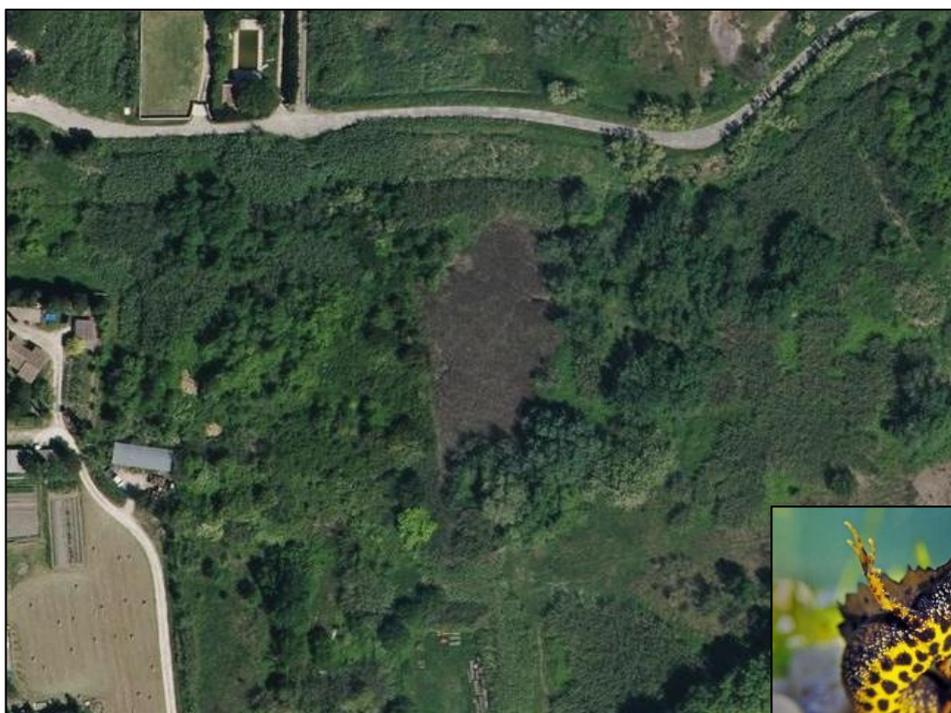


**ETUDE DE LA FONCTIONNALITE HYDROLOGIQUE ET
DES CARACTERISTIQUES PEDOLOGIQUES DE LA ZONE HUMIDE
DE LA FRICHE INDUSTRIELLE DES PAPETERIES ETIENNE
EN VUE DE SA RESTAURATION ECOLOGIQUE**



Septembre 2021



Arles Crau Camargue Montagnette

**Communauté d'agglomération Arles Crau Camargue Montagnette
5 rue Yvan Audouard – BP 30228 – 13637 ARLES Cedex**

TABLE DES MATIERES

1. Introduction	3
1.1. Contexte de l'étude.....	3
1.2. Objectifs de la mission	5
1.3. Environnement de reproduction du triton crêté.....	6
2. Phase 1 - Etat des lieux.....	7
3.1. Evolution historique du site.....	7
3.2. Acquis des études antérieures.....	14
3. Phase 2 – Fonctionnement hydrique.....	15
3.3. Cadre géologique.....	15
3.1. Cadre topographique	19
3.2. Cadre climatique.....	20
3.3. Suivi piézométrique.....	24
3.4. Esquisse de bilan hydrique	28
3.5. Qualité des eaux	29
3.6. Qualité des sols.....	33
4. Phase 3 – Programme d'aménagement et de gestion	37

1. Introduction

1.1. Contexte de l'étude

La Communauté d'Agglomération Arles Crau Camargue Montagnette a engagé une « Etude de fonctionnalité hydrologique et de la pédologie de la zone humide de la friche industrielle des papeteries Etienne » sur le territoire de la commune d'Arles, en vue de restaurer la mare répertoriée comme un habitat du triton crêté.



Figure 1 – Localisation du site d'étude à l'Ouest d'Arles (fond de carte IGN)



Figure 2 – Vue aérienne du site de la Papèterie (source Geoportail)

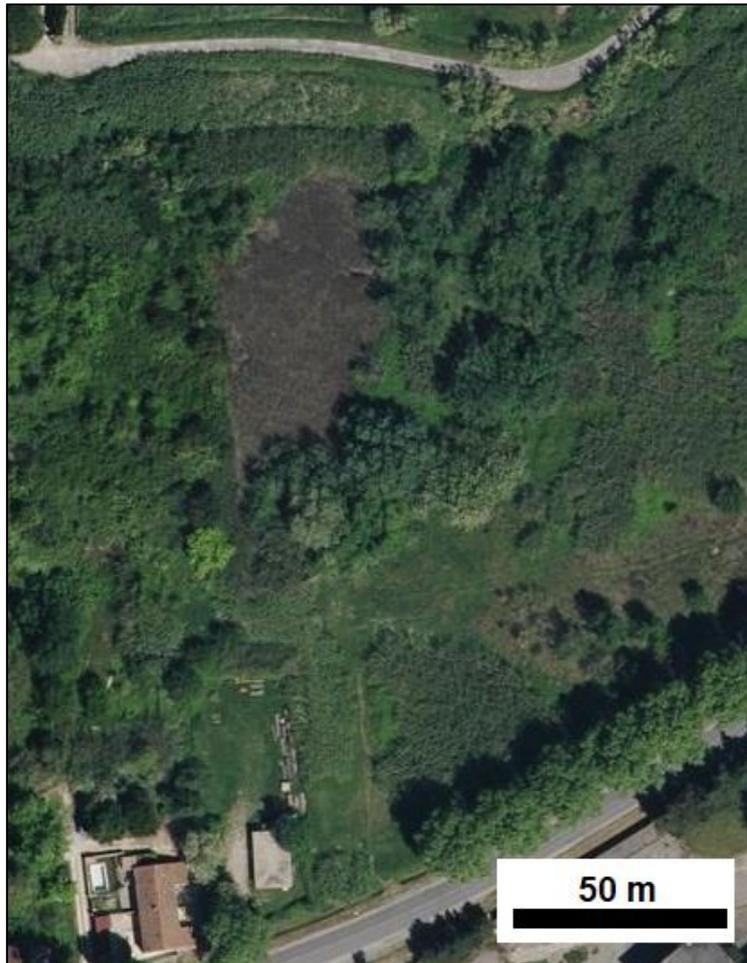


Figure 3 – Vue rapprochée de la zone de la mare (source Geoportail)
(la roselière centrale fait environ 2500 m²)

Le triton crêté, espèce très rare dans la région, bénéficie d'une protection à l'échelle nationale et européenne. L'habitat aquatique est nécessaire au triton crêté lors de sa période de reproduction (entre février et juillet). Pendant le reste de son cycle biologique, il occupe des habitats terrestres périphériques à la zone humide dans lesquels il est très difficilement détectable.

La mare concernée est localisée sur le site de la friche industrielle des papeteries Etienne, quartier de Trinquetaille, entre l'avenue de Camargue et le Chemin de l'Usine d'engrais. Elle abrite une des deux populations de triton crêté connue en région Provence Alpes Côte d'Azur, et la seule du département des Bouches du Rhône.

La mare du site de la friche industrielle, dite mare de Trinquetaille, est constituée principalement d'une roselière dense d'environ 2 500 m². La surface en eau libre y est de seulement 40 m² environ.

Le fonctionnement hydraulique de la mare est temporaire. Elle est soumise à des assecs annuels prononcés intervenant lors des années à faible pluviométrie. Cette particularité explique probablement l'absence de poissons. L'absence d'écrevisses allochtones d'origines américaines doit être également signalée. L'origine et le fonctionnement hydrologique de la mare sont à ce jour peu connus. Toutefois, il semblerait qu'elle se remplisse grâce aux précipitations automnales, hivernales et printanières. Elle connaît ensuite un assec estival de plusieurs mois. Durant les années pluvieuses, le niveau d'eau a pu atteindre jusqu'à 1,5 m.

Toutefois, les faibles pluviométries constatées depuis 2014 n'ont pas permis un remplissage de la mare suffisant pour la reproduction du triton crêté ou le suivi de sa population. Par ailleurs, le phénomène d'atterrissement naturel de la zone humide contribue également à freiner son remplissage. Dès lors, entre l'automne 2016 et l'été 2018, le niveau d'eau maximal atteint était de 70 cm (le 18 avril 2018). La zone humide est plus précisément formée de deux sous-ensembles :

- la mare ;
- les parties terrestres périphériques.

1.2. Objectifs de la mission

L'objectif de cette étude était de fournir aux décideurs l'information la plus complète possible pour déterminer les meilleurs choix à poser en connaissance de cause, et de donner une vision claire et hiérarchisée des programmes d'action et des investissements qui peuvent être mis en œuvre pour rétablir le fonctionnement de la zone humide.

L'étude devait permettre de disposer pour ces deux unités d'une bonne connaissance des flux entrants/sortants et du fonctionnement hydrique interne, qui permettra de comprendre l'origine des dysfonctionnements hydrique et hydrologique. Pour être efficace et pérenne, la restauration du site devrait porter prioritairement sur ces mécanismes fonctionnels.

L'étude du fonctionnement de la zone humide devait s'intéresser à l'ensemble des processus physiques (naturels ou anthropiques) qui conditionnent les fonctions hydrologiques/hydrauliques et physiques/biogéochimiques, qu'elles soient avérées ou potentielles.

Selon les thématiques, cette approche devait adopter l'échelle la plus pertinente :

- Espace de bon Fonctionnement,
- Zone humide, mare + périmètre rapproché

Cette mission consiste à :

- Identifier et hiérarchiser les problèmes quantitatifs et qualitatifs.
- Dresser un diagnostic du fonctionnement hydrologique de la zone humide avec mise en évidence des dysfonctionnements existants, analyse des pollutions et typologie du sol.
- Croiser ces éléments en vue de restaurer le milieu de manière à ce qu'il devienne favorable à l'espèce cible (triton crêté).

La réalisation des études et des diagnostics des fonctions hydriques de la zone humide de Trinquetaille pouvait impliquer les investigations et travaux suivants :

- La mise en place de piézomètres sur la zone d'étude comprenant leur déclaration préalable auprès des services instructeurs tel que la DDT ;
- Un suivi des niveaux d'eau de surface et de nappe ;
- La réalisation d'un bilan hydrique annuel de la zone.
- Un suivi qualitatif des eaux de surface de la nappe et suivi qualitatif du sol de la mare et éventuellement des environs.

L'étude devait constituer un outil pertinent d'aide à la décision prenant en compte la restauration écologique de la mare, ou tout autre solution pouvant contribuer à la préservation du triton crêté présent sur le site, avec cependant une prise en considération du projet d'aménagement sur la partie Sud de la friche industrielle (situé en dehors de la zone humide).

L'étude avait pour finalité de déterminer :

- Les diagnostics fonctionnels qualitatifs et quantitatifs de la zone humide de la friche industrielle.
- Les dysfonctionnements physiques et/ou biogéochimiques observables ;
- Des propositions d'intervention et de gestion visant la restauration des fonctions hydrauliques, morphologiques, hydrogéologiques et biogéochimiques de la zone humide.

La friche industrielle s'étend sur 24 hectares environ, compris entre le Rhône et la voie nationale 113. Le périmètre de la zone humide se situe sur le parcellaire situé au nord entre l'avenue de Camargue et la N113.

La zone humide se décompose en deux périmètres :

- Le périmètre rapproché de la mare, d'une superficie d'environ 3000 m², situé dans un périmètre circulaire de 3 m autour de la mare.
- Le périmètre élargi, d'une superficie de 10 ha environ, concerne les terrains identifiés comme habitat terrestre potentiel du triton crêté, et constituant le reste de la zone humide.

L'organisation de la mission était prévue en trois phases :

- Phase 1 : Etat des lieux ;
- Phase 2 : Description du fonctionnement hydrique et caractérisation du milieu terrestre ;
- Phase 3 : Elaboration d'un programme d'aménagement et de gestion.

1.3. Environnement de reproduction du triton crêté

La fiche élaborée par le Museum National d'Histoire Naturelle précise que le triton crêté se reproduit dans une grande diversité d'habitats de plaine, en particulier des points d'eau stagnante (mares et étangs). On le trouve plus rarement dans les canaux ou les fossés de drainage et il est généralement absent des grandes étendues d'eau comme les lacs et les réservoirs. Son habitat terrestre se compose de boisements, de haies et de fourrés, à proximité des sites de reproduction.

Les sites de reproduction utilisés par le triton crêté sont variés. Ces points d'eaux présentent toutefois des caractéristiques propres comme une faible étendue et une faible profondeur. Le triton est sensible à l'envasement et préfère les sites ensoleillés. La présence de végétation de berge et de plantes émergées est importante dans la mesure où elles fournissent un support de ponte idéal.

Les mares allant de 50 à 750 m² avec une profondeur allant de 50 cm à 2 m sont choisies préférentiellement. Celles-ci peuvent être permanentes ou temporaires : l'assèchement peut être bénéfique à condition qu'il n'entrave pas le développement larvaire ; en effet il empêche la présence de prédateurs (poissons). La présence de végétaux aquatiques est appréciée : elle sert notamment de support de ponte, permet le développement d'invertébrés « proies », assure une protection contre les prédateurs et procure une variété de micro-habitats. Les mares couvertes aux deux tiers de plantes immergées et pour moins de la moitié de plantes émergées semblent particulièrement adaptées

Faiblement sélective sur la qualité de l'eau, l'espèce supporte mal les forts changements de conditions comme la pollution organique et la désoxygénation pouvant entraîner une modification du pH. Les rejets agricoles, la présence d'importantes populations d'oiseaux d'eau ou encore la chute de feuille dans les mares ombragées peuvent être à l'origine de ces changements. On trouve l'espèce dans des eaux acides ou basiques (pH 4,4 – 9,5), mais les eaux neutres ou légèrement basiques sont les plus fréquentées.

2. Phase 1 - Etat des lieux

3.1. Evolution historique du site

Afin de cerner l'évolution historique du site, une recherche bibliographique des documents pouvant apporter des informations sur l'origine de la zone humide des papeteries Etienne a été menée.

Un compte rendu par Fernand Benoit des recherches faites à Trinquetaille en 1938 (Académie des Inscriptions et Belles-Lettres, N° 6, pp. 541-548) rapporte que l'absence de construction constatée dans le secteur des fouilles réalisées en 1938 près du fleuve et la grande profondeur des alluvions anciennes amènent à penser que le fleuve avait un lit largement évasé en pente douce, fréquemment recouvert par les inondations. Peut-être même, note-t-il, ce quartier était-il particulièrement bas et marécageux, ayant succédé à quelque ancien bras du fleuve asséché correspondant à ce que les textes du moyen âge nomment les « creux » (crosun) de Trinquetaille. L'un de ces bras entourait d'ailleurs le quartier romain, puisque celui-ci est appelé dans les textes du VII^e au XV^e siècles, l'insula de Gallico, ou île de Gallègue.

Le site de la zone humide pourrait donc correspondre à un ancien bras du Rhône, vraisemblablement une partie du Rhône d'Albaron, allant de Trinquetaille jusqu'à Albaron.

