Restauration du Marais de Petit Badon



Marais du petit Badon en mai 2021, après creusement et mise en eau

Initiation du projet, travaux et résultats des deux premières années de suivi

FONTES Hugo, OLIVIER Anthony, KAYSER Yves, LAURENT Emilie, LOURENÇO Marion, PINEAU Olivier, ROCARPIN Pauline, WILLM Loïc, GRILLAS Patrick

Février 2023

Sommaire

1. Introduction 4

2. Etudes préalables et travaux de génie civil 5

2.1. Contexte géomorphologique 5

2.2. Proposition de design du futur marais et évaluation des cubatures 7

2.1. Etude pédologique 12

3. Travaux de génie civil 14

3.1. Réalisation des travaux 14

3.1. Suivi topographique de terrain avant, pendant et après les travaux 16

3.2. Suivi photogrammétrique par drone pour obtention d'une orthophotographie et de la topographie finale post-travaux 18

4. Suivis des opérations de restauration : matériel et méthodes 25

4.1. Suivis hydrologiques 25

4.2. Suivis de la végétation 26

4.3. Suivi des amphibiens 30

4.4. Suivi des oiseaux 32

4.5. Suivi et gestion des espèces de plantes exotiques envahissantes 34

4.6. Indicateurs RhoMéo 36

5. Suivis des opérations de restauration : résultats et discutions 37

5.1. Suivis hydrologiques 37

5.1.1. Evaluation des pertes en eau par infiltration 37

5.1.2. Suivi hydrologique et de la salinité du marais 38

5.2. Suivis de la végétation 40

5.2.1. Evolution des communautés végétales entre 2020 et 2022 40

5.2.2. Comparaison à des mares et marais de références 42

5.3. Suivi des amphibiens 51

5.3.1. Etat initial 51

5.3.2. Colonisation post travaux 52

5.4. Suivi des oiseaux 53

5.4.1 Les oiseaux nicheurs (points d'écoute) 53
5.4.2 Les espèces contactées en transit ou utilisant le milieu 56
5.4.3 Comparaison de l'avifaune reproductrice (points d'écoute) entre 2020 et 2022 avant et après la création sur la zone du marais (points d'écoutes 10, 8 et 5, carte 22) 58
5.4.4 Dénombrements mensuels d'oiseaux d'eau et de rapaces.....59
5.5. Suivi et gestion des espèces végétales exotiques envahissantes 61
5.5.1 Espèces aquatiques 61
5.5.2 Espèces terrestres.....62
5.6. Indicateurs RhoMéo 66
5.6.1 Marais créé 67
5.6.2 Autres secteurs du marais 69
6. Conclusions et perspectives 72
Références.....73
Annexe 1. Liste des 116 espèces observées sur la zone d'étude entre 2020 et 2022 lors des suivis réalisés ou hors protocoles (données personnelles Yves Kayser, Thomas Dagonet & Anthony Olivier ; en gras, les espèces notées sur le marais créé) 74

1. Introduction

Le site du Petit Badon se situe au sud-est de l'ile de Camargue, sur le cours d'un ancien bras du Rhône, celui du Bras de Fer. Le site prend place dans un contexte paysager agricole et de marais, à environ 11km de la mer au sud et à 3,5km à l'est du Rhône actuel. Le terrain est la propriété de la SCA du Domaine du Petit Badon dont les propriétaires sont à l'origine du projet de création de ce marais. Le site, avait été aménagé en exploitation agricole avec une production céréalière (riz notamment) depuis le XIXème siècle jusque dans les années 2000 et a ensuite été pâturé par des chevaux. L'activité agricole avait été certifiée Agriculture Biologique depuis le début des années « 90 » (entre 1990 et 1993).

A la demande de la SCA du Domaine du Petit Badon, un projet de création de marais a été initié en 2017 et confié à la Fondation Tour du Valat.

Les objectifs de ce projet sont les suivants :

- Recréer un marais temporaire (14 ha) sur une friche agricole avec un fonctionnement proche du cycle hydrologique méditerranéen ;
- Reconstituer des habitats favorables pour la biodiversité, notamment méditerranéenne (flore, oiseaux d'eau, odonates, amphibiens, reptiles aquatiques, ...) ;
- Etudier la dynamique de reconstitution de l'écosystème ;
- Disposer d'un terrain de démonstration pour la restauration des zones humides à des fins pédagogiques et scientifiques.

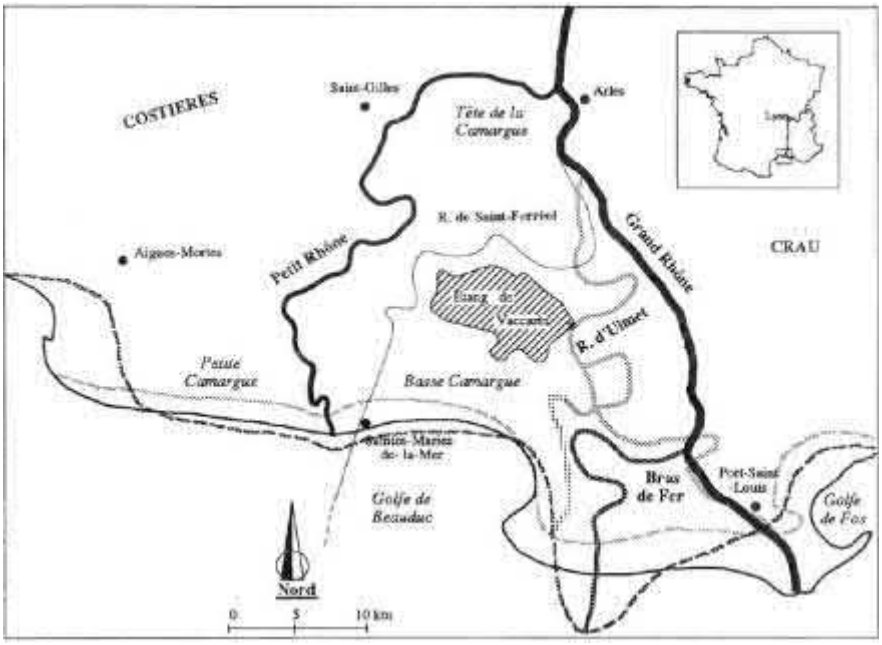
Les opérations de création rentrent dans le cadre conceptuel de l'écologie de la restauration au sens large. Ici, le modèle de référence est un marais temporaire, écosystème bien connu en Camargue, largement détruit par le développement de l'agriculture au cours du siècle dernier (Tamisier et Grillas 1994) et à forte valeur patrimoniale. Le présent projet ne peut cependant pas être qualifié de restauration *stricto sensu* car il ne vise pas à retrouver la ou les écosystèmes présents tel qu'ils étaient avant leur destruction par l'agriculture, mais s'en inspirent pour concevoir le projet de création.

En 2020, après des études préalables réglementaires et de faisabilité, une convention a été signée entre l'Agence de l'Eau Rhône, Méditerranée, Corse (AERMC) et la Tour du Valat (TdV) pour le financement de ce projet. Elle prend fin en 2023 et le présent rapport détaille les actions menées ainsi que les résultats des suivis conduits sur cette période.

2. Etudes préalables et travaux de génie civil

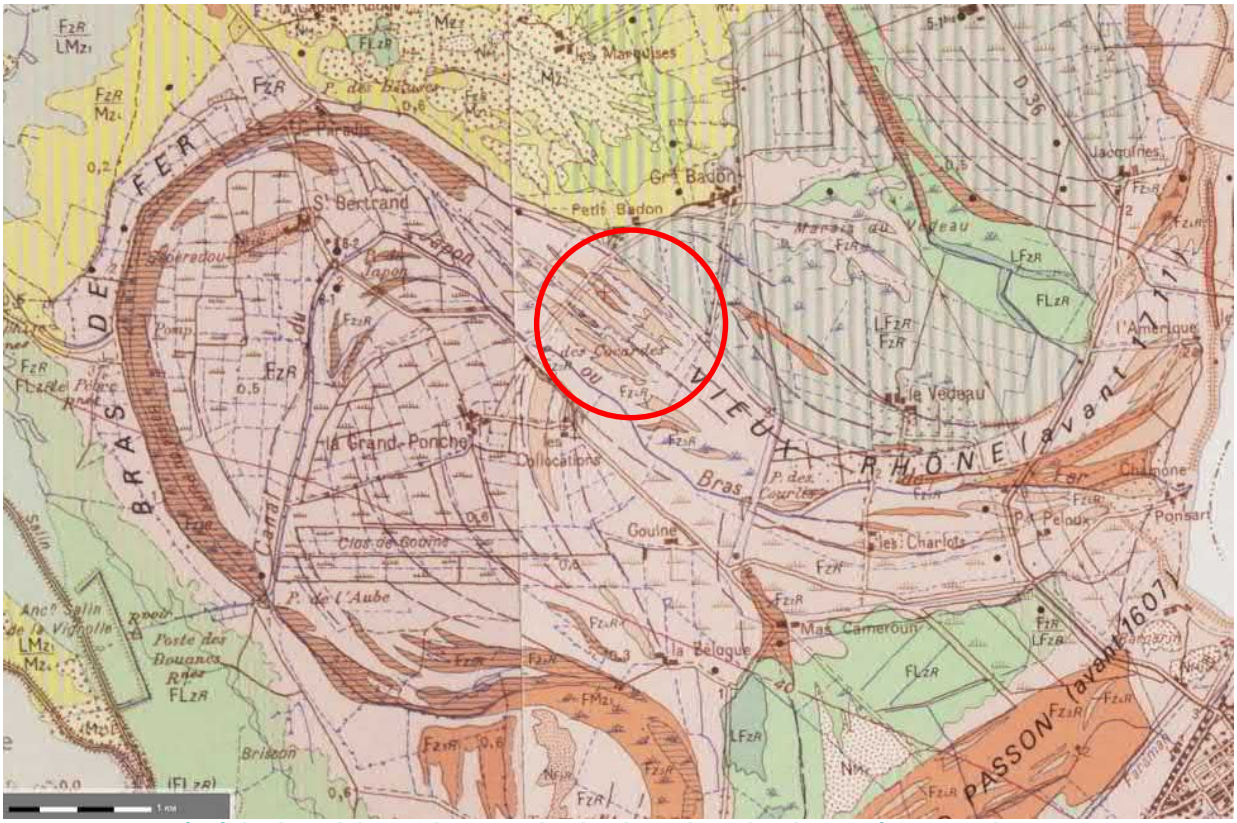
2.1. Contexte géomorphologique

De 1587 à 1711, le Grand Rhône s'est écoulé par le Bras de Fer (carte 1). Si le Rhône du Bras de Fer n'a fonctionné que pendant une période relativement brève (124 ans), il a montré une dynamique hydrologique très intense.



