.	
Meyranne	Hauteur de la nappe	SNCF1	Le débordement des laurons est contraint par l'altitude de la nappe qui doit être supérieure à la cote sol. Connaissance insuffisante pour privilégier le suivi d'un ouvrage en particulier. Suivi piézométrique actuel peu adapté : PZ15 un peu loin, CAUSSANS fortement influencé par les usages agricoles ; seul le piézomètre SNCF1 peut être jugé représentatif pour suivre les flux en provenance de la bordure Nord	Sous-passement de la cote 4,2 mNGF pendant plus de 15 jours entre mi-avril et mi-octobre.	Sous-passement de la cote 4,2 mNGF pendant plus d'un mois entre mi-avril et mi-octobre.	Zone humide a priori amenée à perdurer car exutoire de la nappe de la Crau.	
	Hauteur d'eau du canal du Chalavert	Sonde de l'association des Amis du Vigueirat	Si la hauteur d'eau est supérieure à 0,80 mNGF => alimentation possible des casiers pour la reproduction des hérons paludicoles. Aujourd'hui, sur-passement de la cote 0,80 deux mois sur cinq (période avril-août).	Sous-passement d'une hauteur d'eau de 0,8 mNGF plus de 3 mois sur la période avril-août*	Sous-passement d'une hauteur d'eau de 0,8 mNGF plus de 4 mois sur la période avril-août*		
Chanoines	Hauteur de la nappe	SNCF1	Le débordement des laurons est contraint par l'altitude de la nappe qui doit être supérieure à la cote sol. Le piézomètre SNCF1 peut être jugé représentatif pour suivre les flux en provenance de la bordure Nord. On en retient pas CAUSSANS car fortement influencé par les usages agricoles.	Sous-passement de la cote 4,2 mNGF pendant plus de 15 jours entre mi-avril et mi-octobre	Sous-passement de la cote 4,2 mNGF pendant plus d'un mois entre mi-avril et mi-octobre	Zone humide a priori amenée à perdurer car exutoire de la nappe de la Crau.	
		PZ15	Bien qu'un peu loin, PZ15 est très corrélé à SCNF1.	Sous-passement de la cote 15,4 mNGF pendant plus de 15 jours entre mi-avril et mi-octobre	Sous-passement de la cote 15,4 mNGF pendant plus d'un mois entre mi-avril et mi-octobre		
Costières de Crau et Tonkin	Hauteur de la nappe	X20bis, XA bis, X26 bis et BSS002JFDH	Les piézomètres X20bis, XA bis, X26 bis et BSS002JFDH portent la même information et indiquent le niveau de la nappe au droit de la zone de débordement de la nappe ; ils sont influencés par les variations de niveaux d'eau dans les marais.	Sous-passement de la cote 0,4 mNGF pendant plus de 2 mois entre mai et octobre.	Sous-passement de la cote 0,25 mNGF pendant plus d'1 mois entre mai et octobre	Zone humide a priori amenée à perdurer car exutoire de la nappe de la Crau.	



Figure 1 : Système de suivi

SYSTEME DE SUIVI



Source : BRLI, HYDROFIS, O2TERRE
 Fond : IGN 2020
 Réalisation : BRLI 17/5/2023
 Ref. étude BRLI : A00772