La carte de Cassini (XVIII^e siècle) n'indique pas de particularité dans ce secteur, comme une vaste zone humide ou un important bras abandonné du Rhône. L'abandon et le comblement naturel de cet ancien bras doivent donc historiquement remonter à l'époque romaine à moyenâgeuse.



Figure 4 – Extrait de la carte de Cassini (XVIII^e siècle, source Geoportail)

La carte d'Etat Major (XIX^e siècle) cartographie le site comme un espace boisé (Figure 5), sans indication particulière d'un étang ou plan d'eau.

On retrouve bien cette occupation boisée dominante du site lors des premiers clichés aériens de 1936 (Figure 6), avec par la suite un déboisement croissant et un rétrécissement corolaire de la zone boisée (figures suivantes). La photographie de 1936 montre déjà la présence de l'usine d'engrais au Nord-Est de la zone humide



Figure 5 – Extrait de la carte d'Etat Major (XIX^e siècle, source Geoportail)

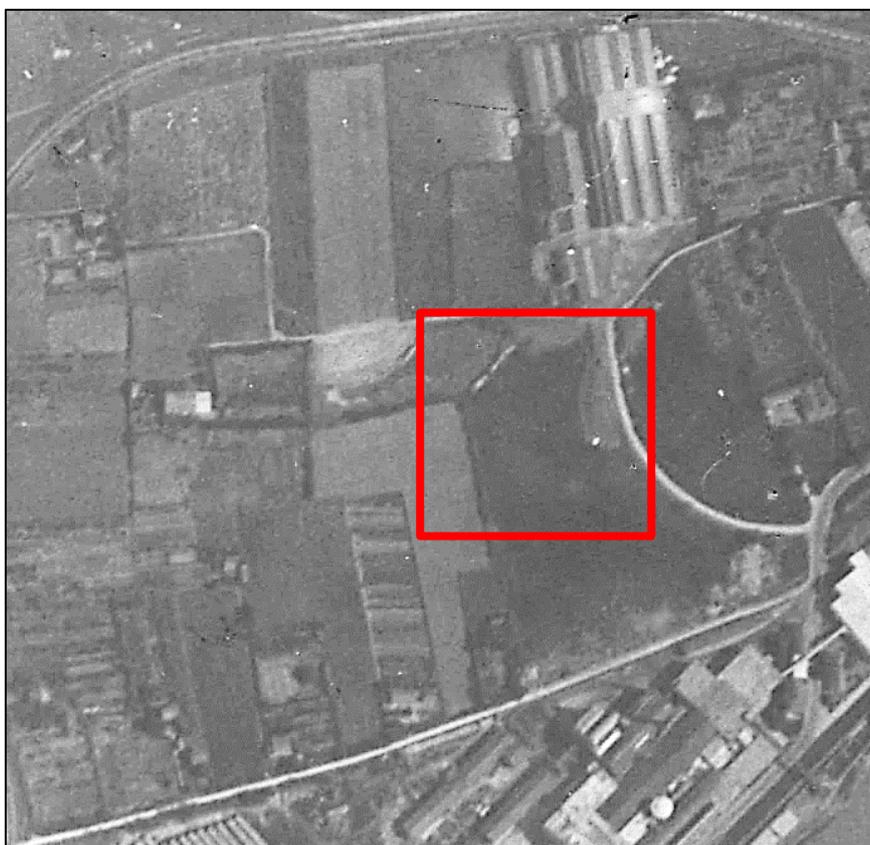


Figure 6 – Photographie aérienne de 1936 (cliché IGN)



Figure 7 – Photographie aérienne de 1942 (cliché IGN)



Figure 8 – Photographie aérienne de 1944 (cliché IGN)



Figure 9 – Photographie aérienne de 1945 (cliché IGN)



Figure 10 – Photographie aérienne de 1947 (cliché IGN)

Sur ces différents clichés, la présence d'un plan d'eau est difficilement discernable. Les photographies semblent montrer au travers de la zone humide une structure orientée NO-SE, en particulier les clichés de 1942 (Figure 7), 1945 (Figure 9), 1947 (Figure 10) et 1958 (Figure 11), qu'il n'est pas

possible d'identifier. La photographie de 1958 (moindrement celle de 1947) montre en particulier ce qui semble être un petit thalweg ou un cours d'eau à l'Est de la zone humide, (à l'Est de la route en demi-cercle). Ce vallon ou cours d'eau drainerait donc les écoulements provenant de l'usine d'engrais, écoulements qui ne pourraient donc alimenter la zone humide.



Figure 11 – Photographie aérienne de 1958 (cliché IGN)

Les zooms effectués sur la zone humide pour les deux dernières campagnes photographiques (Figure 12) ne mettent pas clairement en évidence l'extension de la zone en eau, même si celle-ci semble plus étendue qu'actuellement.



Figure 12 – Photographies aériennes de 1947 et 1958 – zooms sur la zone humide (cliché IGN)

Les photographies aériennes infrarouges (Figure 13 à Figure 16) mettent par contre bien plus nettement en évidence l'étendue de la mare.



Figure 13 – Photographie aérienne infrarouge de janvier 1974 (cliché IGN)



Figure 14 – Photographie aérienne infrarouge de juillet 1975 (cliché IGN)



Figure 15 – Photographie aérienne infrarouge de janvier 1985 (cliché IGN)



Figure 16 – Photographie aérienne infrarouge de juillet 1997 (cliché IGN)

On constate que cette étendue varie de façon importante selon les photographies. Elle est moyennement visible en janvier 1974 (Figure 13), très visible et étendue en juillet 1975 (Figure 14) et janvier 1985 (Figure 15), alors qu'elle est peu ou pas visible en juillet 1997 (Figure 16).

La photographie de 1975 (Figure 14) montre que d'important découpes, remblaiements ou dépôts ont eu lieu à l'Est immédiat de la zone humide, semblant même empiéter sur celle-ci. L'accès à ces zones se fait depuis le Sud selon la photographie, ce qui semblerait ne pas les relier à l'usine d'engrais. La zone proximale de la zone humide semble correspondre à un dépôt de matériaux clairs continuant jusqu'au début des années 1980, alors que l'usine d'engrais est abandonnée et en ruine depuis longtemps.

3.2. Acquis des études antérieures

Différentes études ont été réalisées précédemment sur le site (en particulier sur la zone de l'usine d'engrais et sur celui de la papèterie).

L'étude d'ANTEA (2010-2011) sur le site de la papèterie pour le compte de International Paper SA n'est intéressé qu'au secteur de l'usine, au Sud de l'Avenue de la Camargue.

ERG Environnement a été missionné en 2016 par l'EPF PACA pour la réalisation d'une mission d'assistance à maîtrise d'ouvrage relative à l'étude en première approche de la gestion (au regard d'une future valorisation / reconversion de ce dernier) du site d'environ 24 ha de l'ancienne papèterie et de l'ancienne ancienne usine d'engrais de Trinquetaille. Cette intervention d'ERG a visé à faire des recommandations (aucune investigation réalisée)



Figure 17 – Cartographie schématique globale des zones à risques (ERG, 2016)
(en rouge ; les zones d'activité historique potentiellement polluante ; en violet, les zones de risque pyrotechnique (dépôts de munition, bombardement))

SOBERCO Environnement (2017) a réalisé pour ACCM le dossier d'Etude d'Impact du projet d'aménagement du secteur des Papèteries Etienne, incluant la parcelle de la zone humide. Le document résultant ne contient pas d'informations pertinentes à la présente étude.

Différents rapports concernant spécifiquement la population de tritons crêtés ont été également réalisés. Ces rapports ne présentent pas d'éléments correspondant aux besoins de la présente étude.

3. Phase 2 – Fonctionnement hydrique

3.3. Cadre géologique

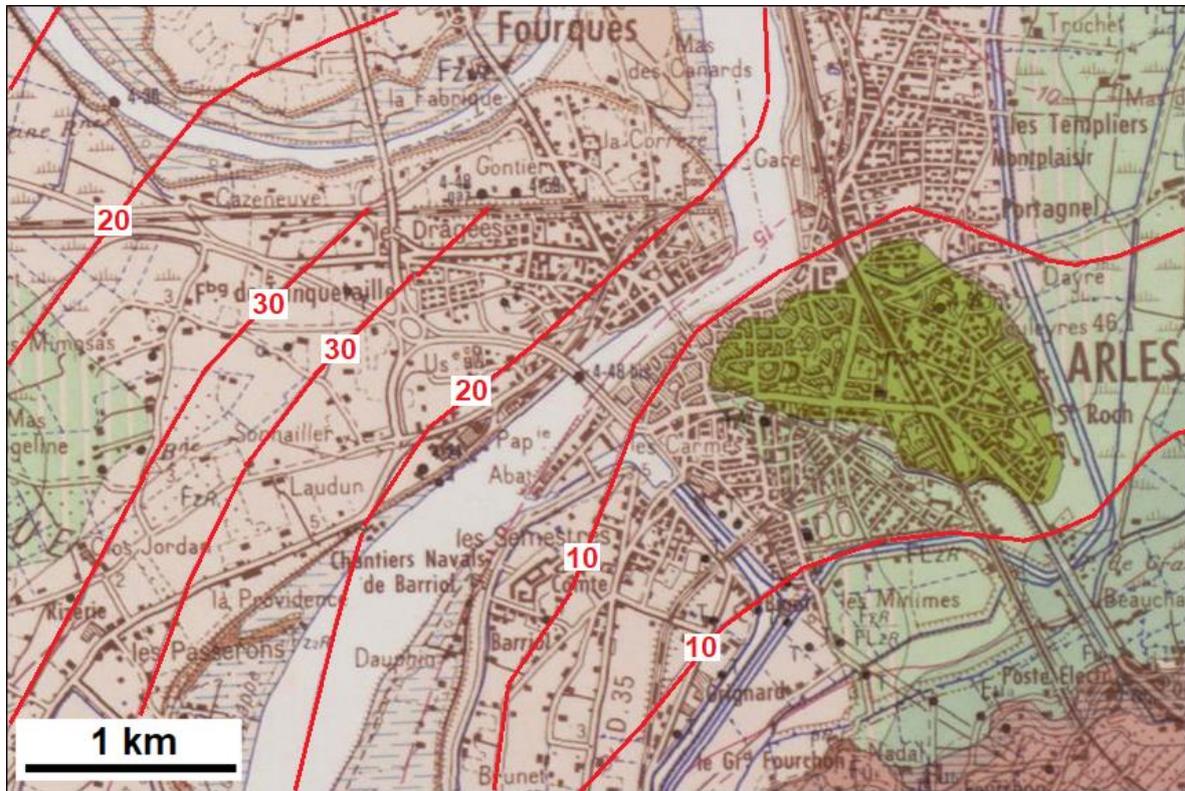


Figure 18 – Extrait de la carte géologique d'Arles (BRGM) (en rouge isohypse du toit marin)

Du point de vue géologique, le soubassement du site (comme de l'intégralité de la zone de Trinquetaille) est constitué par les alluvions holocènes du Rhône et/ou des dépôts littoraux marins quaternaires.

Deux sondages réalisés aux abords du site (Figure 19) permettent de préciser la nature de ces matériaux (Tableau 1). Le sondage réalisé aux abords du rond-point de Vittier (Nord-Ouest de la zone) montre des matériaux argileux et/ou vaseux une quinzaine de mètres, alors que celui situé sur le site de la Papèterie (Sud-Est de la zone), en bordure du Rhône, montre 5 m de matériaux argileux puis une dizaine de mètres de sable fin. **Le sous-sol de la zone humide est donc constitué de matériaux argileux sur plusieurs mètres d'épaisseur.**

Figure 19 – Localisation des deux sondages réalisés aux abords du site



Profondeur	Lithologie	Profondeur	Lithologie
1.20	Terre végétale et cailloux	1.20	Sable fin, jaunâtre, limoneux
	Argile jaune		Limon brun, sableux, peu plastique
5.70	Vase plastique	4.00	Alternance de limon plastique et silt avec du sable fin noir vaseux
		5.00	Sable fin, gris, micacé
14.00	Tourbe	11.00	Sable fin, puis moyen, gris, micacé
15.70	Grosses alluvions très sableuses	17.00	Sable, rares graviers
		18.00	Sable argileux et traces de tourbe
22.00	Petites alluvions très sableuses	19.00	Galets, graviers et sable
24.10		23.50	

Tableau 1 : Profils géologiques des sondages réalisés dans le rond-point de Vittier (Nord-Ouest ; profil de gauche) et au niveau de la Papèterie (Sud ; profil de droite) (source : infoterre.brgm.fr)

Afin de préciser la constitution du sous-sol, un panneau géophysique de tomographie de résistivité électrique a été réalisé au Nord et Nord-Est de la zone humide, secteur d'où sont principalement susceptibles de provenir les éventuels apports d'eau. Cette technique géophysique consiste à injecter un courant dans le sous-sol et à mesurer la résistance en différents points. Ce panneau électrique (Figure 20) fait 240 m de long et permet d'investiguer le sous-sol sur un cinquantaine de mètres de profondeur. Il montre :

- des matériaux contrastés présentant des résistivités variant entre 5 et 45 ohm.m ;
- une couche géologique supérieure d'une dizaine de mètres d'épaisseur présentant des résistivités entre 5 et 12 ohm.m ; ces résistivités sont très faibles, attestant d'un matériel géologique très conducteur (très argileux) et/ou très riche en ions (ex : eau salée) ;
- une couche géologique inférieure, de résistivité moyenne à élevée (30 à 45 ohm.m) reflétant un matériel moyennement riche en argile ou en ions (ex : eau salée).