Carte 1 : Evolution des bras fluviaux et de la ligne de rivage du delta du Rhône depuis l'antiquité tardive (L'Homer, 1981)

La propriété de Petit Badon se trouve sur cette ancienne divagation (carte 2 et 3). La géologie actuelle du site est fortement marquée par cette activité fluviatile passée. On y distingue une alternance de bourrelets alluviaux sableux (beige, carte 2) et de petits paléo-chenaux limoneux (orange rayé, carte 2) sur une matrice de dépôts limono-sableux (rose, carte 2). Plus au nord-est, on retrouve des limons palustres sur limons fluviatiles peu épais (rayé vert et blancs, carte 2), correspondant à des marais historiques.



Carte 2: carté géologique (1/50 000) autour du site de Petit Badon (entouré en rouge). Source : BRGM, http://infoterre.brgm.fr consulté le 24/01/2023.

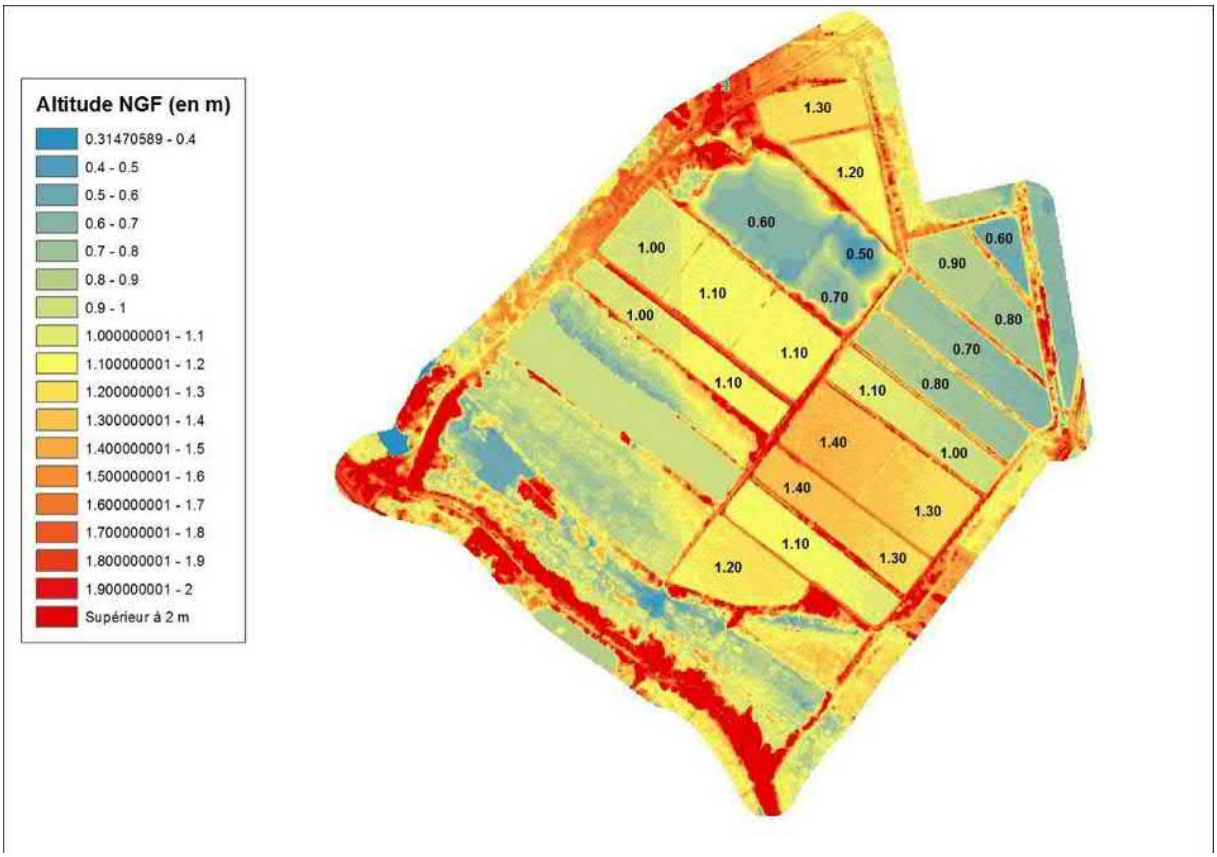


Carte 3: Photographie aérienne et localisation de la parcelle prévue pour accueillir le projet de restauration et du bras de fer (paléo-chenal localisé en blanc)

Ce contexte géomorphologique est important à prendre en compte pour la réalisation du design du futur marais. Les types et orientations de formes à créer sur le marais ont tenté d'intégrer -dans la mesure du possible- ce contexte, afin de tendre vers ce à quoi pouvait ressembler Petit Badon et les propriétés voisines avant l'exploitation agricole, le nivellement et la sectorisation parcellaire.

2.2. Proposition de design du futur marais et évaluation des cubatures

Rappel de la topographie avant restauration (carte 4)
Il y avait deux zones basses sur le site :
- au Sud la zone basse était déjà un marais naturel (marais de Fabre et Clos des miraculées)
- au Nord, la petite partie basse au Nord-Ouest était déjà un marais, avec une topographie variée qui n'avait pas besoin d'être retouchée. A l'inverse au Nord-Est la zone basse était constituée d'anciennes parcelles, exploitées anciennement en riziculture. Les différentes parcelles ont été nivelées durant des décennies et sont séparées par des digues et levadons rectilignes pour la culture du riz.
C'est donc sur la zone basse du Nord qu'il a été décidé de reprofiler la topographie afin de recréer un marais d'apparence naturelle.

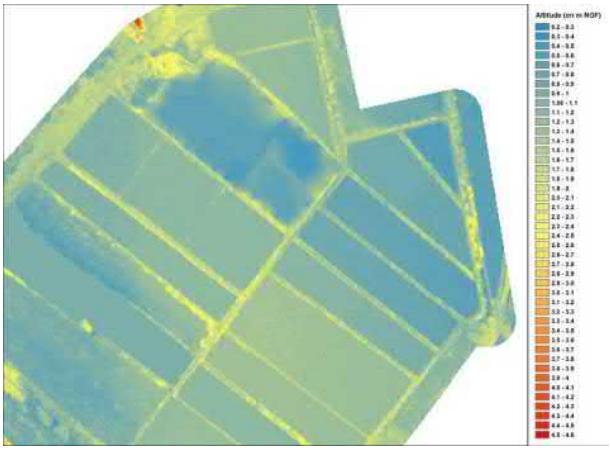


Carte 4 : Topographie générale de l'ensemble du site de Petit Badon avant restauration

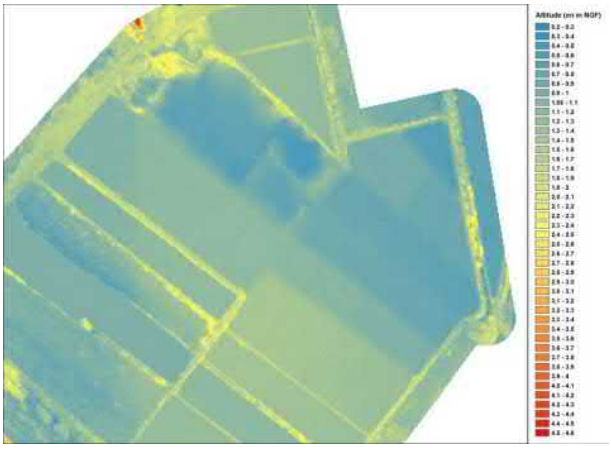
Etapes du design du futur marais

A partir de la topographie existante (carte 5), le futur marais a été conçu en 4 étapes de modélisation :