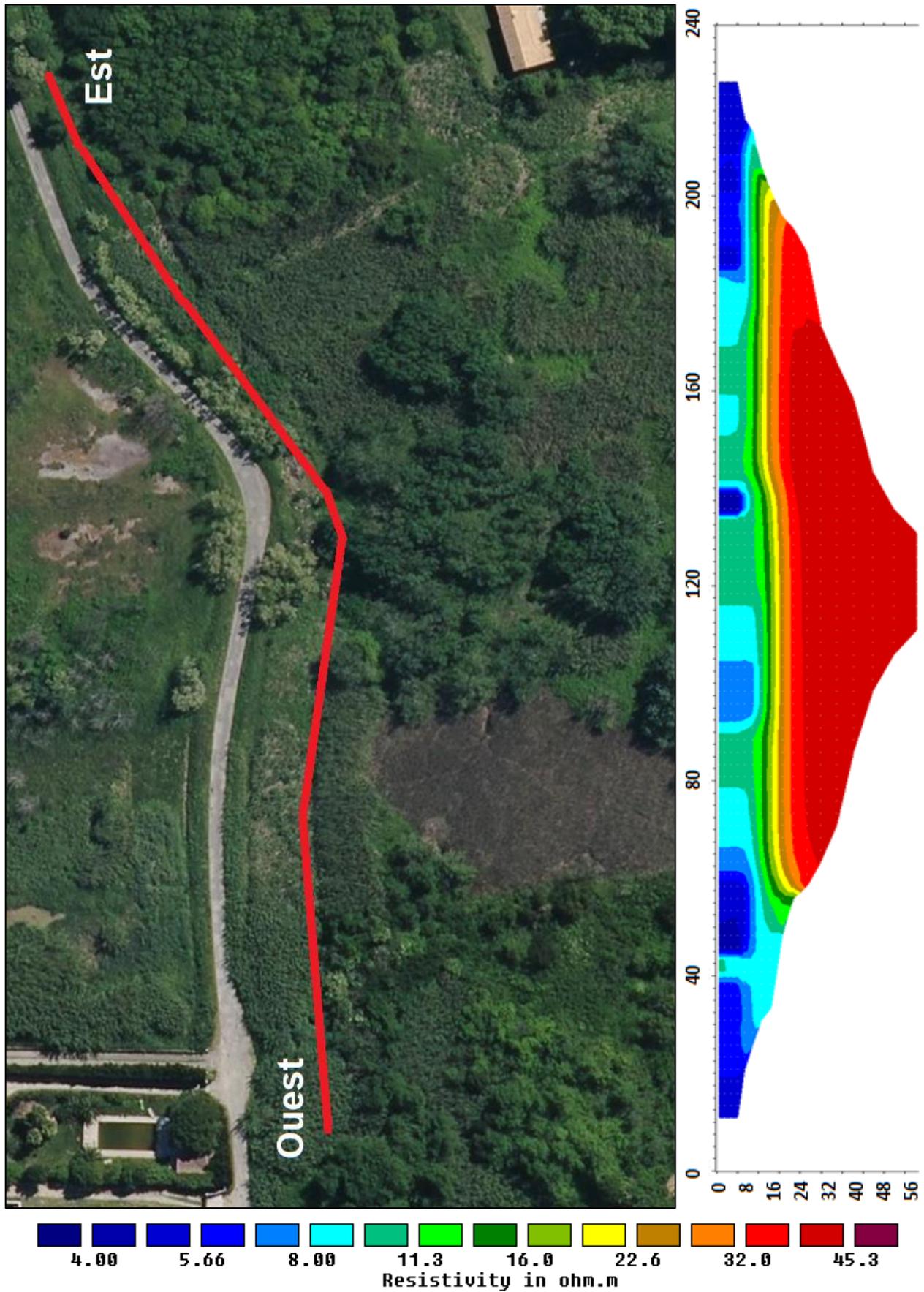


Figure 20 – Panneau géophysique de tomographie de résistivité électrique réalisé au Nord du site

Si l'on compare les résultats du profil géophysique avec les logs géologiques décrits ci-avant (Tableau 1), la couche supérieure observable sur le profil géophysique correspondrait aux argiles et vases plastiques décrites sur le premier sondage géologique, alors que la seconde couche correspondrait à des alluvions sableuses mais riches en eau saumâtre à salée.

Le profil géophysique confirme la **présence d'une couche argileuse** de plusieurs mètres et la **présence d'eau salée en sous-sol**, cohérente avec les connaissances disponibles en rive gauche du Rhône, à l'aval d'Arles (Figure 21).

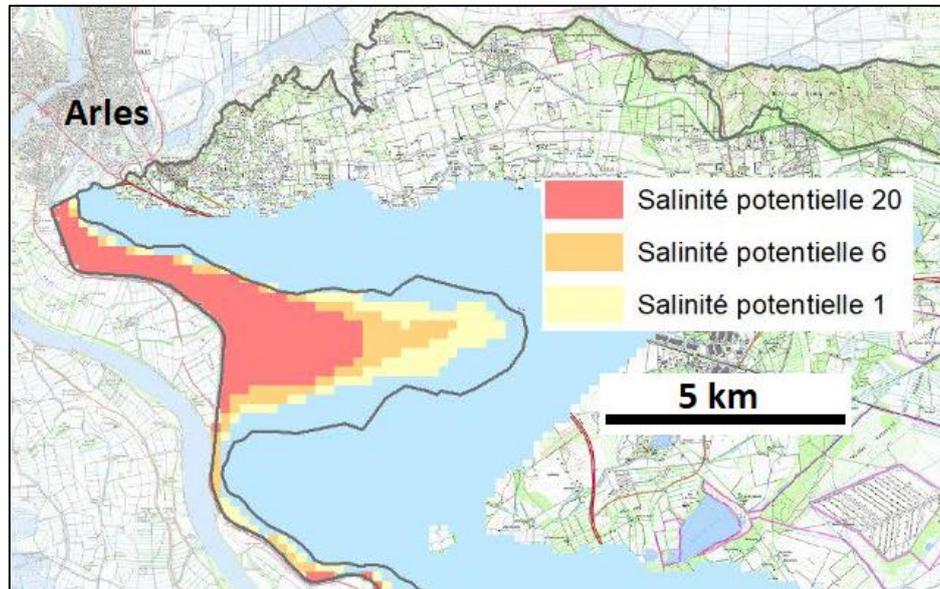


Figure 21 – Salinité potentielle de la nappe des cailloutis de la Crau (valeurs en psu ~ mg/l de sel) (SYMCAU, 2020)

Lors de cette investigation géophysique les caractéristiques physico-chimiques de l'eau du plan d'eau ont été mesurées sur le terrain :

- Température : 21.5 °C
- pH : 7.48
- Conductivité à 25°C : 8300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (8,3 mS/cm)
- Salinité par conversion de la conductivité : 4,6 g/l

Il s'agit donc d'une eau saumâtre, passablement salée.

Il est possible d'estimer théoriquement la résistivité ρ d'un matériel géologique de porosité n et contenant une eau de conductivité σ en utilisant la Loi d'Archie qui peut être écrite :

$$\rho = 1 / (\sigma \cdot n^{1.3})$$

Considérant la conductivité mesurée sur la zone humide de 8,3 mS/cm et une porosité potentielle de 20%, un matériau saturé avec cette eau présenterait une résistivité électrique de l'ordre de 10 ohm.m. Les valeurs de résistivité obtenues par géophysique sur la première couche géologique (5 à 12 ohm.m) sont donc compatibles avec la conductivité de l'eau mesurée dans la zone humide.

La couche supérieure étant par ailleurs argileuse, elle contribue également à augmenter la conductivité électrique mesurée par la géophysique (et donc à baisser la résistivité électrique). La couche inférieure est quant à elle plutôt sableuse, donc a priori résistante en elle-même, et ne gagne en conductivité

(baisse en résistivité) que grâce à l'eau plus ou moins salée qu'elle contient. On peut également supposer que l'eau des alluvions sableuses est moins salée que l'eau de la couche supérieure qui gagne en concentration par évaporation vers la surface du sol.

L'origine des sels présents dans l'eau peut être géologique (les formations sont cartographiées comme étant des alluvions du Rhône et/ou des dépôts littoraux marins, et il existe également des formations évaporitiques oligocènes dans les alentours), ou anthropique (il a été évoqué un stockage voisin de sel de déglacage routier ou bien une pollution par les activités liées à l'usine d'engrais). Ces différentes pistes seront explorées par le biais de la signature chimique des eaux.

3.1. Cadre topographique

Le MNT (modèle numérique de terrain) au 1 m de l'IGN (Figure 22) et le nivellement réalisé sur la roselière de la mare (Figure 23) montrent l'**absence d'un réseau superficiel d'alimentation** (ruisseaux ou fossés) de la roselière permettant l'apport d'eau extérieure vers la roselière.

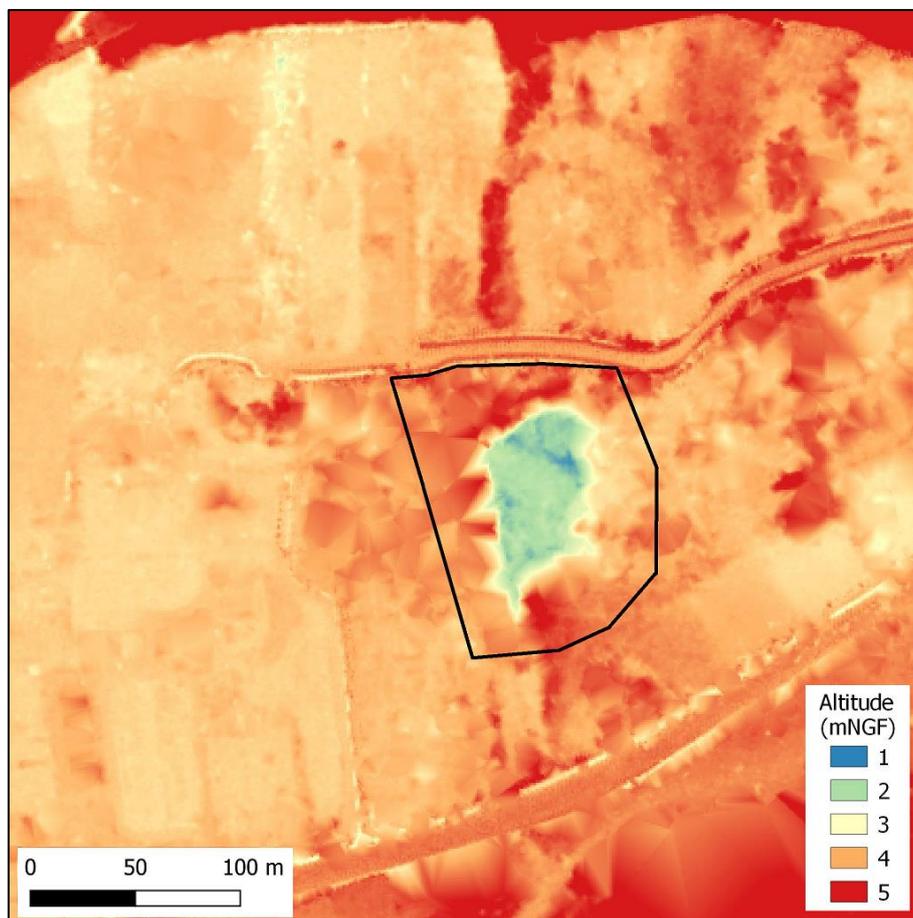


Figure 22 – Morphologie de la zone environnant la roselière de Trinquetaille (d'après le MNT au 1m) (le trait noir matérialise l'impluvium probable de la roselière tenant compte de la topographie et de la direction des écoulements souterrains)

La roselière n'est donc alimentée que par :

- la pluie tombant directement sur la roselière ;
- les écoulements hypodermiques (ruissellement de subsurface) ;
- les éventuels échanges avec les eaux souterraines.

Notons que la mare de la zone humide au droit du chemin d'accès a fait l'objet d'une restauration partielle par le PNR en août 2019, par surcreusement manuel.



Figure 23 – Morphologie de la roselière de la mare de Trinquetaille

3.2. Cadre climatique

L'état hydrique de la zone humide dépend vraisemblablement des pluies, du niveau de la nappe souterraine éventuellement présente sous le site, et du niveau du Rhône. La Figure 24 présente les hauteurs trimestrielles de pluie à la station Météo-France d'Arles. Cette figure montre l'importante variabilité temporelle de la pluie, avec certains trimestres très pluvieux (généralement à l'occasion des événements méditerranéens), et d'autres presque secs.

Ces cumuls trimestriels montrent en particulier des suites de trimestres humides (ex : 2014-2016) ou secs (ex : 2012-2014).

Les figures suivantes présentent les valeurs annuelles (année hydrologique d'août à juillet) de précipitation (Figure 25), d'évapotranspiration potentielle (Figure 26), de précipitation efficace (Figure 27), de ruissellement (Figure 28) et de recharge potentielle des nappes (Figure 29). Les précipitations efficaces ont été calculées en tenant compte d'une RFU (réserve facilement utilisable du sol) de 50 mm.

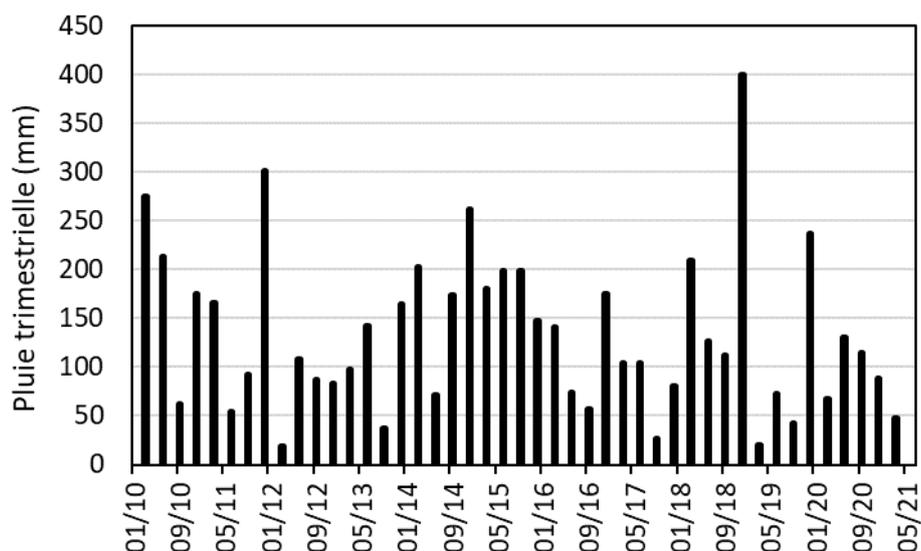


Figure 24 – Hauteurs trimestrielles de pluie enregistrées par la station Météo-France d’Arles

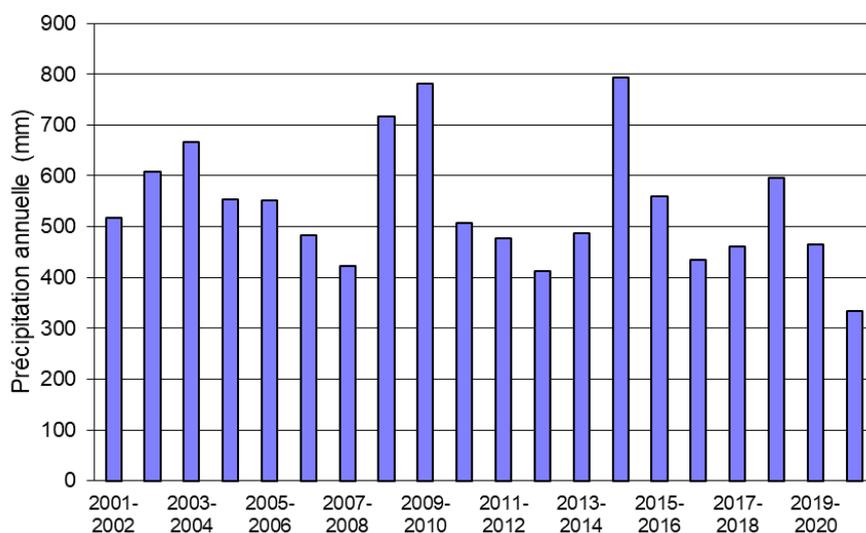


Figure 25 – Hauteurs annuelles de précipitation

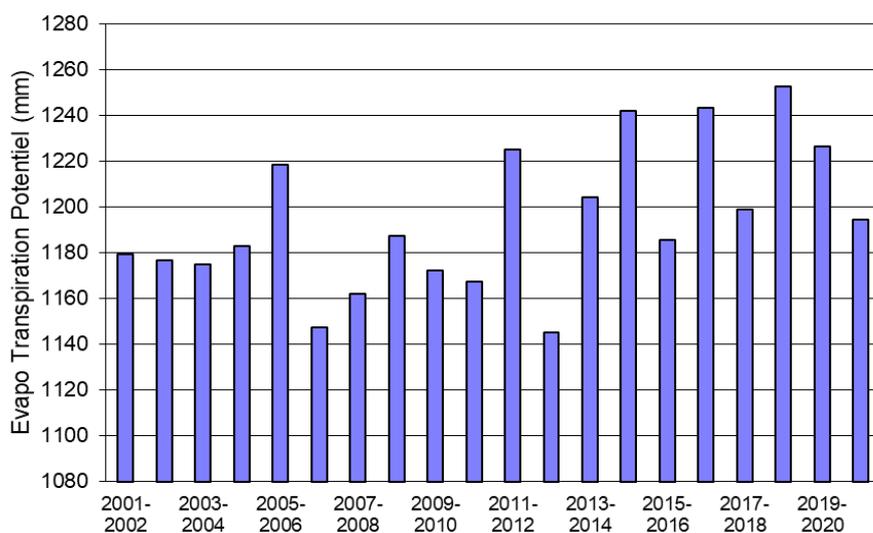


Figure 26 – Evapo-transpiration potentielle (ETP) annuelle

Les pluies annuelles (Figure 25) montrent une variabilité importante, de plus d'un facteur 2. La dernière année (2020-2021) est la plus sèche, les années 2014-2015, 2009-2010 et 2008-2009 ayant été les plus arrosées. Le potentiel d'évapotranspiration (Figure 26) varie également de façon importante. Les dernières années sont celles présentant les ETP les plus élevées.

Conséquemment, les hauteurs de précipitations efficaces (Figure 27), de ruissellement (Figure 28) et de recharge potentielle des nappes (Figure 29) varient considérablement d'une année à l'autre. Du fait de son fort déficit de pluie, la dernière année n'a présenté aucune précipitation efficace (donc aucun ruissellement ni recharge).

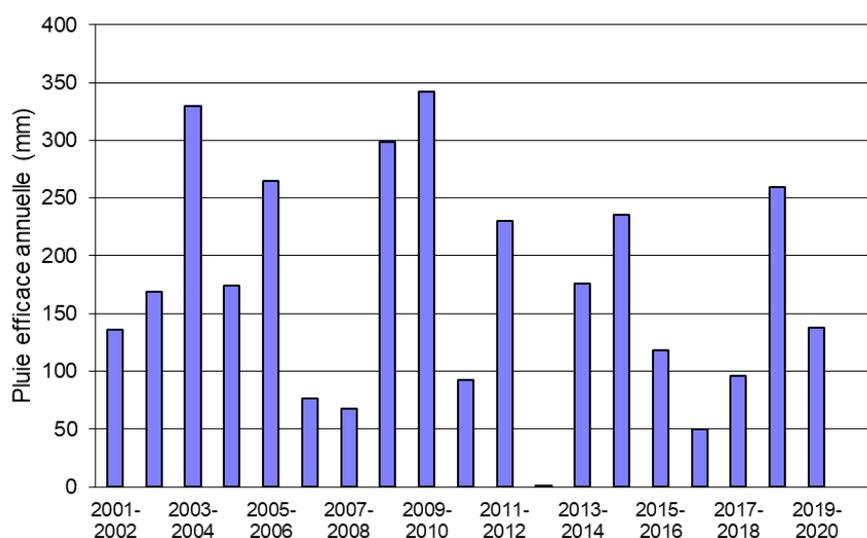


Figure 27 – Hauteurs annuelles de pluie efficace

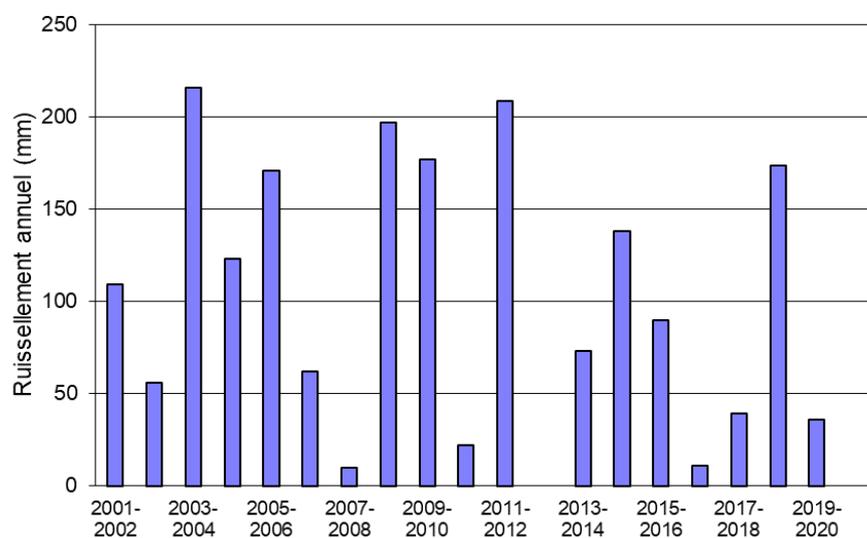


Figure 28 – Hauteurs annuelles de ruissellement

Les valeurs moyennes annuelles des 20 dernières années sont les suivantes :

- Précipitations : 541.5 mm
- ETP : 1194.2 mm
- Précipitations efficaces : 162.8 mm
- Ruissellement : 95.5 mm
- Recharge potentielle : 67.3 mm

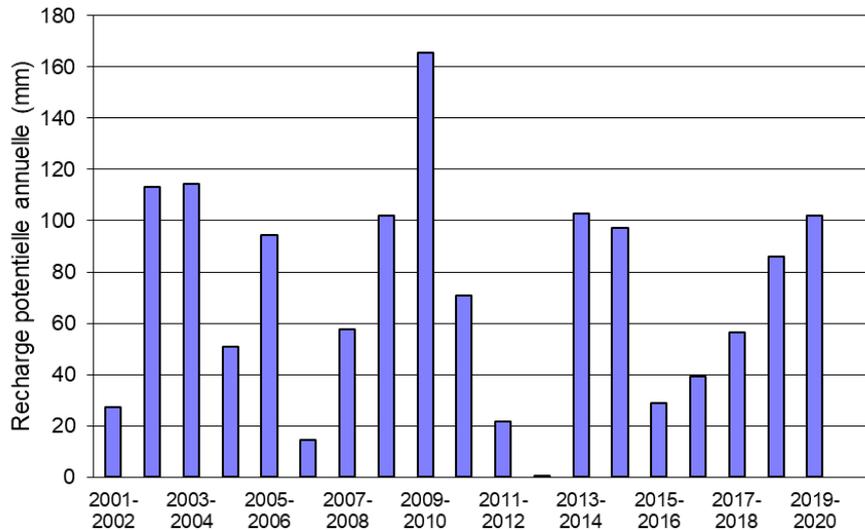


Figure 29 – Hauteurs annuelles de recharge potentielle des nappes

Un résident de Trinquetaille a fourni au PNR Camargue un suivi pluviométrique qu'il réalise dans le quartier. La Figure 29 compare les pluies cumulées enregistrées sur Arles par Météo-France et sur Trinquetaille par ce résident. Les précipitations semblent légèrement plus importantes sur ce secteur. Les conditions d'installation de cette station privée de mesure n'étant pas connues, il n'est cependant pas possible de statuer sur cette différence.

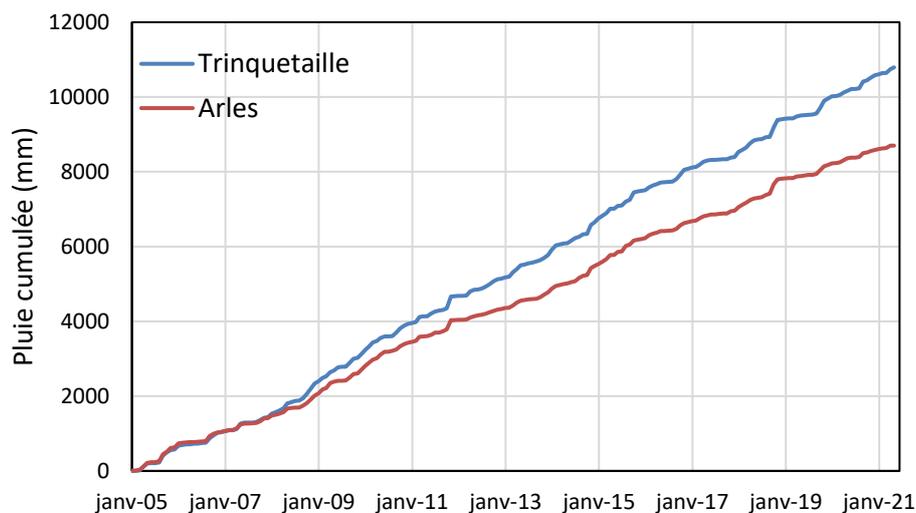


Figure 30 – Comparaison des pluies cumulées d'Arles (Météo-France) et de Trinquetaille (résident)

La nappe souterraine et le Rhône constituent les deux autres compartiments hydrologiques pouvant influencer le fonctionnement hydrique de la zone humide. La Figure 31 présente les niveaux du Rhône (à Tarascon) et de la nappe (piézomètre du réseau piézométrique national de la Citerne à Arles Nord).

On remarque une variabilité importante des niveaux de la nappe et du Rhône (Figure 31), avec une bonne corrélation (en moyenne) entre les deux. Les deux séries montrent elles-aussi des périodes de niveaux plus élevés (ex : 2013-2015) et d'autres plus bas (ex : 2011-2013). Les niveaux d'étiage varient de plus d'un mètre (par exemple entre les étés 2013 ou 2014 et les étés 2017 ou 2019).

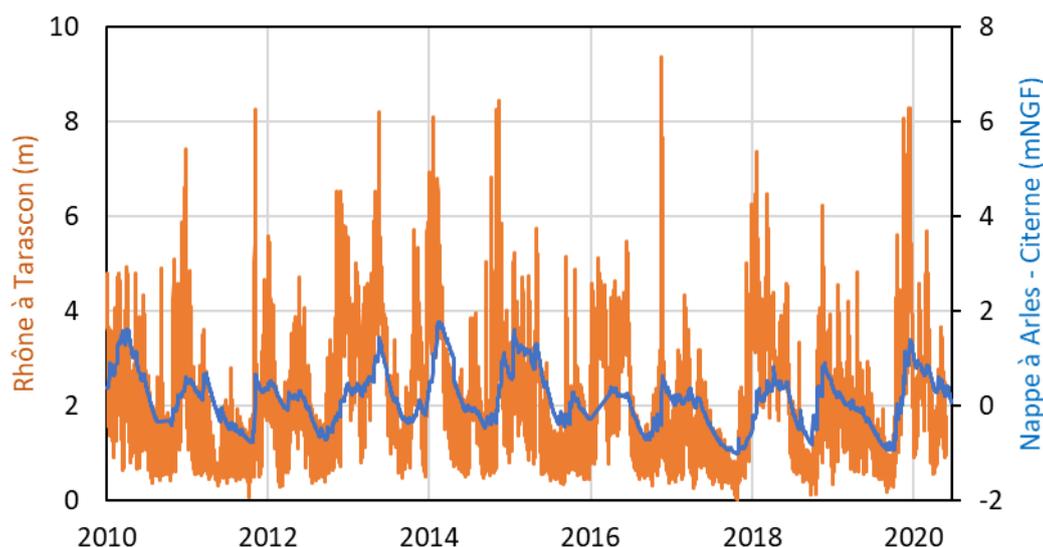


Figure 31 – Niveaux du Rhône (à Tarascon) et de la nappe (à Arles – Citerne) (données Eau-France)

Le plan d'eau de la zone humide pouvant être contrôlé par les pluies, le niveau de la nappe ou le niveau du Rhône, on comprend qu'il puisse s'assécher totalement durant les années déficitaires et être en eau de façon importante durant les années humides.

3.3. Suivi piézométrique

Les données piézométriques acquises dans le cadre du diagnostic environnemental réalisé en 2010 par ANTEA ont montré que les écoulements souterrains s'effectuent en direction du Rhône, du Nord-Ouest vers le Sud-Est, avec un gradient hydraulique faible (de l'ordre de 0,8 à 1 %). Dans ce contexte, les eaux souterraines du site de la papeterie ne peuvent alimenter la zone humide et ne peuvent contribuer à apporter des contaminants vers la roselière.

Dans le cadre de la présente étude, un suivi piézométrique de sept mois avait été envisagé en amont et en aval du site afin de préciser le rôle des eaux souterraines dans l'alimentation en eau de la zone humide. Pour ce faire, deux piézomètres ont été installés en amont et en aval de la zone humide, et une sonde a été mise dans la mare, au pied de l'échelle limnimétrique (Figure 32). Ces trois sondes ont été installées le 5 juillet 2020.

Au bout d'un mois de suivi, il a été constaté que les deux sondes amont et aval présentaient un comportement identique, mais très différent de celui de la sonde installée dans la mare. Afin de vérifier s'il cela était dû au fait que les sondes étaient à l'extérieur de la roselière, un nouveau piézomètre a été creusé dans la roselière même, à proximité de la sonde posée dans la mare. Notons que la mare était à sec à cette période-là, assec qui s'est poursuivi plusieurs mois. Aucune différence notable n'a été observée entre les trois piézomètres (Figure 33).

Des dégradations ayant affecté le piézomètre Sud, il a été décidé de ne conserver que le piézomètre de la roselière.



Figure 32 – Implantation des trois sondes (sonde amont au Nord, sonde de la mare, sonde aval au Sud)

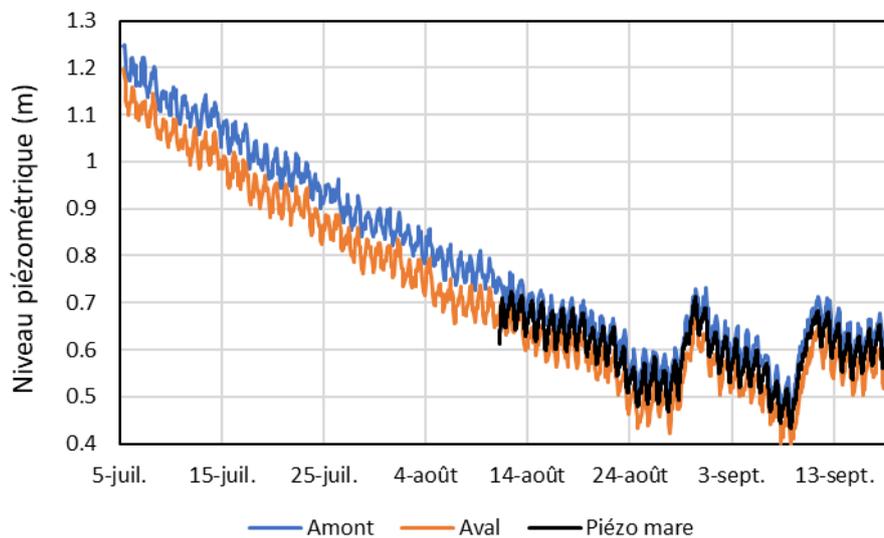


Figure 33 – Piézomètres implantés au niveau de la roselière pour le suivi piézométrique

La Figure 34 compare le niveau piézométrique mesuré dans la roselière avec le niveau de la mare. Les mesures présentées combinent nos mesures et celles du PNR. Les mesures du niveau dans la mare débutent à la mi-novembre (la mare étant à sèche auparavant).