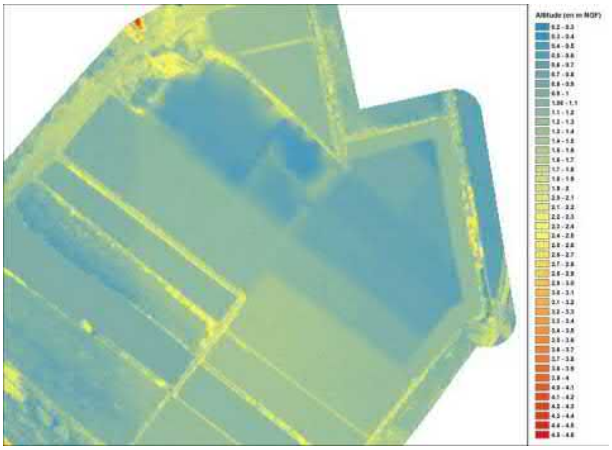
- Arasement des digues (carte 6) : cet arasement reste une suppression de base pour pouvoir réfléchir sur un site débarrassé de ses cloisons. Dans une étape ultérieure ces zones déjà élevées ont été utilisées pour y créer les futurs reliefs (ex: îlots) afin de minimiser les coûts de déplacements de terre.
- Création d'une levée à la limite est (carte 7) : le site est bordé par un grand canal profond où les risques de percolation du marais vers celui-ci sont importants. Il était donc important de créer une bordure étanche pour éviter ces risques de percolation.
- Création de zones basses (carte 8) : Une uniformisation ou une hétérogénéisation des profondeurs suivant les zones a été réalisée afin de ne plus garder trace de l'ancienne sectorisation en parcelles "disposées en étage" (chaque parcelle plate était à une altitude différente).
  Une prolongation légère des zones basses sur les parcelles un peu plus hautes au sud a été réalisée, afin d'arrondir les contours et ne plus garder de limites en lignes droites et ainsi privilégier un aspect paysager naturel. Ces prolongations permettent également un intérêt écologique par la formation de pentes douces.
- Création de zones érigées : Pour améliorer la valeur écologique et paysagère du site, il était important de multiplier les reliefs, qu'ils soient positifs ou négatifs. Des îlots ont été créés à l'intérieur et en bordure du marais. Ces reliefs ont été positionnés pour réutiliser au moins en partie les anciens reliefs constitués par les anciennes digues (minimisation des volumes et coûts de terrassement).
  Ces îlots de forme longitudinale créés en partie sur les anciennes digues sont pour partie dans l'axe de cheminement de l'ancien Rhône du Bras de Fer (carte 9) et nous permettent donc d'intégrer au mieux l'ancien contexte géomorphologique en mimant des bourrelets alluviaux qui devaient être historiquement présents.
  Ce travail de modélisation a été affiné jusqu'à atteindre un bilan neutre entre volumes à creuser et volumes à élever.



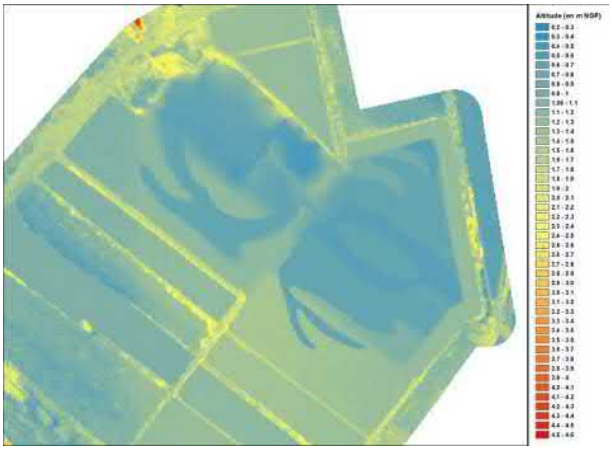
Carte 5 : Topographie initiale sur la zone approximative d'emprise du futur marais



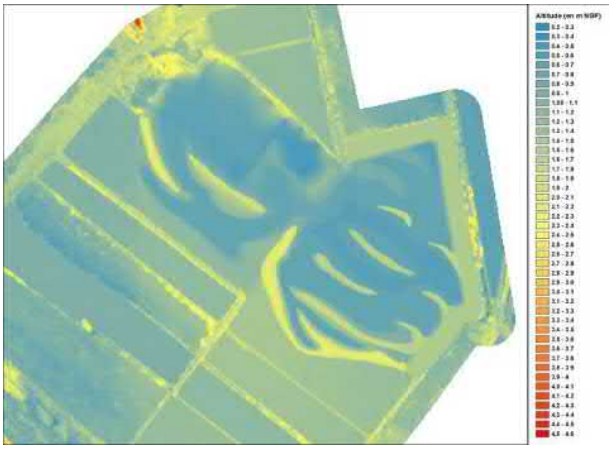
Carte 6 : Arasement théorique des digues et levées



Carte 7 : Création d'une levée à la limite Est



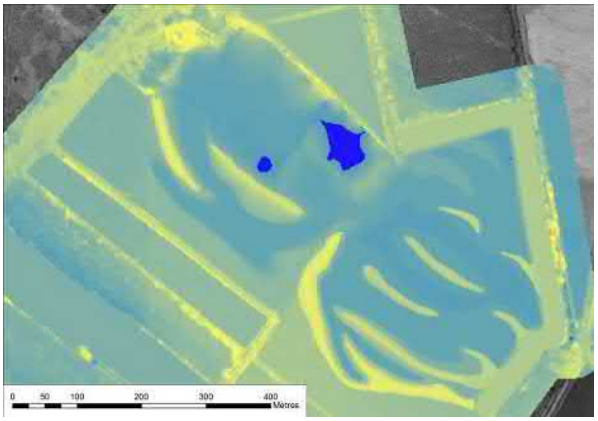
Carte 9 : Création des zones basses.



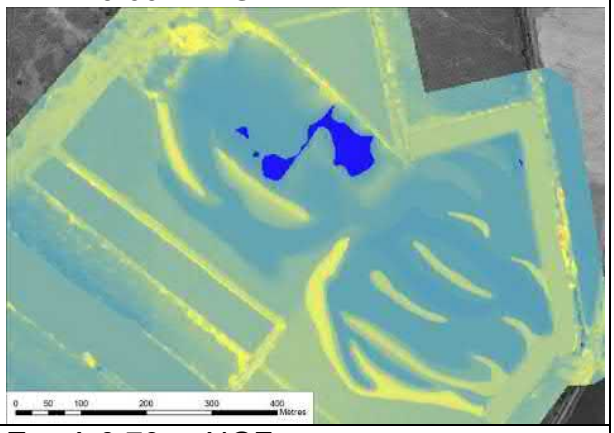
Carte 8 : Création des zones érigées

Sur la base de ce modèle théorique, les volumes et surfaces en eau du marais ont été calculés en fonction de la hauteur de l'eau (mNGF) (figure 1 et tableau 1).