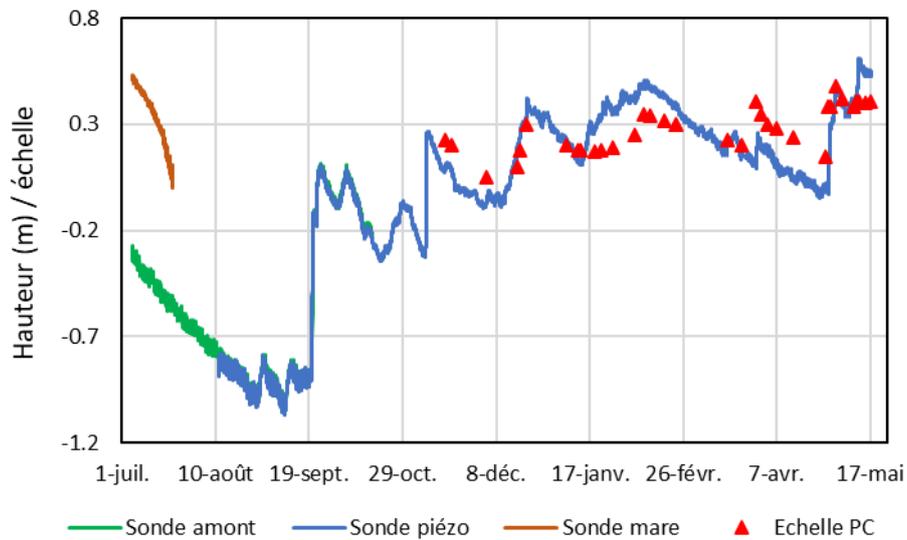


Figure 34 – Comparaison du niveau piézométrique dans la roselière avec le niveau de la mare

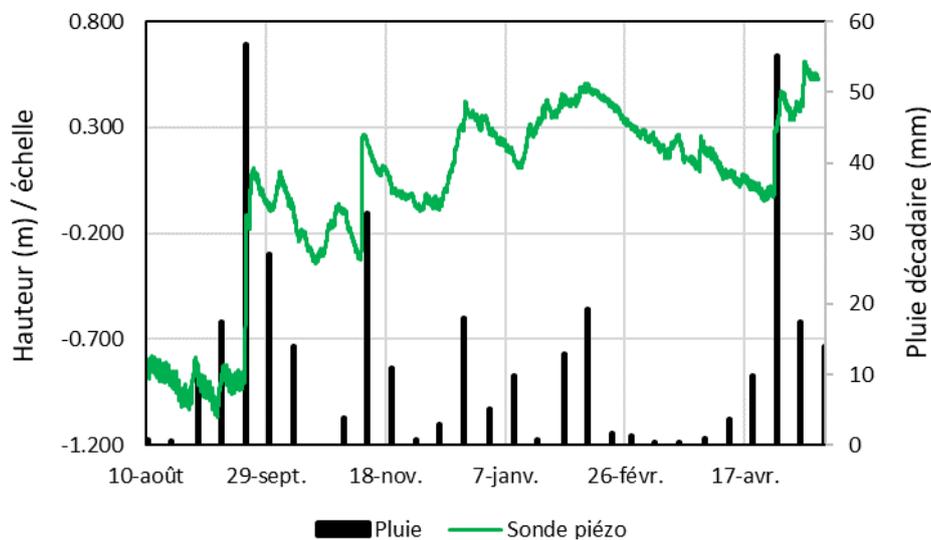


Figure 35 – Réactivité de la nappe avec les pluies

Le suivi a été mené sur 11 mois afin de pouvoir caractériser les différentes phases du cycle hydrologique, et en particulier de pouvoir éventuellement bénéficier des pluies printanières, l'automne ayant été peu pluvieux. Les résultats montrent différents aspects particuliers du fonctionnement du système :

- En juillet 2020, le niveau piézométrique est très bas et a priori déconnecté de la mare (Figure 34). Ceci a entraîné une baisse très rapide du niveau de la mare jusqu'à son total assèchement fin juillet.
- Les pluies survenues le 19 septembre ont induit une forte remontée de la nappe (de l'ordre du mètre), mais sans réellement permettre la remise en eau de la mare.
- C'est l'évènement pluvieux survenu début novembre qui a permis à la mare de se remettre légèrement en eau. La hauteur d'eau dans la mare est de l'ordre de 10 à 30 cm durant tout l'hiver.
- Courant janvier, le niveau de la nappe est plus élevé que celui de la mare et permet le maintien en eau de cette dernière, malgré l'absence de pluie.
- La remise en eau artificielle de la mare par le PNR (le 29 mars 2021) pour le dénombrement des tritons n'a pas entraîné une remontée proportionnelle de la nappe.

- Les derniers évènements pluvieux d'avril et mai 2021 ont induit une recharge de la nappe plus importante que celle de la mare.

La connexion entre la nappe et la mare n'est donc pas suffisante pour que l'évolution de leurs niveaux respectifs soit identique. Ceci confirme que la nature argileuse du sous-sol ne permet qu'une faible alimentation de la mare par la nappe lorsque la nappe est en 'surcharge' par rapport au fond de la mare, et inversement qu'une faible drainance lorsque la nappe est en 'sous-charge'.

Les échanges entre la mare et la nappe peuvent donc être considérés comme faibles, voire négligeables. Ceci semble avoir été confirmé en particulier par le maintien en eau de la mare suite à l'apport d'eau par le PNR fin mars 2021, avec un niveau de nappe plus bas.

La Figure 36 compare l'évolution du niveau de la nappe dans la zone humide avec celle du piézomètre de la Citerne (Nord d'Arles).

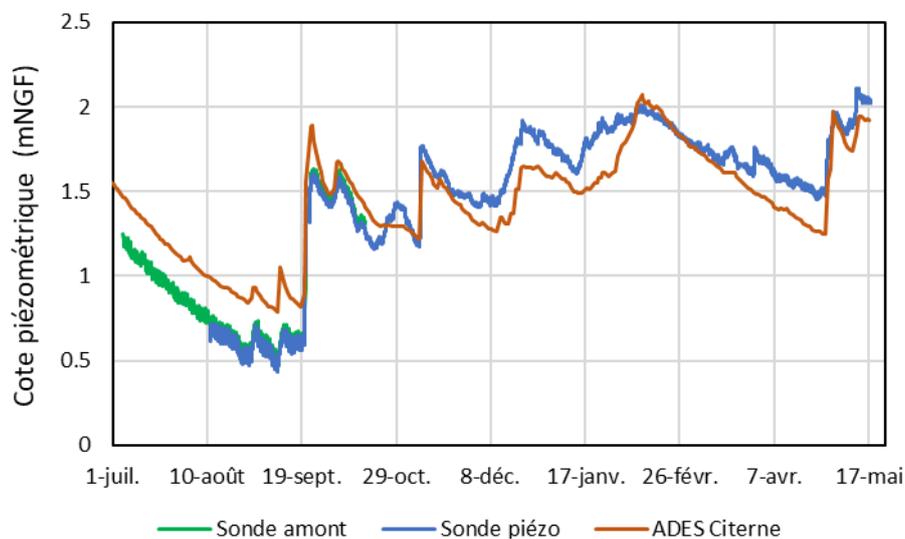


Figure 36 – Comparaison des évolutions piézométriques dans la roselière et dans la zone Nord d'Arles

La nappe sous la roselière semble un peu plus réactive (elle monte et descend de façon plus importante) qu'au droit du piézomètre de la Citerne. Ceci pourrait être dû à une proximité un peu plus grande avec le Rhône à Trinquetaille qu'au droit du piézomètre de la Citerne.

Dans les deux cas, la nappe varie effectivement de façon beaucoup moins importante que le niveau du Rhône (Figure 37). A proximité du Rhône, la nappe sera donc influencée de façon plus importante qu'à plus grande distance.

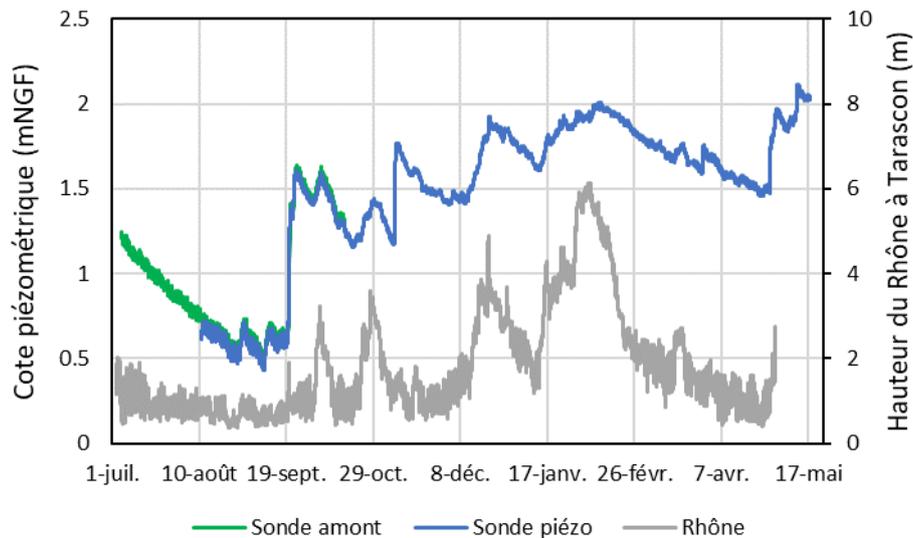


Figure 37 – Comparaison de l'évolution piézométrique dans la zone humide avec le niveau du Rhône (station de Tarascon)

3.4. Esquisse de bilan hydrique

Les principaux enseignements acquis des travaux réalisés sont les suivants :

- absence de cours d'eau et fossés susceptibles d'alimenter en eau la roselière ;
- roselière principalement alimentée par la pluie tombant directement sur la roselière ou sur son impluvium (Figure 22) ;
- possible contribution d'un ruissellement hypodermique de subsurface prenant place dans la partie supérieure du remplissage sédimentaire et s'écoulant au-dessus des argiles et vases plastiques (Tableau 1) ;
- possible échange, mais très faible, avec les eaux souterraines plus profondes.

Les termes du bilan hydrologique à considérer sont donc les suivants :

- précipitations tombant directement sur la roselière (4000 m²) ;
- évapotranspiration sur la roselière ;
- précipitations efficaces sur l'impluvium de la roselière (9200 m²).

La Figure 38 présente le bilan hydrique de la roselière calculé avec les informations mentionnées ci-avant.

On remarque que durant certaines années (excédentaires en pluie) la roselière demeure en eau. C'est le cas des étés 2004, 2009, 2010, 2015.

A l'inverse, la zone humide a été presque totalement hors d'eau durant les hivers 2012-2013 et 2020-2021.

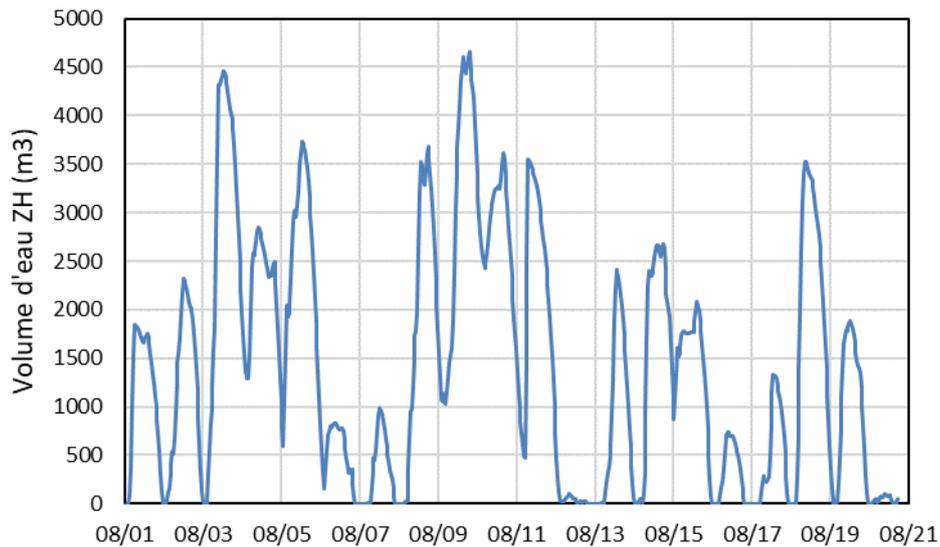


Figure 38 – Bilan hydrique de la roselière calculé avec les informations disponibles

3.5. Qualité des eaux

Des analyses chimiques de l'eau de la mare et de la nappe ont été réalisées. Ces analyses correspondent aux prélèvements réalisés par le Parc National Régional (PNR) de Camargue le 15 juin 2019 et par le présent projet le 25 mars 2021. La période couverte par la présente étude a été particulièrement défavorable à la mare et donc à son échantillonnage, puisque celle-ci a été à sec durant la première partie de l'étude et avec très peu d'eau durant la seconde partie. Il n'a donc pas été possible de réaliser d'autres échantillonnages représentatifs. Mentionnons également qu'une réalimentation artificielle de la mare a été réalisée par le PNR le 29 mars 2021 avec l'eau du réseau de ville pour l'étude de dénombrement des tritons. Suite à cette réalimentation, les eaux n'étaient donc plus représentatives de la qualité naturelle des eaux du site.

Le faciès chimique (répartition des anions et cations) des eaux est présenté à la Figure 39.

Le diagramme de Piper représente la composition de l'eau en ions majeurs. Les proportions relatives des cations (calcium, magnésium, sodium et potassium) sont représentées dans le triangle de gauche, et celles des anions (chlorure, sulfate et bicarbonate) dans le triangle de droite.

On constate que les eaux de la mare et de la nappe sous-jacente sont considérablement plus enrichies en sulfate que l'eau de mer. Ceci s'observe dans le triangle de droite où les points sont situés vers le milieu de l'axe du sulfate (SO_4), alors que l'eau de mer est située vers le bas de l'axe (faible proportion de sulfate). Les eaux contiennent donc presque autant d'ions 'sulfate' que d'ions 'chlorure'. Dans le triangle de gauche, les eaux du site sont décalées vers la gauche par rapport à l'eau de mer, en s'éloignant du pôle 'sodium + potassium'. Cette signature chimique est typique d'eaux riches en gypse-anhydrite (sulfate de calcium) et halite (chlorure de sodium). Ce sont des eaux caractéristiques des lagunes côtières d'évaporation. Ces eaux de lagunes sont celles que l'on retrouve un peu partout dans la région (exemple de la Figure 21).