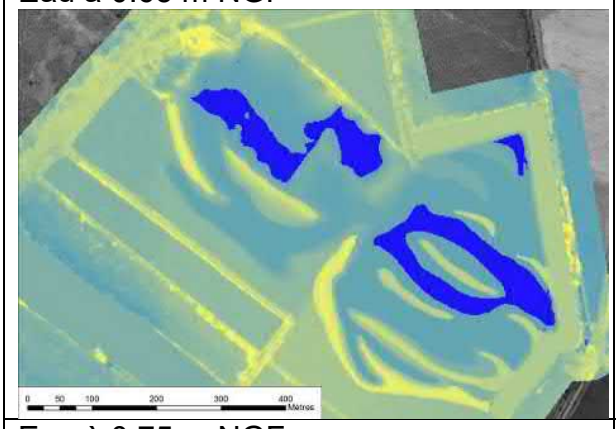
Eau à 0.55 m NGF



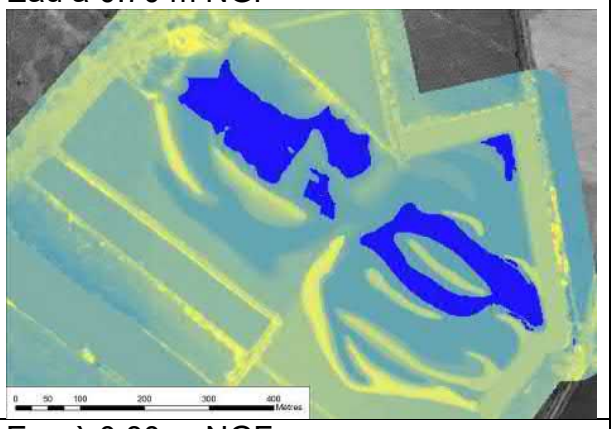
Eau à 0.60 m NGF



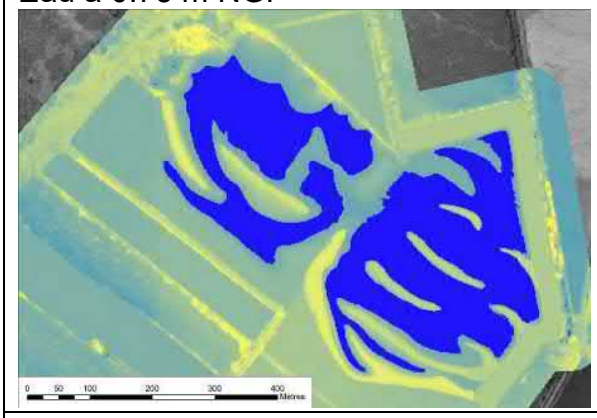
Eau à 0.65 m NGF



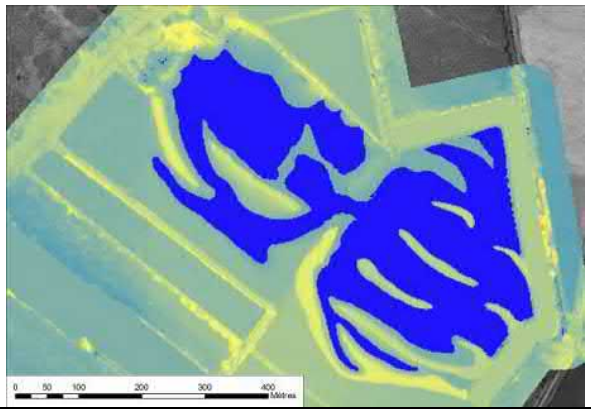
Eau à 0.70 m NGF



Eau à 0.75 m NGF



Eau à 0.80 m NGF



Eau à 0.85 m NGF

Eau à 0.90 m NGF

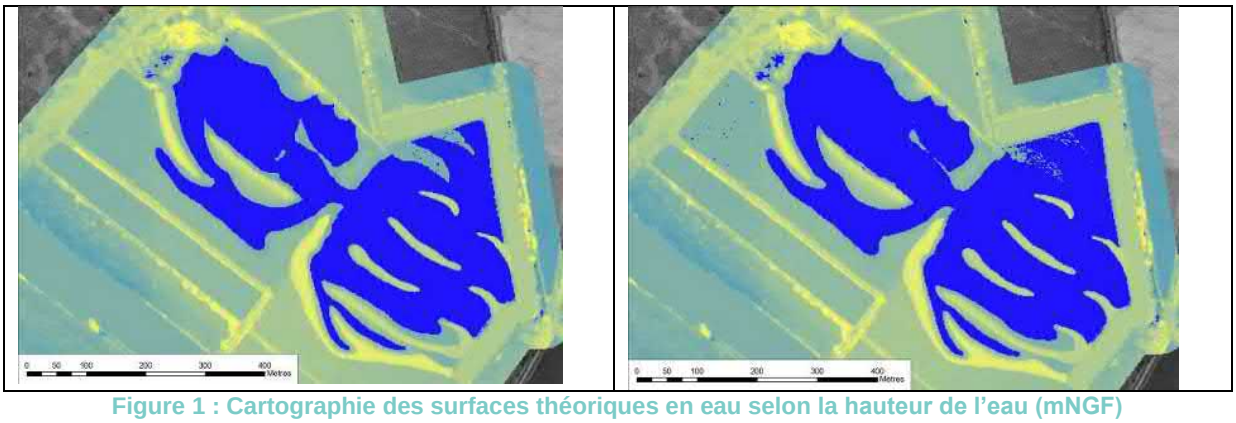


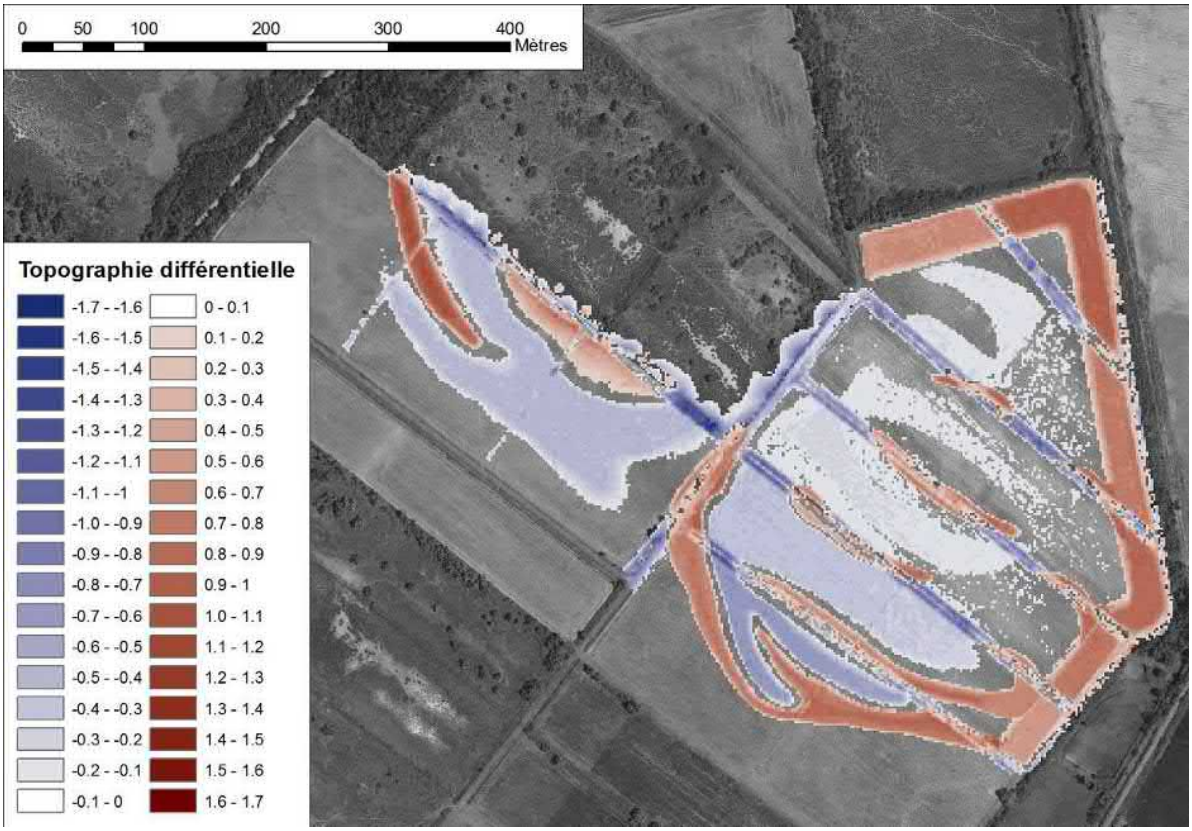
Figure 1 : Cartographie des surfaces théoriques en eau selon la hauteur de l'eau (mNGF)

Tableau 1: Volumes et surfaces théoriques en eau du marais selon la hauteur de l'eau (mNGF)

	Surface en eau (en m2)	Surface en eau (en ha)	Volume d'eau théorique (en m3)
0.55 m NGF			
Partie Nord-Ouest	3400	0.34	200
Partie Sud-Est	0	0	0
0.60 m NGF			
Partie Nord-Ouest	6136	0.6136	440
Partie Sud-Est	0	0	0
0.65 m NGF			
Partie Nord-Ouest	14100	1.41	940
Partie Sud-Est	18130	1.813	850
0.70 m NGF			
Partie Nord-Ouest	24600	2.46	1900
Partie Sud-Est	20900	2.09	1810
0.75 m NGF			
Partie Nord-Ouest	45700	4.57	4030
Partie Sud-Est	68400	6.84	5140
0.80 m NGF			
Totalité	123600	12.36	15150
0.85 m NGF			
Totalité	131000	13.1	21500
0.90 m NGF			
Totalité	140000	14	28300

Une topographie différentielle a été alors produite, cartographiant les surfaces et volumes à creuser ou à combler (carte 10). Les zones bleues représentent les zones à creuser et les celles en rouge les zones à élever.

Le total de sédiments à creuser et à remobiliser sur place a été estimé à environ 29 000m^3, correspondant à sur superficies de 11.6 ha creusés et 6.2ha élevés par rapport à la topographie initiale.
Sur les 17.8 ha concernés par les travaux, 14 seront temporairement inondés (eau à 90m NGF) et 3.8 ha resteront émergés. Aucun export de matériaux n'a été réalisé.



Carte 10 : Topographie différentielle des travaux prévus

2.1. Etude pédologique

Une étude d'analyse des sols a été réalisée afin de déterminer si le site est constitué d'horizons plus ou moins étanches permettant la rétention d'eau dans le futur marais.

Une vingtaine de carottages de sol ont été réalisé à la tarière télescopique. Ces carottages ont été disposés de façon à obtenir, *in fine*, des points uniformément répartis sur la partie du site devant être potentiellement réhabilitée en marais (tableau 2, cartes 11 et 12). Les prélèvements ont échantillonné les profils du sol jusqu'à une profondeur maximale de 1 à 1,2 mètres.

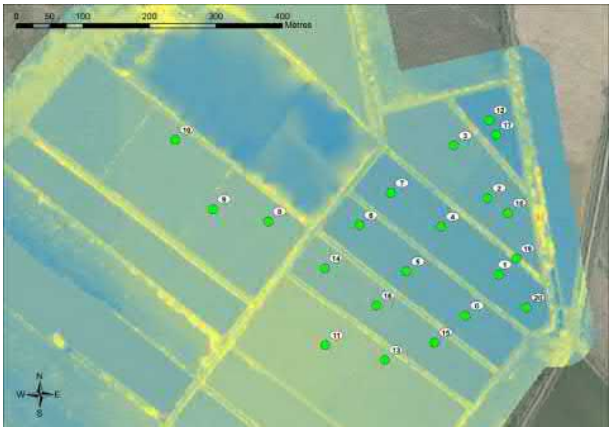


Photo 1 : Carottage du sol à la tarière. 2017 – Loïc Willm

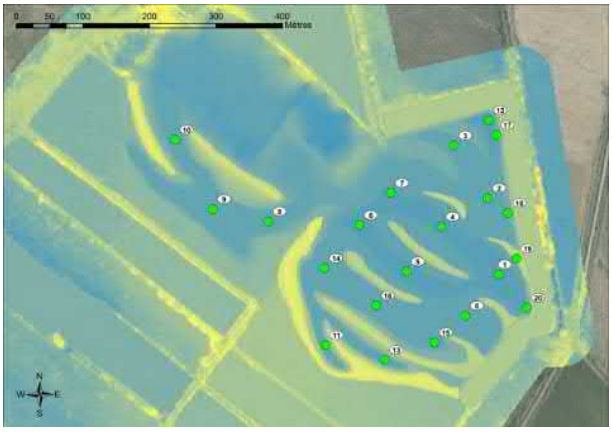
Tableau 2 : Coordonnées GPS des positions d'échantillonnage (UTM WGS84 Zone 31N, en mètres).

N° Point	x	y	N° Point	x	y	N° Point	x	y
0	636825	4811424	**7**	636713	4811609	**14**	636613	4811495
1	636875	4811486	**8**	636528	4811566	**15**	636778	4811383
2	636858	4811601	**9**	636445	4811584	**16**	636691	4811439
3	636808	4811680	**10**	636389	4811689	**17**	636871	4811696
4	636789	4811558	**11**	636614	4811380	**18**	636889	4811578

5	636736	4811490	**12**	636860	4811718	**19**	636901	4811510
6	636666	4811560	**13**	636704	4811357	**20**	636917	4811436



Carte 11 : Localisation des points d'échantillonnage sur topographie actuelle



Carte 12 : Localisation des points d'échantillonnage sur topographie prévisionnelle

Une analyse de la texture des horizons a été réalisée en laboratoire d'après la méthode de diagnostic tactile de la texture (Delaunois 2006). Cette méthode d'analyse permet de caractériser la teneur en argile des profils, élément déterminant pour évaluer la capacité de rétention d'eau du site.



Photo 2: échantillons de sol avant analyse leur texture. 2017 - Loïc Willm

Les prélèvements sur le terrain et l'analyse des horizons en laboratoire ont été effectués durant les mois de septembre et octobre 2017 (photo 2).

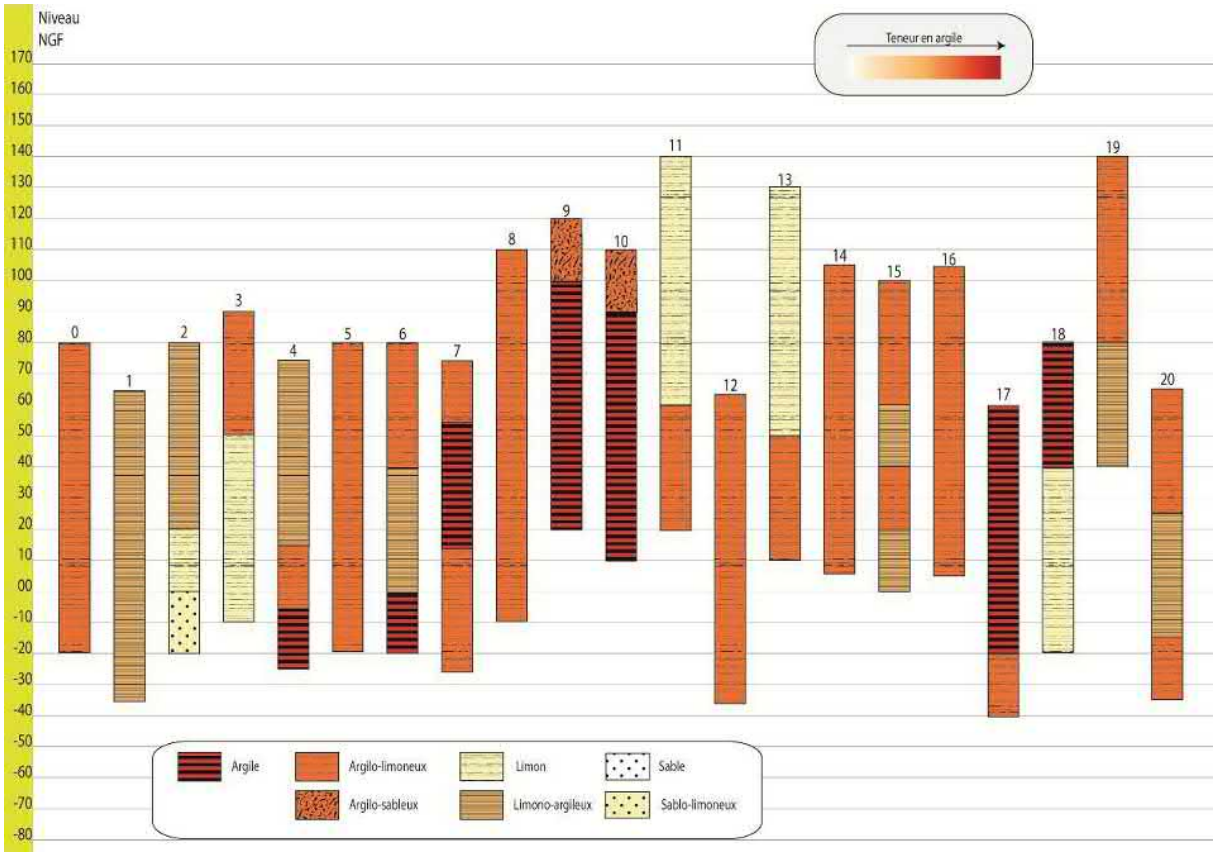


Figure 2: Profondeur, épaisseur et caractérisation des différents horizons pour chaque point de relevé.

Une présence importante de profils à textures sableuses et/ou limoneuses, perméables, pouvaient être un obstacle voire une contre-indication pour la création d'une zone humide, à capacité de rétention d'eau.

Les résultats de cette étude ont montré qu'il existait bien des horizons avec une proportion d'argile en quantité importante, en mesure de soutenir la capacité de rétention d'eau de la zone humide (figure 2).

3. Travaux de génie civil

3.1. Réalisation des travaux

Les travaux de terrassement et de modelage du site (14 ha) ont eu lieu entre août et septembre 2020, par l'entreprise JF prestations (Jérôme Bovero), pour un coût de 141600 euros TTC. Cette période a été choisie afin que les zones humides temporaires concernées par le projet (friches, canaux) soient sèches. Ce calendrier a tenu également compte de la biologie des espèces à enjeux de conservation connues sur le site et a évité ainsi leurs périodes d'activités afin de ne pas les impacter. Il s'agissait en particulier de ne pas déranger l'avifaune nicheuse printanière ou l'avifaune hivernante. Cette période évitait également les dates de reproduction (printemps) et de léthargie (hiver) de l'herpétofaune connue et potentielle sur le site.

Aucune zone de stockage temporaire n'a été nécessaire, les sédiments ont été déplacés directement des zones à creuser vers les zones à surélever.



Photo 3: Aperçu des travaux de terrassement. Septembre 2020 – Antoine Arnaud



Photo 4 : Travaux de terrassement en cours. Septembre 2020 – Loïc Willm



Photo 5 : Aperçu des travaux de terrassement. Septembre 2020 – Antoine Arnaud

3.1. Suivi topographique de terrain avant, pendant et après les travaux

Préparation aux travaux

Grâce à un tachéomètre et un prisme réflecteur, des repères (piquets bois avec un clou coté) ont été installés sur quatre zones dont l'altitude resterait inchangée après travaux. Le tachéomètre est un appareil permettant de mesurer les angles horizontaux et verticaux entre deux cibles, ainsi que la distance entre ces cibles. La mesure des distances se fait grâce à un laser intégré dans le tachéomètre, pointé en direction et réfléchi par un prisme tétraédrique, maintenu à la verticale du point/cible que l'on souhaite mesurer grâce à une bulle de niveau.

Ces repères ont été mis en place afin de permettre au maître d'ouvrage de régler la hauteur des engins de chantier pour atteindre la topographie prévisionnelle.

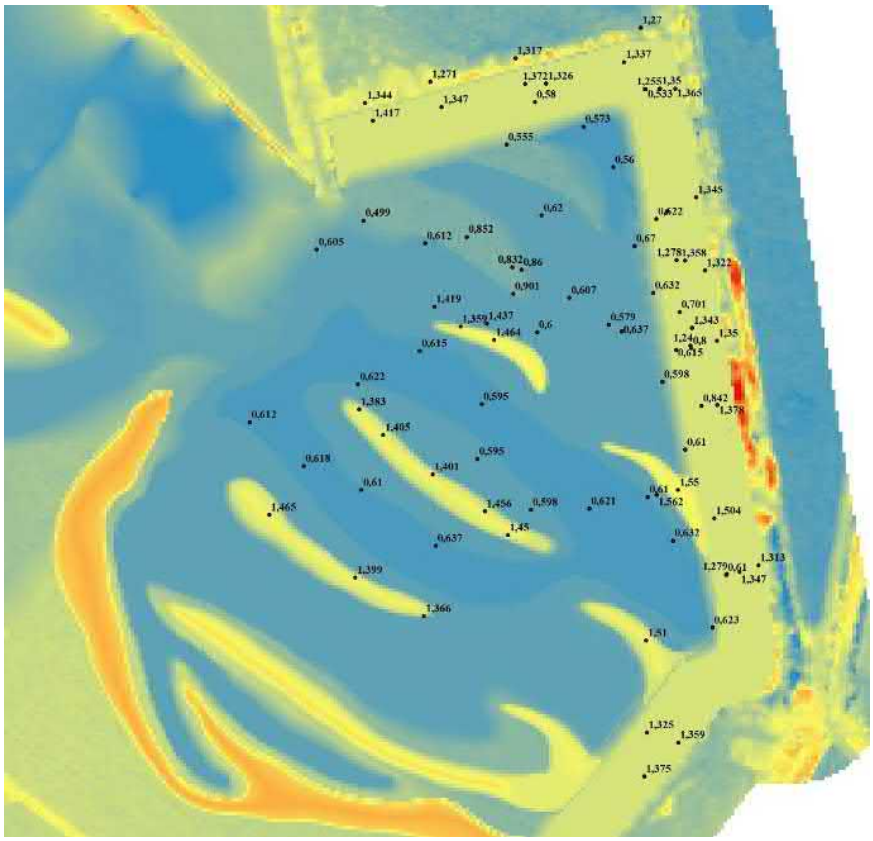


Photo 6 : Repère borné (gauche), tachéomètre (centre) et prisme réflecteur (droite) utilisés pour les levers topographiques. Août 2020 – Emilie Laurent

Vérification pendant les travaux

Une première campagne de vérification topographique a été réalisée avec un tachéomètre et un prisme réflecteur dans la partie Est du nouveau marais, sur laquelle le travail de remodelage touchait à sa fin, le 2 Septembre 2020 (carte 13). Cette campagne a permis une première vérification, sur la zone Est, de l'altitude constante du fond du marais ainsi qu'une altitude homogène des îlots et de la digue de ceinture au Nord et à l'Est de cette zone.

Bien que toutes les altitudes mesurées (fond du marais, îlots, digue de ceinture) soient environ 10 centimètres plus bas que la topographie prévisionnelle théorique, compte-tenu de l'ampleur des travaux, ce décalage est considéré comme étant relativement faible et ne semble pas problématique étant donné qu'il est homogène sur l'ensemble du site. La digue de ceinture est 5 centimètres moins haute que ce qui était initialement prévu, mais la différence entre le haut de cette digue et le fond du marais est tout de même de 75 centimètres (au lieu des 80 cm prévisionnels), ce qui semble suffisant si on estime que la hauteur d'eau moyenne dans le marais est prévue de l'ordre de 30 à 40 centimètres.