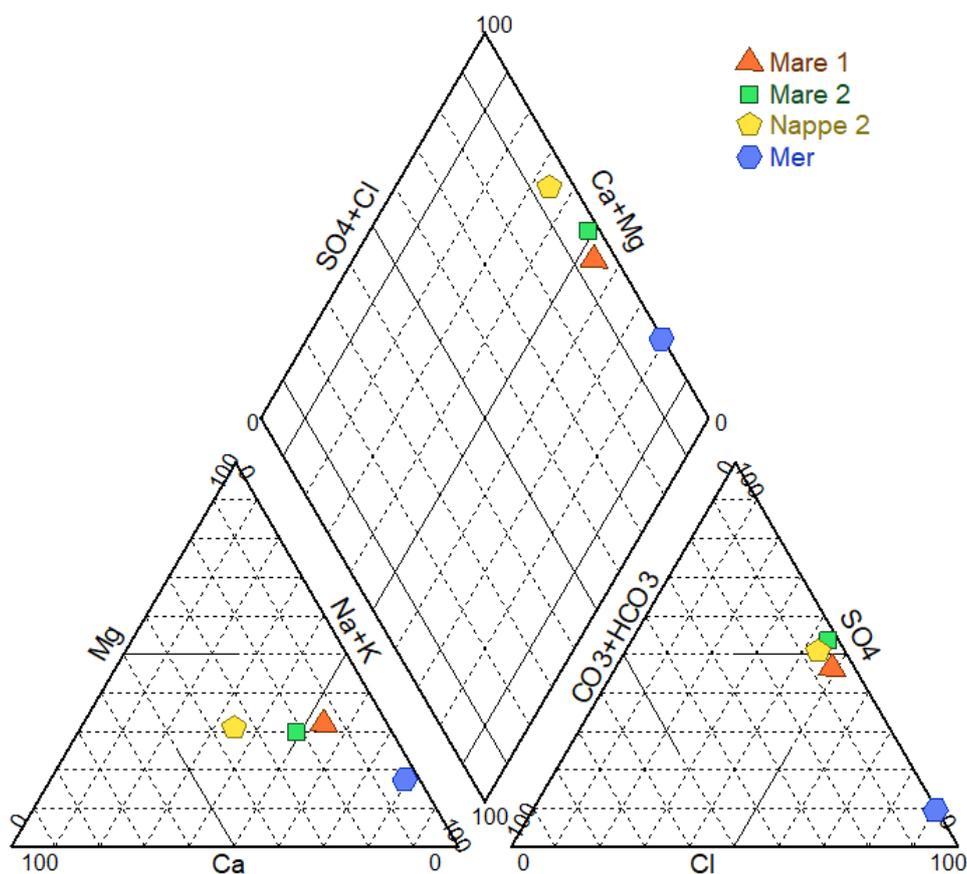


Figure 39 – Répartition ionique (faciès chimique en diagramme de Piper) de l'eau de la mare et de la nappe (la composition de l'eau de mer est indiquée en référence)

Ions majeurs (mg/l)	Mare - Juin 2019 (PNR)	Mare - Mars 2021 (HYDRIAD)	Nappe - Mars 2021 (HYDRIAD)
Cations			
Calcium	481	616	741
Magnésium	665	512	395
Sodium	1888	1379	776
Potassium	407	336	119
Ammonium	<5	<0.05	2.2
Anions			
Chlorures	2960	2300	1700
Sulfates	3830	3800	2700
Bicarbonates	538	229	385
Nitrates	<5	<10	<10
Nitrites	<0.5	0.02	0.07
Ortho-phosphates	<2.5	0.21	0.02

Tableau 2 : Concentrations en ions majeurs (mg/l) des eaux de la mare et de la nappe

On note une concentration faible (inférieure au seuil de quantification) des nitrates et ortho-phosphates, dénotant l'absence d'impact des activités agricoles et des eaux usées.

Un questionnement avait été soulevé quant à savoir si le stockage de tas de sel de déglçage routier situé au bord de la N113 (rond-point du Vittier ; Figure 40) pouvait être à l'origine de la salinité constatée.



Figure 40 – Localisation du stockage de sel déglaçant routier (source Geoportail)

Ce dépôt de sel ne peut être à l'origine de la salinité du site de la mare car :

- Ce sel est principalement composé de chlorure, alors que les eaux superficielles et souterraines étudiées contiennent plus de sulfate que de chlorure. Les ions dominants mesurés (sulfates, chlorures, sodium, calcium et magnésium) dans les eaux souterraines et superficielles correspondent à des sels d'évaporites (comme beaucoup d'eaux souterraines de la région).
- Une rapide règle de trois sur l'emprise du secteur entre le tas de sel et la mare met en jeu environ 1500 tonnes de chlorure de sodium dissous dans l'eau souterraine, ce qui n'est donc pas compatible avec l'importance du stockage.

Les tableaux suivants présentent les principaux autres paramètres mesurés (autres que les ions majeurs présentés précédemment), ainsi que les contaminants détectés.

Physico-chimie	Mare - Juin 2019 (PNR)	Mare - Mars 2021 (HYDRIAD)	Nappe - Mars 2021 (HYDRIAD)
Phosphore total (mg/l P)	8.8	0.174	0.021
Azote Kjeldahl (mg/l N)	10.2	3.1	3.6
Carbone organique dissous (mg/l C)	61	34	16
DBO5 (mg/l O2)	7	4	6
DCO (mg/l O2)		119	40
Indice hydrocarbures (C10-C40) (mg/l)		0.1	

Tableau 3 : Paramètres physico-chimiques de base des eaux de la mare et de la nappe

On note une variabilité importante du phosphore total, de l'azote Kjeldahl et du carbone organique dissous, tous trois principalement reliés à la dynamique de la matière organique végétale. Ceci se traduit également par des demandes biologiques (DBO5) et chimiques (DCO) en oxygène importantes. L'eau de la mare ne montre pas de contamination par les hydrocarbures.

Métaux dissous ($\mu\text{g/l}$)	Mare - Juin 2019 (PNR)	Mare - Mars 2021 (HYDRIAD)	Nappe - Mars 2021 (HYDRIAD)
Arsenic	148	122	5.01
Cadmium	<10	30.4	0.170
Chrome	<50	1.00	0.6
Cuivre	<100	500.4	0.96
Nickel	<50	30.8	8.5
Plomb	<20	0.07	<0,05
Mercure		0.03	<0,01
Zinc	<100	1418	27.95

Tableau 4 : Concentrations en métaux traces ($\mu\text{g/l}$) des eaux de la mare et de la nappe

Quelques métaux présentent des concentrations notables dans l'eau de la mare :

- Zinc (possiblement relié aux papeteries et à l'agro-alimentaire) ;
- Cuivre (possiblement relié au traitement de la vigne ou éventuellement à la production d'engrais et produits corolaires) ;
- Arsenic (possiblement relié aux papeteries, à l'agriculture ou à la production d'engrais) ;
- Nickel (plutôt relié à l'industrie de transformation des métaux) ;
- Cadmium (métallurgie, engrais).

Les sources de métaux lourds d'origine anthropique sont liées à l'industrie, au transport et à l'agriculture, notamment (Ernst et Joosse Van Damme, 1983) :

- la combustion des combustibles fossiles, pétrole et charbon dans l'industrie, le chauffage et les transports (ex : As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn),
- l'extraction de minerais (ex : As, Fe, Ni, V ...),
- la métallurgie du fer et de l'acier (ex : Pb, Cd, Ni) et des métaux non ferreux (ex : As, Cd),
- l'incinération des déchets ménagers (ex : Hg, Pb, Cd ...),
- les engrais et pesticides (ex : Cd, Cu, As, Hg ...).

Les sources peuvent donc être nombreuses, d'autant plus que le transport aéroporté permet le transfert des polluants sur de longues distances. Il semble donc difficile d'identifier clairement la provenance des métaux retrouvés dans les eaux de la roselière. Les fortes concentrations observées sont à mettre en relation avec la dynamique d'évaporation entraînant leur concentration dans les eaux 'piégées' dans la zone humide.

Une recherche de 555 molécules organiques (pesticides, HAP, BPC) a été effectuée sur l'eau de la mare en mars 2021. Les seules molécules organiques de synthèse retrouvées sont les suivantes :

- Atrazine 2-hydroxy à 0.043 $\mu\text{g/l}$ (métabolite d'herbicide),
- HCH bêta à 0.022 $\mu\text{g/l}$ (insecticide),
- DNOC (dinitrocrésol) à 0.054 $\mu\text{g/l}$ (métabolite d'herbicide et d'insecticide),
- Anthraquinone à 0.009 $\mu\text{g/l}$ (HAP naturel ou phytosanitaire).

De façon globale, la contamination par les substances organiques de synthèse est donc faible.

Dans l'analyse 2019 du PNR, les dérivés du phénol suivants avaient été retrouvés :

- 2-chlorophénol à 0.12 $\mu\text{g/l}$,
- 4-chlorophénol à 0.20 $\mu\text{g/l}$,
- 2,4,6-trichlorophénol à 0.10 $\mu\text{g/l}$.

Notons que le phénol à l'origine de ces métabolites de dégradation peut avoir différentes origines, dont la fabrication de papier et carton.

3.6. Qualité des sols

La Figure 41 présente la localisation des points d'échantillonnage des sols réalisés des études antérieures de diagnostic des pollutions du secteur (extrait de la cartographie réalisée par ERG, 2016 ; l'emplacement de la zone humide a été rajoutée sur cette figure). Les points encerclés en bleu de cette figure indiquent une pollution des sols par les métaux lourds. La pollution par les métaux lourds semble circonscrite aux abords immédiats de l'ancienne usine d'engrais.



Figure 41 – Points d'échantillonnage des sols des études antérieures (extrait d'ERG, 2016)
Les points encerclés en bleu indiquent une pollution des sols par les métaux lourds

Selon la dynamique des écoulements souterrains orientés Nord-Ouest – Sud-Est, les eaux polluées issues des abords de l'ancienne usine d'engrais ne devraient pas affecter directement la zone humide.

Afin de vérifier / confirmer la présence dans l'environnement terrestre entourant la mare des contaminants identifiés dans l'eau de celle-ci, une reconnaissance des sols sur la roselière et son impluvium a été réalisée. Cette caractérisation a porté sur :

- L'analyse granulométrique de la partie supérieure du sol (50 premiers centimètres du sol présent sous les éventuels remblais) ;
- L'analyse chimique des hydrocarbures totaux, HAP, BPC et métaux traces.

Six points ont été réalisés : deux dans la roselière et cinq sur l'impluvium (Figure 42). Ces points ont été choisis en tenant compte des conditions d'alimentation en eau de la roselière discutées précédemment.



Figure 42 – Localisation des points d'échantillonnage des sols

Les résultats des analyses de sols sont présentés au Tableau 5. Ce tableau fait ressortir les valeurs dépassant les limites fixées pour les métaux traces. Des valeurs limites de concentration en éléments traces dans les sols sont en effet fixées dans l'arrêté du 8 janvier 1998 (repris de la norme NF U44-041) : Cd : 2 mg/kg ; Cr : 150 mg/kg ; Cu : 100 mg/kg ; Ni : 50 mg/kg ; Pb : 100 mg/kg ; Zn : 300 mg/kg ; Hg : 1 mg/kg ; Se : 10 mg/kg (pas de seuils indiqués pour l'arsenic et le molybdène).

La Figure 43 présente la texture des sols déterminée par les analyses granulométriques. Tous les sols se classent dans la zone basse du triangle des textures, reflétant le très faible contenu en argile des sols. Les sols échantillonnés sont principalement caractérisés par un fort contenu en limons et sables. Les sols de la roselière sont très riches en limons (silts) alors que les autres sols sont plus équilibrés en limons (silts) et sables (sands). Les sols de la roselière pourraient ainsi correspondre à des dépôts éoliens limoneux équivalents aux loëss quaternaires observés dans toute la région.

Paramètres analytiques	Unités	Prélèvements 28/06/2021					
		Sol-01	Sol-02	Sol-03	Sol-04	Sol-05	Sol-06
Mesures physiques							
Fraction 0.02 - 2 µm	%	9.59	7.09	5.36	4.20	4.88	2.84
Fraction 2 - 20 µm	%	45.47	40.27	32.08	24.06	32.27	22.39
Fraction 20 - 63 µm	%	29.34	33.21	21.49	19.37	19.63	31.65
Fraction 63 - 200 µm	%	13.55	15.02	21.97	20.51	19.62	21.03
Fraction 200 - 2000 µm	%	2.05	4.41	19.11	31.87	23.60	22.10
Pourcentage cumulé 0.02 à 2 µm	%	9.59	7.09	5.36	4.20	4.88	2.84
Pourcentage cumulé 0.02 à 20 µm	%	55.06	47.36	37.43	28.26	37.15	25.22
Pourcentage cumulé 0.02 à 63 µm	%	84.40	80.57	58.92	47.63	56.78	56.87
Pourcentage cumulé 0.02 à 200 µm	%	97.95	95.59	80.90	68.14	76.40	77.90
Pourcentage cumulé 0.02 à 2000	%	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Métaux							
Arsenic (As)	mg/kg MS	39.1	209.0	11.2	8.3	19.9	42.5
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	3.22	9.62	0.46	0.42	0.48	1.28
Chrome (Cr)	mg/kg MS	20.6	21.1	16.4	18.1	19.6	21.3
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	289	990	29	82	70	159
Molybdène (Mo)	mg/kg MS	4.00	3.89	<1,00	<1,00	<1,00	2.09
Nickel (Ni)	mg/kg MS	27.4	31.6	31.8	21.9	25.8	21.6
Plomb (Pb)	mg/kg MS	28	46	30	70	73	458
Zinc (Zn)	mg/kg MS	802	3560	94	102	101	346
Mercure (Hg)	mg/kg MS	0.24	1.02	0.19	0.14	0.15	0.71
Sélénium (Se)	mg/kg MS	2.09	5.68	0.60	<0,5	0.58	<1,99
Paramètres indésirables							
Hydrocarbures totaux (4 tranches) (C10-C40)							
Indice Hydrocarbures (C10-C40)	mg/kg MS	74.0	52.2	67.1	212.0	27.9	165.0
HCT (nC10 - nC16) (Calcul)	mg/kg MS	40.40	18.70	23.00	9.44	7.39	19.20
HCT (>nC16 - nC22) (Calcul)	mg/kg MS	23.8	14.5	16.1	22.7	7.0	33.0
HCT (>nC22 - nC30) (Calcul)	mg/kg MS	4.83	8.14	14.80	47.30	7.30	67.60
HCT (>nC30 - nC40) (Calcul)	mg/kg MS	4.96	10.90	13.20	133.00	6.26	45.50
PCB : Polychlorobiphényles							
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)							
Somme des HAP	mg/kg MS	0.280	0.150	1.300	13.000	1.000	20.000
Benzo(a)pyrène	mg/kg MS	<0,05	<0,05	0.086	1.300	0.087	1.700
Fluorène	mg/kg MS	0.062	<0,05	<0,05	0.059	<0,05	0.071
Phénanthrène	mg/kg MS	0.082	0.070	0.130	0.470	0.057	0.750
Anthracène	mg/kg MS	<0,05	<0,05	<0,05	0.560	<0,05	0.310
Fluoranthène	mg/kg MS	<0,05	<0,05	0.140	0.870	0.100	1.600
Pyrène	mg/kg MS	<0,05	<0,05	0.130	0.980	0.082	1.500
Benzo(a)-anthracène	mg/kg MS	<0,05	<0,05	0.120	0.800	0.088	2.400
Chrysène	mg/kg MS	<0,05	<0,05	0.180	1.100	0.130	3.000
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg MS	0.059	<0,05	0.210	2.400	0.230	4.600
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg MS	<0,05	<0,05	0.086	0.700	0.072	1.200
Indeno (1,2,3-cd) Pyrène	mg/kg MS	<0,05	<0,05	0.062	1.500	0.094	1.000
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg MS	<0,05	<0,05	<0,05	0.320	<0,05	0.320
Naphtalène	mg/kg MS	<0,05	<0,05	0.075	<0,05	<0,05	0.052
Acénaphthylène	mg/kg MS	<0,05	<0,05	<0,05	0.860	<0,05	0.270
Acénaphène	mg/kg MS	0.073	0.075	0.061	<0,05	<0,05	0.056
Benzo(ghi)Pérylène	mg/kg MS	<0,05	<0,05	0.056	1.400	0.084	0.910