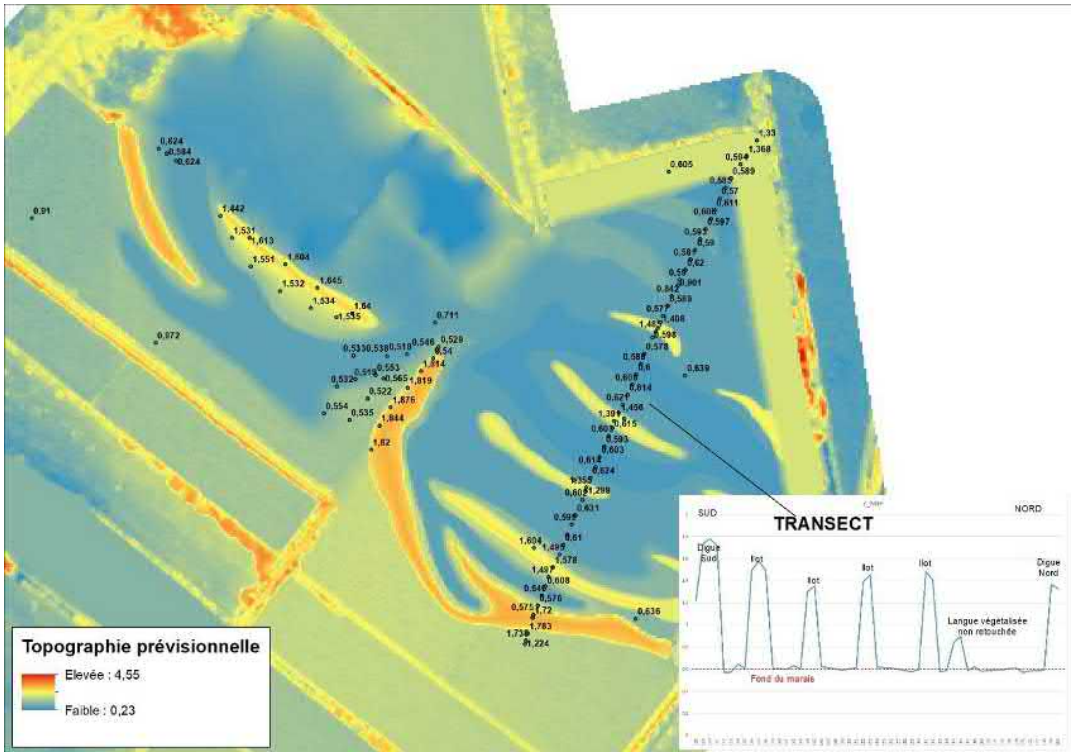


Carte 13 : Résultats de la campagne de vérification topographique du 2 Septembre 2020. Le fond du marais, les îlots et la digue de ceinture présentent respectivement des altitudes relativement homogènes sur la zone vérifiée.

Une ultime campagne de vérification topographique a été réalisée le 17 Septembre 2020 avec le même équipement que précédemment, dans les zones sur lesquelles les travaux de remodelage étaient terminés (carte 14). Cette campagne a permis de vérifier

que le fond du marais sur la partie Ouest (alors encore en travaux) avait une altitude similaire (0.55 mNGF) à l'altitude du fond du marais sur la partie Est (0.60 mNGF). La passe de communication entre les parties Est et Ouest du marais présente une altitude suffisamment basse pour permettre des échanges hydrologiques satisfaisants. La partie Est, sur laquelle une première vérification avait été réalisée le 2 Septembre, a fait l'objet d'une nouvelle vérification en effectuant une mesure d'altitude tous les 10 pas le long d'un transect traversant cette zone du Sud au Nord. Les reliefs (digues de ceinture et îlots) sont bien dessinés, et le fond de bassin est parfaitement stable tout le long du transect. Les altitudes mesurées sont conformes, à quelques centimètres près, à la topographie prévisionnelle.

Cette campagne a également été l'occasion de poser des points de contrôle au sol (ou GCP - voir section suivante « Suivi photogrammétrique »).



Carte 14 : Résultats de la campagne de vérification topographique du 17 Septembre 2020 (altitudes en mNGF)

3.2. Suivi photogrammétrique par drone pour obtention d'une orthophotographie et de la topographie finale post-travaux

Les captures photographiques de drone, couplées à une analyse via un logiciel de photogrammétrie, permettent aujourd'hui de reconstituer des vues en 2D (orthophotographies) et en 3D (modèles numériques de surface). Cette technique est basée sur le principe de la stéréoscopie : le modèle reconstitue, à partir d'images multiples prises en rafales avec fort taux de recouvrement entre elles, une vue synthétique en 2D et en 3D de l'ensemble de la zone survolée par le drone.

Installation des bornes GCP

Les points de contrôle au sol (Ground Control Points) sont des points de coordonnées connues dans la zone d'intérêt. Leurs coordonnées X, Y, Z sont mesurées précisément avec des méthodes d'arpentage traditionnelles ou sont obtenues à partir d'autres sources (LiDAR par exemple).

S’ils ne sont pas nécessaires pour traiter un projet avec le logiciel de photogrammétrie, ils permettent de géoréférencer précisément la zone étudiée. L'utilisation des points de contrôle au sol est fortement recommandée lors du traitement d'un projet sans géolocalisation d'image. Si aucun point de contrôle au sol n'est utilisé, les résultats finaux n'ont pas d'informations d'échelle, d'orientation et de position absolue. Par conséquent, ils ne peuvent pas être utilisés pour les mesures, la superposition et la comparaison avec des résultats précédents.
Sur Petit Badon, une fois les travaux quasi-terminés -et avant la première mise en eau, une dizaine de bornes GCP ont été distribuées et placées de manière la plus homogène possible sur le site (jeudi 17 septembre 2020) à l’aide d’un tachéomètre.



Photo 7 : points de contrôle au sol. 17/09/2020 - Loïc Willm

Survol drone
Deux vols successifs d’une vingtaine de minutes ont été planifiés sur Pix4Dcapture (Carte 15) : c’est une application tierce installée sur l’interface du drone qui sert à la planification de vol.

Altitude de vol : 100 mètres
GSD (Ground Sampling Distance) : 2.73 cm/pixel
La distance d'échantillonnage au sol (GSD) est la distance entre deux centres de pixels consécutifs mesurés au sol. Plus la valeur de l'image GSD est élevée, plus la résolution spatiale de l'image est faible et les détails moins visibles.



Photo 8 : Vol du drone lors de la prise d'images du marais récemment créé. 21/09/2020 - Loïc Willm

Les 2 vols planifiés de drone (Phantom 4 Advanced) ont été effectués le lundi 21/09/2020 entre 14h00 et 15h15.

NB : On peut voir sur la photo ci-dessus que même si les survols ont été effectués avant la 1ere mise en eau, il y a eu un orage dans le weekend précédent qui a laissé une fine lame d'eau dans le marais. Le logiciel d'analyse photogrammétrique ne fonctionne pas sur les surfaces en eau (il n'y trouve pas de points de liaison/de repère). La lame d'eau était heureusement encore suffisamment fine pour ne pas trop perturber l'analyse du logiciel : quelques artefacts locaux furent créés par le logiciel, mais ont fait l'objet d'une correction manuelle.



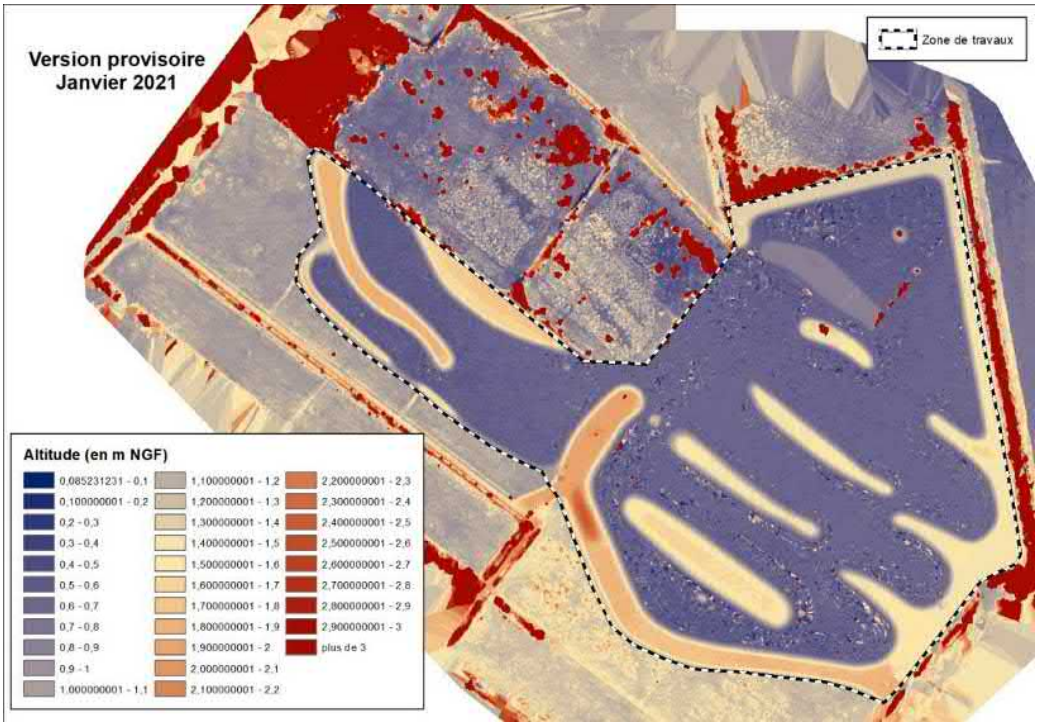
Carte 15: trajectoire et localisation des images prises par drone lors d'un vol sur le marais récemment créé. Les lignes vertes représentent les trajectoires empruntées par le drone ; les points rouges sont les positions de toutes les images capturées ; les croix bleues représentent les points de calage XYZ (GCP) qui seront utilisés dans le logiciel de photogrammétrie

Analyse photogrammétrique 2D et 3D

Les photos issues du meilleur des 2 vols ont été récupérées et analysées sur Pix4Dmapper (Carte 16). Ce logiciel permet à partir des photographies prises par le drone de reconstituer une vue 2D référencée géographiquement (appelée orthophotographie) et une restitution 3D (appelé Modèle Numérique de Surface).



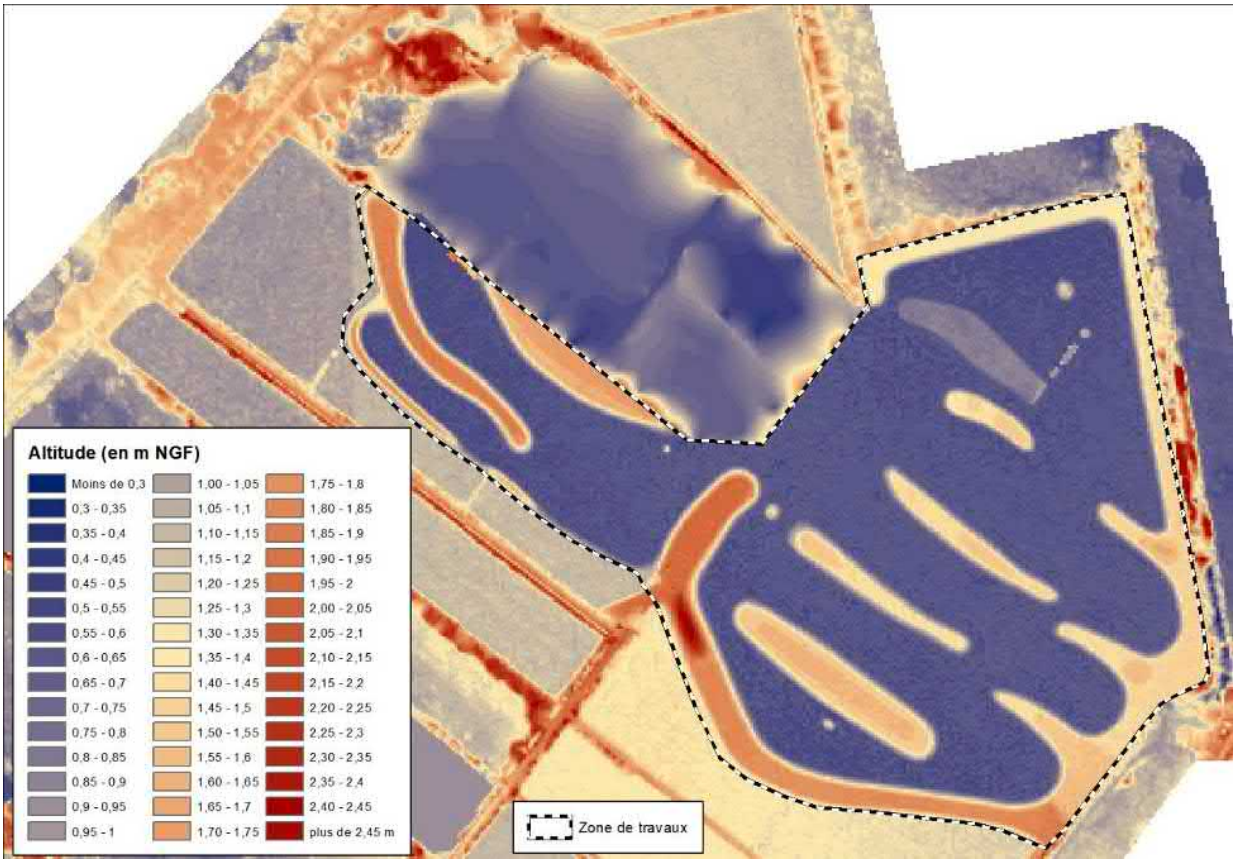
Carte 16 : Orthophotographie du marais de Petit Badon, du 21/09/2020



Carte 17 : Modèle Numérique de Surface sur le marais de Petit Badon, obtenu par photogrammétrie drone le 21/09/2020

Le MNS est un ensemble de points 3D comprenant les éléments du terrain naturel mais aussi le sursol, c'est-à-dire la végétation et le bâti (carte 17). Les plus rouges représentent des zones végétalisées par des arbres ou arbustes.

Pour finaliser la topographie finale du site, seule la partie délimitée ci-dessus (« zone de travaux ») a été récupérée (zone de sol nu car nivelée par les travaux) pour être fusionnée avec une topographie existante du reste du site, afin d'obtenir la carte de topographie finale du site (carte 18).



Carte 18 : Topographie finale post-travaux de Petit Badon



Photo 9 : Marais en eau, 2021

Conclusion

Une mission de topographie post-travaux était nécessaire pour l'évaluation des travaux de terrassement et pour avoir le modèle final réel du design du marais ainsi créé.
Cette topographie post-travaux pouvait être réalisée de manière « habituelle », avec un

GPS différentiel. Mais cette technique est gourmande en temps terrain et en post-traitement SIG.
L'utilisation du drone et de la photogrammétrie a permis de gagner en temps et en précision :

- Mission au DGPS : aussi poussée et longue que soit la mission terrain, elle reste une prise de données ponctuelle, sans données entre les points. C'est ensuite sur le logiciel SIG que sont calculés théoriquement les altitudes des zones inter-points par différentes méthodes (moyenne ou pondération des valeurs Z des points environnants/proches).
- Mission au drone : prise de points « continus » et « uniformes » sur tout le site : chaque pixel a sa valeur Z. On estime que la précision de l'analyse photogrammétrique est de l'ordre de quelques centimètres.

4. Suivis des opérations de restauration : matériel et méthodes

4.1. Suivis hydrologiques

Evaluation des pertes en eau par infiltration

Le 13 Novembre 2020, une sonde programmée pour enregistrer les fluctuations du niveau d'eau dans le marais de Petit Badon a été installée (figure 3). Quelques mois plus tard, une échelle de niveau a également été mise en place près de la martelière située à l'Est du marais, prévue pour la vidange de celui-ci.



Figure 3 : Localisation et photo de la sonde de Niveau/Température installée en Novembre 2020

Entre le 23 Avril et le 1er Mai 2021, le marais de Petit Badon a été mis en eau par pompage intermittent, jusqu'à atteindre une hauteur d'eau de l'ordre d'une trentaine de centimètres (cote 0.9m NGF, le fond plat du marais étant pour rappel à la cote 0.6 mNGF – carte 18). Une nouvelle opération de pompage intermittent, destinée au maintien d'un niveau d'eau favorable à la nidification de laro-limicoles, jusqu'à un assec naturel en Juillet, a été réalisée du 26 au 31 Mai 2021.



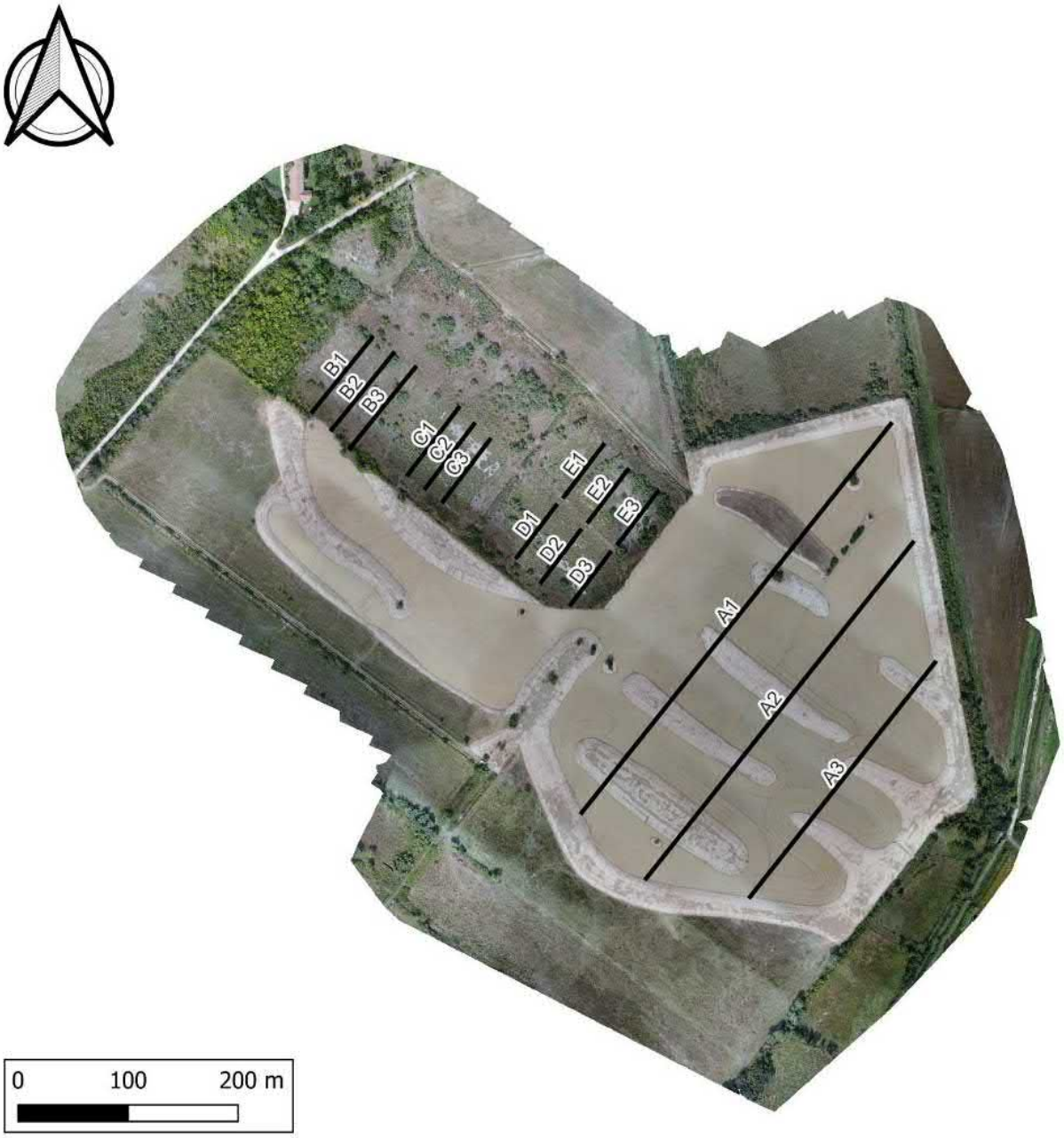
Photo 10 : Sonde et ça mise en défends contre la grande faune sauvage ou domestique dans le marais. 2021.