Tableau 5 : Résultats des analyses de sols

Les valeurs des métaux indiquées en rouge sont celles dépassant les valeurs limites de l'arrêté du 8 janvier 1998

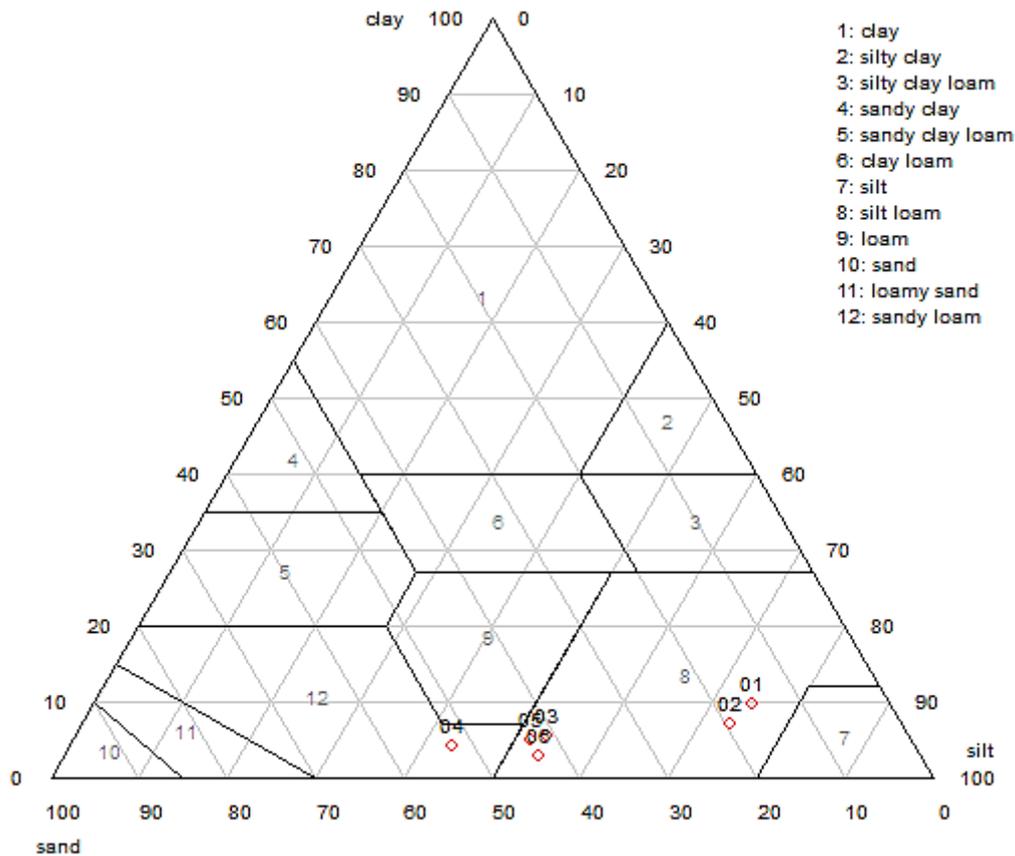


Figure 43 – Texture des sols échantillonnés

Au niveau des métaux lourds, on note de très fortes concentrations de cuivre et zinc dans les sols de la roselière. Le sol prélevé au bord de la mare (n° 02) est très concentré en zinc (3560 mg/kg) et moins en cuivre (990 mg/kg), le sol prélevé dans le centre de la roselière (n° 01) étant un peu moins concentré en zinc (802 mg/kg) et en cuivre (289 mg/kg). Ceci pourrait résulter d'un lessivage des parties hautes de la roselière au profit des parties basses (en l'occurrence la mare). L'arsenic est également très élevé sur le bord de la mare (209.0 mg/kg). Tel que discuté précédemment, les métaux lourds pourraient provenir des retombées des émissions des cheminées des anciennes usines.

Dans les sols de la périphérie de la ZH, on note la présence de plomb et de zinc en concentrations importantes sur l'échantillon n° 06 prélevé dans le fossé longeant la rue goudronnée du côté Nord.

Les Hydrocarbures Totaux sont principalement retrouvés sur les échantillons n° 06 et n° 04, et de même pour les HAP. Plusieurs molécules HAP sont mesurées.

Les valeurs de références pouvant être utilisées pour comparer les concentrations mesurées sont :

- Pour les hydrocarbures totaux : la Valeur de Terre Banalisable (VTB) de 85 mg/kg proposée par l'Union Professionnelle des Entreprises de Dépollution de Sites (UPDS) dans le cadre d'une EQRS générique (juillet 2009) ;
- Pour les HAP : valeur de 24 mg/kg proposée par l'ATDSR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1998).

Les sols de la roselière ne présentent pas de dépassement de ces deux valeurs limites. Par contre, certains sols de l'impluvium dépassent la valeur limite pour les hydrocarbures totaux (échantillons n° 04 et 06). Ce sont également ceux qui présentent les plus fortes concentrations en HAP, même si inférieures à la valeur limite utilisée.

4. Phase 3 – Programme d'aménagement et de gestion

Les résultats issus de cette étude ont montré certaines particularités du fonctionnement de la zone humide de Trinquetaille :

- Historiquement, la zone humide s'étendait de façon beaucoup plus importante du côté Ouest. Les activités ayant pris place tout autour de la ZH ont considérablement diminué sa superficie, en particulier du fait d'un remblaiement par des gravats et autres déchets de nature non connue (vraisemblablement des déchets de déconstruction).
- La roselière constituant le cœur de la zone humide actuelle ne bénéficie d'aucun apport hydrique extérieur autre que celui des précipitations tombant directement sur la roselière et sur son impluvium.
- Cet impluvium est limité en extension et en potentiel d'apport superficiel, en particulier du fait de la présence de fossés longeant le chemin de Compostelle. Ces fossés entravent en effet les écoulements superficiels normalement dirigés vers les Sud.
- La roselière ne présente de même aucun exutoire superficiel, si ce n'est une possible évacuation en nappe de l'eau lors des débordements pouvant survenir en très hautes eaux.
- L'évapotranspiration constitue donc la principale (voire l'unique) voie de sortie de l'eau. Cette évapotranspiration est par ailleurs exacerbée par la présence de végétaux hydrophiles à fort prélèvement hydrique.
- La roselière doit principalement son maintien en eau grâce à la présence d'un matériel argileux en profondeur entravant le potentiel d'écoulement souterrain. Ce matériel argileux correspond aux dépôts de plaine inondable, de delta et de lagune s'étant mis en place durant le Quaternaire dans la vaste plaine côtière et le complexe deltaïque du Rhône.
- La roselière semble pouvoir bénéficier d'un faible apport d'eau souterraine par drainance ascendante lorsque la piézométrie de la nappe profonde (contenu dans les cailloutis présents sous la formation argileuse) est supérieure en pression au niveau de l'eau dans la roselière. Cet apport est cependant faible et ne peut compenser totalement les pertes par évapotranspiration durant la période estivale.
- Le profil géophysique réalisé a montré que la formation argileuse constituant le sous-sol de la roselière contient une eau saumâtre, comme cela est par ailleurs connu tout le long du Rhône aval.
- L'apport d'eau souterraine par drainance ascendante correspond donc à de l'eau saumâtre qui ne peut que contribuer à la salinisation de la roselière avec évapotranspiration.

Le tableau ci-après présente les divers objectifs visés pour assurer la pérennité de la zone humide et les actions potentielles correspondantes. Chacune d'elle est discutée afin d'en faire ressortir les avantages et les inconvénients. Celles s'avérant les plus pertinentes font l'objet d'une fiche de présentation.

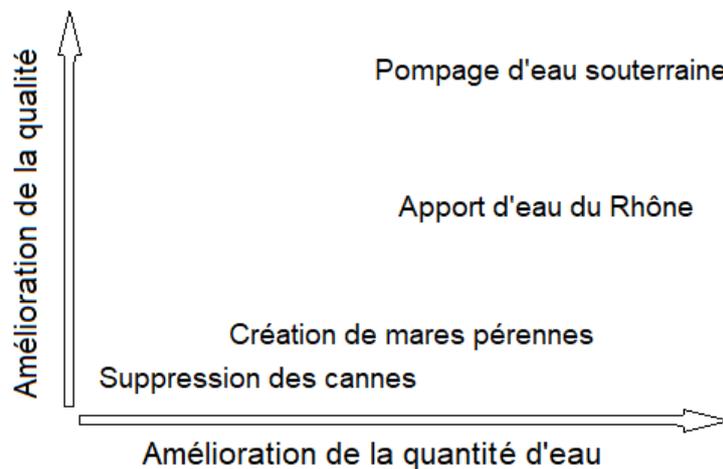
Objectifs	Actions envisagées
Favoriser les apports d'eau superficielle provenant de l'impluvium potentiel de la ZH.	<p>Du fait de la configuration topographique de la zone humide, de l'absence de tout cours d'eau et de la présence de fossés le long du chemin de Compostelle, il n'est pas possible de favoriser une alimentation de la roselière par des eaux superficielles provenant d'un impluvium étendu.</p> <p>De plus, eu égard à la contamination des sols constatée sur l'impluvium potentiel de la ZH (en particulier dans la zone de l'ancienne usine d'engrais), il n'est peut-être pas pertinent d'envisager cette solution pour éviter le transfert des polluants présents dans ces sols vers la roselière.</p>
Limiter l'évapotranspiration dans la roselière.	<p>L'évapotranspiration constitue la principale, voire l'unique sortie d'eau de la roselière. Le végétal occupant la roselière est le roseau commun (<i>Phragmites australis</i>). Selon la FAO, le coefficient cultural d'une zone humide de phragmites varie de 0.7 (en hiver) à 1.2 (en été) indiquant que l'évapotranspiration n'est que peu augmentée par rapport à une pelouse rase (culture de référence de l'ET, de coefficient cultural 1). Vincent (2011) indique cependant des coefficients culturaux pouvant atteindre des valeurs de 4 durant l'été dans le cas de lits de séchage de boues plantés de roseaux.</p> <p>Le contrôle de l'évapotranspiration des roseaux pourrait s'envisager par une coupe cyclique des roseaux. Il n'est pas requis d'envisager un faucardage puisque la roselière est assez systématiquement hors d'eau. Il n'est cependant pas certain que l'évapotranspiration durant la période de repousse des roseaux soit plus faible que celle d'une population établie de roseaux adultes. La littérature ne renseigne malheureusement pas sur cette dynamique de l'ET durant la croissance des roseaux.</p> <p>Par ailleurs, la coupe de roseaux entraîne des coûts qui pourraient être compensés, en tout ou en partie, par la vente des roseaux. L'offre actuelle est cependant plus élevée que la demande en roseaux, et les entreprises intéressées par la prise en charge de l'opération coupe-enlèvement sont de plus en plus exigeantes sur la qualité du roseau et tendent à privilégier la coupe sélective (coupe des seuls secteurs offrant les plus beaux roseaux).</p> <p>Eu égard aux caractéristiques et contraintes du site (faible surface, difficulté d'accès, fragilité de l'écosystème), il est très vraisemblable qu'aucune entreprise ne se montrera intéressée pour la prise en charge de cette opération de coupe-enlèvement.</p>
Limiter l'évapotranspiration autour de la roselière.	<p>Deux végétaux à forte demande en eau sont présents autour de la roselière : la canne de Provence (<i>Arundo donax</i>) et le peuplier blanc (<i>Populus alba</i>). Les peupliers blancs ne semblent pas en très bonne santé, peut-être du fait de la salinité de l'eau. Cette espèce s'accommode en effet des embruns marins et d'une très faible salinité du sol, mais ne peut être considérée comme supportant un sol salé. A cause de cette salinité des eaux, le peuplier blanc ne doit vraisemblablement pas exercer un prélèvement important durant l'été. Il ne semble donc pas vraiment pertinent d'envisager la suppression des peupliers limitrophe de la roselière pour en limiter l'ET.</p> <p>La canne de Provence présente des surfaces importantes, en particulier au Nord immédiat de la roselière. On peut penser que la canne intercepte, mécaniquement et physiologiquement, la totalité de l'eau superficielle provenant de l'impluvium limitrophe Nord de la roselière (entre la roselière et</p>

	<p>le chemin de Compostelle). La suppression de la canne pourrait favoriser les apports d'eau superficielle prenant place durant les périodes de forte pluie et limiter l'évapotranspiration prenant place durant l'été. La suppression de la canne impliquerait un décapage-étrépage de la partie supérieure du sol afin d'éliminer les rhizomes et prévenir la repousse de la canne.</p>
<p>Création de mares pérennes (ou à tout le moins assez durables au printemps).</p>	<p>L'aménagement d'une mare surcreusée s'est avéré une solution efficace ayant permis l'allongement de la période en eau d'une partie de la roselière, ainsi favorable à la reproduction du Triton. Il serait avisé de réaliser plusieurs mares ainsi surcreusées au sein de la roselière. Ces mares pourraient être plus profondes que celle récemment aménagée afin d'offrir une surface en eau plus durable durant l'été. Des mares étagées ou en pente douces pourraient être envisagées, offrant une diversité d'épaisseurs d'eau.</p> <p>Précisons que la femelle arrime ses œufs sur des feuilles immergées qu'elle replie en arc de cercle. Il est donc nécessaire que des plantes permettant ce type de ponte soient présentes en position immergée dans la mare. Ceci pourrait impliquer de réimplanter ou réensemencer des espèces végétales adaptées au besoin sur les parties surcreusées des mares. Ceci implique aussi que le surcreusement d'entretien périodique des mares ne soit pas synchrone sur toutes les mares afin de ne pas perturber simultanément tous les sites potentiels.</p>
<p>Favoriser l'apport d'eau souterraine.</p>	<p>La mare est alimentée, mais de façon faible, par un apport d'eau souterraine prenant place par drainance ascendante au travers de la couche argileuse qui constitue le substratum de la roselière. La formation argileuse est a priori gorgée d'eau saumâtre. Conséquemment, l'eau souterraine apportée est salée et contribue (par évaporation) à la salinisation de la roselière. Les cailloutis présents sous la formation argileuse semblent par contre renfermer une eau douce. Il pourrait être envisagé d'alimenter la roselière par cette eau douce. Pour ce faire, un forage d'une vingtaine à une trentaine de mètres pourrait être réalisé et équipé d'une pompe solaire.</p> <p>L'évapotranspiration potentielle (ETP) est de l'ordre de 3.3 mm/j en mars-avril, de 5.5 mm en mai-juin et de 6.4 mm/j en juillet-août. Considérant une surface de roselière de 1800 m² (toute la roselière jouant le rôle d'éponge et contribuant à évaporer l'eau de la mare), l'ETP sur la roselière serait de 10 m³/j en été, soit un besoin d'eau de 30 ou 40 m³/j pour un coefficient cultural de 3 ou 4. Par comparaison, lors de la remise en eau de la mare en avril 2021, un volume de 28 m³ a été apporté et a permis le maintien d'eau dans la mare durant quelques jours.</p> <p>Un apport d'eau de l'ordre de quelques dizaines de m³/j peut donc être envisagé comme un besoin maximal. Un tel apport demeure raisonnable (moins de 2 m³/h) et réalisable avec une pompe solaire. Cet apport pourrait être asservi par un capteur d'humidité ou de pression, activant la pompe lorsque le niveau dans la mare de contrôle passe en dessous d'un certain niveau. Précisons que le besoin de maintien en eau des mares relié à la reproduction du Triton se situe entre février et fin juillet.</p> <p>Un dossier de déclaration ou d'autorisation du prélèvement sera requis selon le prélèvement envisagé inférieur ou supérieur à 1000 m³/an.</p>

<p>Garantir une mise en eau des mares à une fréquence pluriannuelle (à définir).</p>	<p>Les écologistes mentionnent qu'il ne s'avère pas requis de vouloir maintenir chaque année la mare en eau. Une mise en eau assurée tous les 5 à 7 ans pourrait être suffisante pour permettre la reproduction et le maintien de la population de tritons. L'objectif serait d'envoyer une bonne partie de la roselière afin que l'assèchement ne soit pas trop rapide.</p> <p>Les volumes à apporter seraient cependant très importants pour le maintien de la mare durant plusieurs semaines au vu de l'essai de remise en eau d'avril dernier et des calculs précédents. L'apport requis (mise en eau en une fois) pourrait être de l'ordre de plusieurs milliers de m³.</p> <p>Cet apport serait à réaliser depuis une source externe (réseau AEP ou prélèvement sur le Rhône). La solution pourrait être un prélèvement effectué sur le Rhône par pompage et acheminement de l'eau par une conduite (pour éviter la centaine de rotations requises de camions citernes). Avec une pompe et une conduite permettant un débit de l'ordre de 50 m³/h, le pompage durerait 3 à 5 j.</p> <p>Une conduite temporaire pourrait être installée mais impliquerait la traversée de l'avenue de la Camargue. Il est possible que des passages existent sous cette avenue, mais nous n'en avons pas observés au droit du lieu de passage idéal. Dans le cadre de l'aménagement futur de la papeterie Etienne, une conduite permanente pourrait être installée allant de la berge du Rhône à la mare. La longueur de conduite requise serait de l'ordre de 300 à 350 m. Une conduite de type irrigation en polyéthylène semblerait adaptée et moins chère qu'une conduite métallique.</p> <p>L'alimentation épisodique de la mare pourrait se faire en contractant de temps à autre, durant les années déficitaires, l'alimentation de la roselière via cette conduite. De nombreuses entreprises disposent de pompes permettant ce type de pompage. Le recours à une entreprise privée éviterait l'acquisition et le maintien en état d'une pompe ne fonctionnant que durant quelques jours tous les 5 à 7 ans.</p> <p>Mentionnons qu'un apport depuis le Rhône pourrait présenter le risque d'une introduction d'espèces prédatrices (poissons, écrevisses, ...). Une filtration adaptée serait donc requise.</p> <p>Un dossier de déclaration ou d'autorisation du prélèvement sera requis.</p>
<p>Améliorer la qualité chimique des eaux</p>	<p>Les analyses d'eau et de sols ont montré la présence de métaux, hydrocarbures et HAP. Un apport d'eau extérieure (plutôt que la récupération des eaux de l'impluvium) limiterait l'apport de contaminants. Par ailleurs, le curage d'entretien des mares permettrait d'éliminer les contaminants présents dans les couches supérieures des sédiments.</p>
<p>Aménagement d'habitats propices au Triton</p>	<p>Outre la préoccupation du maintien en eau de certaines parties de la roselière pour la reproduction du Triton, il serait judicieux de créer des habitats terrestres favorables au Triton afin de lui permettre de ne pas avoir à s'éloigner indûment de la mare et en particulier à traverser les axes routiers. Selon la littérature, des enrochements sembleraient pouvoir offrir un type d'habitat souhaitable.</p> <p>Notons qu'il pourrait être pertinent d'aménager des passages à Triton sous le chemin de Compostelle, même si rien ne garantit que le Triton les emprunte. Des passages plus profonds et humides pourraient peut-être l'y encourager.</p>

Le tableau ci-avant a présenté les diverses actions envisageables pour le maintien ou la restauration fonctionnelle de la zone humide pour la protection du Triton. Les actions présentant les meilleurs potentiels et intérêts sont :

- La suppression de la population de cannes de Provence occupant la partie de l'impluvium située immédiatement au Nord de la roselière (entre la roselière et le chemin de Compostelle) afin de favoriser l'apport d'eau depuis ce secteur et de limiter l'évapotranspiration. Un étrepage permettrait l'élimination des rhizomes et le décapage de la partie supérieure du sol pouvant présenter les plus fortes concentrations de contaminants.
- La création de mares surcreusées, telle celle réalisée il y a quelques années. Ces mares devront être plus profondes que l'actuelle mare et enherbées afin de favoriser la ponte.
- L'apport d'eau depuis le Rhône semble difficile à mettre en œuvre à cause de l'importante rotation de camions engendrée ou de la nécessité de mettre en place une canalisation. Cette mise en place pourrait cependant être envisagée dans le cadre des travaux d'aménagement de la friche industrielle et de la papeterie Etienne.
- La réalisation d'un forage équipé d'une pompe solaire semble être une bonne alternative permettant un apport d'eau à la mare en période déficitaire. L'eau souterraine permettrait par ailleurs une amélioration de la qualité de l'eau.



Trois de ces actions font l'objet d'une fiche synthèse de présentation. L'apport d'eau depuis le Rhône n'est pas retenu à ce stade-ci puisque cette action ne semble pouvoir être envisagée que dans le cadre plus global de l'aménagement de la friche industrielle / Papeterie Etienne.

Une quatrième action a été rajoutée visant la création d'habitats terrestres par enrochements.

Zone humide de Trinquetaille - Arles		
CA Arles Crau Camargue Montagnette	Création de mares	N° 1
	Priorité 1 Action à réaliser dès que possible	
Objectifs	Préserver l'humidité dans des mares « refuges »	
Indicateurs	Potentiel du maintien d'eau dans ces mares « refuges »	

Description de l'action

L'action vise à assurer le maintien de points d'eau favorables à la reproduction du Triton par la création de dépressions en quelques points de la roselière. La présence d'eau dans ces dépressions doit également permettre le maintien d'une végétation aquatique requise pour la ponte du Triton.

L'opération consiste à surcreuser des dépressions naturelles ou à creuser de nouvelles mares à une profondeur suffisante pour qu'elles se maintiennent le plus possible en eau, idéalement jusqu'en juillet.

Ces mares devront être aménagées en pente douce ou en paliers afin de favoriser l'existence de la végétation aquatique nécessaire à la ponte. Une implantation ou un ensemencement d'une ou plusieurs espèces végétales aquatiques adaptées à la ponte des œufs de Triton pourraient être envisagés.

Deux secteurs situés dans la partie Ouest de la roselière, autres que la mare actuelle, présentent déjà une dépression. Plutôt que de surcreuser les dépressions existantes, nous proposons de creuser les mares de façon légèrement décalée par rapport aux dépressions actuelles afin de ne pas détruire la végétation y prenant place et de l'utiliser comme source de dissémination végétale vers les points surcreusés.

Cette création de mares pourrait s'accompagner de l'apport artificiel d'eau décrit à l'action 4.

Méthodologie d'exécution

Dans cet objectif de création de mares de plus longue persistance, il conviendra de :

- Définir le type de mare le plus adapté aux enjeux recherchés (forme, extension, profondeur) ;
- Choisir les sites candidats en regard des attentes et enjeux (accessibilité pour le Triton, localisation des habitats terrestres, ...) ;
- Procéder à l'éventuel débroussaillage requis ;
- Aménager les dépressions selon les spécifications définies.

L'aménagement des dépressions pourra se faire à l'aide d'une petite pelle mécanique, par temps sec, en étiage, à l'issue de la période de reproduction. Les matériaux excavés pourront être redispuestos sur la roselière, mais à une distance suffisante des mares pour qu'ils ne les recomblent pas par érosion / ruissellement lors des fortes pluies. Idéalement ils seront disposés à l'extérieur de la roselière.

Un dossier de déclaration type Loi sur l'Eau pourrait être requis.

Estimatif budgétaire

Les coûts afférents envisagés seraient les suivants :

- Conception, maîtrise d'œuvre, suivi des travaux : 1 300 €HT
- Débroussaillage pour l'accès à la roselière : 750 €HT
- Décaissement à la pelle mécanique : 1 300 € HT
- Implantation d'une végétation aquatique : 1 500 €HT

Investissement total : 4 850 € HT

Fonctionnement : reprise du décaissement tous les 8 à 10 ans = 1 000 €HT

Maître d'ouvrage : CA ACCM

Zone humide de Trinquetteille - Arles		
CA Arles Crau Camargue Montagnette	Suppression des cannes de Provence	N° 2
	Priorité 1 Action à réaliser dès que possible	
Objectifs	Favoriser l'apport d'eau depuis l'impluvium Nord immédiat et limiter l'évapotranspiration	
Indicateurs	Apport d'eau vers la roselière – élimination des cannes	

Description de l'action

L'action vise à permettre l'apport d'eau par ruissellement depuis la partie de l'impluvium situé au Nord immédiat de la roselière (entre la roselière et le chemin de Compostelle).

L'opération consiste à décapier la zone afin d'éliminer les cannes et leurs rhizomes.

Il sera possible de coupler cette action avec la création d'habitats terrestres par enrochement favorables au Triton.

Méthodologie d'exécution

Dans cet objectif d'élimination des cannes au Nord de la roselière, il conviendra de :

- Vérifier la nature du premier demi-mètre de sol par des reconnaissances rapides à la pelle mécanique ; une large partie de cette zone est en effet constituée de remblais ; leur présence n'est pas un problème en soi, mais pourrait nécessiter d'adapter le décapage envisagé ;
- Décapier le sol sur une épaisseur de l'ordre de 20 cm (correspondant à la profondeur d'enracinement des rhizomes) ; une herse à griffes pourrait peut-être convenir, limitant de la sorte l'exportation de la terre ;
- Exporter les cannes et leurs rhizomes dans une autre secteur de la zone humide, où leur colonisation ne posera pas problème ; une exportation sur un site de compostage pourrait être envisagée mais entraînerait des coûts supplémentaires.

Le décapage se fera idéalement en été. Une création d'habitats par enrochement pourrait se faire sur ce secteur de façon synchrone.

Estimatif budgétaire

Les coûts afférents envisagés seraient les suivants :

- Conception, maîtrise d'œuvre, suivi des travaux : 1 300 €HT
- Vérification de l'épaisseur de la couche supérieure du sol : 750 €HT
- Décapage de la couche supérieure : 1 300 € HT
- Disposition des cannes et rhizomes ailleurs sur la ZH : 1 300 €HT

Investissement total : 4 650 € HT

Coût annuel de fonctionnement : débroussaillage tous les deux ans

Maître d'ouvrage : CA ACCM

HYDRIAD	CA Arles Crau Camargue Montagnette	Septembre 2021
---------	------------------------------------	----------------

Zone humide de Trinquetaille - Arles		
CA Arles Crau Camargue Montagnette	Création d'habitats terrestres	N° 3
	Priorité 2 Action à réaliser si jugée requise	
Objectifs	Créer des habitats terrestres autour de la roselière	
Indicateurs	Utilisation des habitats terrestres	

Description de l'action

L'action vise à créer des habitats terrestres autour de la roselière afin de favoriser l'implantation du Triton et limiter sa vulnérabilité lors de ses déplacements.

L'opération consiste à déposer des enrochements non agencés, à grosse porosité, en divers lieux de la zone humide.

Méthodologie d'exécution

Dans cet objectif de création d'habitats terrestres, il conviendra de :

- Sélectionner les sites de création des enrochements afin de favoriser une diversité des habitats (nature du sol, humidité, ensoleillement, distance à la roselière, ...) et limiter les besoins en débroussaillage préliminaire ;
- Débroussailler les voies de passage des camions ;
- Livrer les blocs de roche ;
- Organiser les blocs en andains.

Estimatif budgétaire

Les coûts afférents envisagés seraient les suivants :

- Conception, maîtrise d'œuvre, suivi des travaux : 1 300 €HT
- Débroussaillage préliminaire : 750 €HT
- Vente et livraison des blocs de roche (10 camions de 8 m³) : 4 000 € HT
- Légère réorganisation des blocs en andains ; 1 300 €HT

Investissement total : 7 350 € HT

Coût annuel de fonctionnement : aucun

Maître d'ouvrage : CA ACCM

Zone humide de Trinquetaille - Arles		
CA Arles Crau Camargue Montagnette	Apport artificiel d'eau depuis la nappe	N° 4
	Priorité 2 Action à réaliser si le niveau d'eau des mares ne se maintient pas assez longtemps	
Objectifs	Réaliser un apport d'eau depuis la nappe des cailloutis présente sous la zone humide	
Indicateurs	Apport d'eau suffisant pour le maintien en eau des mares	

Description de l'action

L'action vise à permettre un apport d'eau par pompage de la nappe des cailloutis présente sous la formation argileuse constituant le substratum de la roselière.

L'opération consiste à réaliser un forage d'une vingtaine à une trentaine de mètres de profondeur et de l'équiper d'une pompe solaire.

Méthodologie d'exécution

Dans cet objectif d'un apport d'eau aux mares par pompage sur nappe, il conviendra de :

- Réaliser un forage atteignant la nappe des cailloutis ;
- Equiper ce forage d'une pompe solaire ;
- Sécuriser l'équipement contre le vol et le vandalisme ;
- Installer un réseau de desserte des mares à partir du forage ;
- Asservir le fonctionnement de la pompe au niveau d'eau dans la mare de référence.

Les travaux de foration pourront se faire à n'importe quelle période dans la mesure où ils seront réalisés à l'extérieur de la roselière. Par contre, l'installation des conduites d'eau en tranchée dans la roselière ne pourra se faire qu'en période d'étiage sec.

La réalisation du forage et le prélèvement d'eau requerront des dossiers de déclaration, ou d'autorisation pour un prélèvement > 1000 m³/an.

Estimatif budgétaire

Les coûts afférents envisagés seraient les suivants :

- Conception, maîtrise d'œuvre, suivi des travaux : 2 000 €HT
- Réalisation du forage : 8 000 €HT
- Equipement du forage avec une pompe solaire : 3 000 € HT
- Fourniture et pose en tranchée de 150 m de tuyau PET d'irrigation : 1 200 €HT

Investissement total : 14 200 € HT

Coût annuel de fonctionnement : renouvellement de la pompe solaire tous les 10 ans environ.

Maître d'ouvrage : CA ACCM

HYDRIAD	CA Arles Crau Camargue Montagnette	Septembre 2021
---------	------------------------------------	----------------