Des visites sur site pour permettre la lecture ponctuelle du niveau du marais et du canal du Japon et la relève des données instrumentales furent effectuées régulièrement entre les deux périodes de pompage. Ainsi, entre le 2 et le 25 mai 2021, 8 relevés ponctuels furent effectués. Sur cette période pendant laquelle aucun apport d'eau artificiel n'a été réalisé, il est donc possible de comparer la variation réelle de niveau d'eau dans le marais à la variation « théorique » (ou attendue). Selon les données de la station Météo France basée sur le domaine de la Tour du Valat, le cumul pluviométrique entre le 2 et le 25 mai s'élevait à 17mm, tandis que l'évaporation cumulée (calculée selon la méthode de Penman) s'élevait à 137mm. Le déficit hydrique sur cette période d'intérêt était donc de 120mm.

4.2. Suivis de la végétation

La végétation en place avant la création du futur marais a été échantillonnée en 2020. La végétation a également été échantillonnée en 2021 et 2022, soit les deux premières années suite aux travaux de recréation du Marais de petit Badon.

Trois transects ont été positionnés au sein du secteur concerné par les travaux de remaniement topographiques (secteur A). Plus au nord-ouest, quatre petites parcelles occupées par une végétation de sansouïres et de prés salés n'ont pas été directement concernées par les travaux mais connectées hydrologiquement au reste du nouveau marais (secteurs B, C, D et E). Trois transects ont donc également été positionnés sur chacune de ces quatre parcelles (voir carte 19), totalisant ainsi 15 transects pour le suivi de la végétation.



Carte 19 : Localisation des transects de suivi de la végétation, trois transects parallèles sont positionnés sur cinq secteurs du marais. Le secteur A correspond à la partie creusée du marais alors que les autres correspondent à d'anciennes parcelles agricoles aujourd'hui temporairement inondées.

Pour chacun de ces transects, des relevés de végétation sont réalisés à intervalle régulier : tous les 15m pour les trois transects les plus longs (secteur A) et tous les 10m pour les autres transects plus courts.

Chaque relevé consiste en un inventaire le plus exhaustif possible de la flore au sein d'un quadrat de 30 x 30cm. Un sous-découpage en neuf cellules (de 10x10cm) du quadrat permet de relever la fréquence de chaque espèce (1 à 9). Des données environnementales sont également collectées pour chaque relevé :

- Fréquences (de 0 à 9) en plantes émergentes (terrestres et hélophytes), macrophytes, macro algues, algues filamenteuses, sol nue, matière organique

(= « litière ») issue de plantes terrestres et hélophytes et en matière organique issue de plantes aquatiques.
- Profondeur de la colonne d'eau

La salinité a été suivie dans le cadre des suivis hydrologiques.

Chaque année de suivi, quatre passages de terrain (avril, mai, juin et août) ont permis de prendre en compte la variabilité saisonnière de la végétation en place. Le suivi des 15 transects a ainsi permis la réalisation d'environ 750 relevés pour chaque année de suivi. En compléments, quelques relevés floristiques (type phytosociologiques) ont été réalisés en juillet 2021 afin de compléter la liste des espèces se développant sur le site.

Des prélèvements de sol ont été réalisés au centre des transects du secteur A ainsi qu'en bordure du transect A2. Le sédiment a été broyé, tamisé à 2mm, mélangé et envoyé à un laboratoire pour analyse (texture, matière organique, azote total, carbone organique total et phosphore).

Un panel de 27 mares temporaires de références en Camargue a également été suivi avec la même méthode en 2019 et 2020 et sert de modèle de référence pour évaluer l'impact des opérations de création sur les communautés végétales.

Les données sont analysées :
- Pour mettre en évidence l'évolution des communautés végétales sur le site : réalisation d'une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC)
- En comparant les variables pédologiques du marais de Petit Badon (secteur A) avec celles des marais de références : représentation graphique
- En comparant la structure de la végétation du marais de Petit Badon et des marais de références (fréquence en plantes terrestres et émergentes, macrophytes, macro-algues, algues filamenteuses, litière issue des plantes terrestres et émergentes, litière issue des plantes aquatiques et sol nu) : réalisation d'une Analyse en Composantes Principales (ACP)
- En comparant les communautés végétales (composition + abondance des espèces) du marais de Petit Badon et des marais de références : calcul d'un indicateur dédié, le DRCi (Distance to Reference Communities index) (voir encadré 1). Cet indicateur mesure la distance d'une communauté évaluée à la communauté de référence la plus proche, en prenant en compte la variabilité des communautés de références. Elle répond à la question : la communauté évaluée est-elle autant semblable à une communauté de référence que les communautés de référence le sont entre elle, DRCi = 0 si c'est le cas.

Encadré 1 : Indice pour évaluer le succès de restauration des communautés : Indice de distance aux communautés de référence (DRCi, Distance to Reference Communities index (Fontès et al. *in prep*)

Le DRCi exprime la distance d'une communauté/écosystème à évaluer à un panel de référence. Il se base sur une métrique déjà existante (indice de similarité/dissimilarité ou une distance, ex : Khi², Bray-Curtis, Cambera, Jaccard, Sorensen) et prend donc en compte la composition spécifique de chaque objet (e.g. écosystème, communauté) et potentiellement l'abondance des espèces selon la métrique choisie. Le choix de la

métrique est dépendant des données mais également de l'objectif de l'analyse (Legendre & Gallagher 2001). Les valeurs du DRCi dépendent donc de l'indice de distance utilisé.

Plusieurs méthodes de calcul sont envisageables afin de mesurer la distance d'un point à un ensemble de points de référence (nuage de référence). Nous avons choisi de le calculer comme la distance d'un point à évaluer avec le point de référence le plus proche, pondérée par la variabilité du nuage de référence. La distance moyenne (calculé via l'indice de similarité/dissimilarité ou une distance initiale choisie) entre les points de référence permet de prendre en compte cette variabilité. Le DRCi correspond donc à la distance de l'objet à évaluer au point de référence le plus proche, divisée par la distance moyenne entre les points de référence (figure 4).

Pour Ai un point d'un écosystème restauré d'une mare artificielle à évaluer et R un nuage de n points de référence,
R_j est un point appartenant à R.
Pour j et j' variant de 1 à n,

$$DRC_i = \frac{\min_j \left(\text{distance}(A_i, R_j)\right)}{\text{mean}_{j,j'}\left(\text{distance}\left(R_j, R_{j'}\right)\right)}$$

Si DRC = 1, la distance du point restauré à son point de référence le plus proche est égale à la distance moyenne des points de référence entre eux. Dans ce cas, le point à évaluer n'est pas plus distant du nuage de points de référence que les points de référence sont distants les uns par rapport aux autres en moyenne.

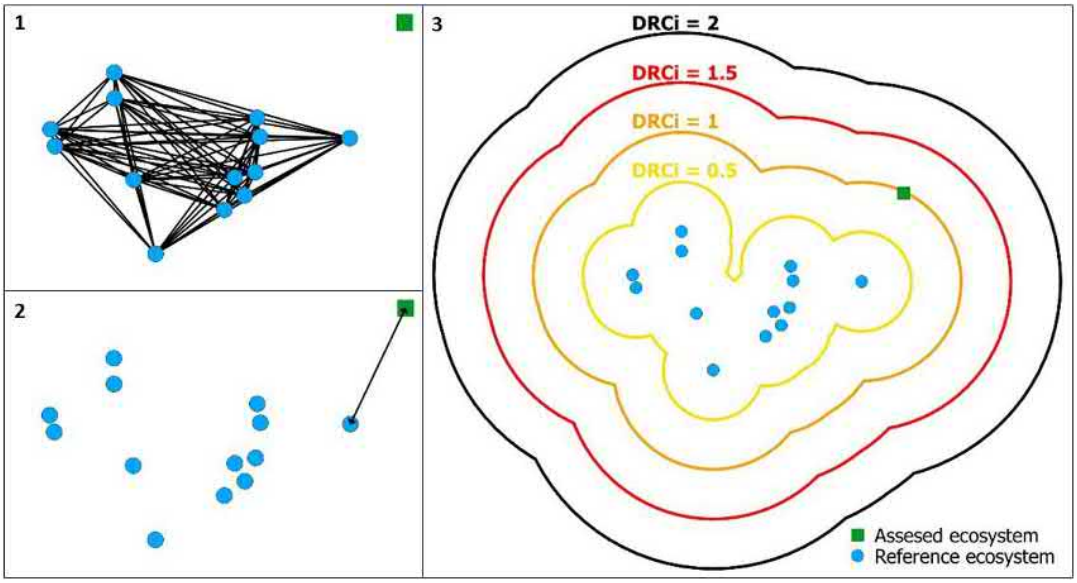


Figure 4 : Schématisation en deux dimensions du calcul du DRC index à partir d'un nuage de points représentant chacun un écosystème de référence à une date donnée (ronds bleus) et pour un écosystème à évaluer à une date donnée (carrés verts). 1) calcul de la distance moyenne entre les mares de référence (variabilité du panel de référence) ; 2) calcul de la distance de la mare évaluée à la mare la plus proche (distance au panel de référence) ; 3) valeurs du DRCi représentées par des lignes concentriques autour des points de référence. Ici, l'écosystème à évaluer possède un DRCi =1.

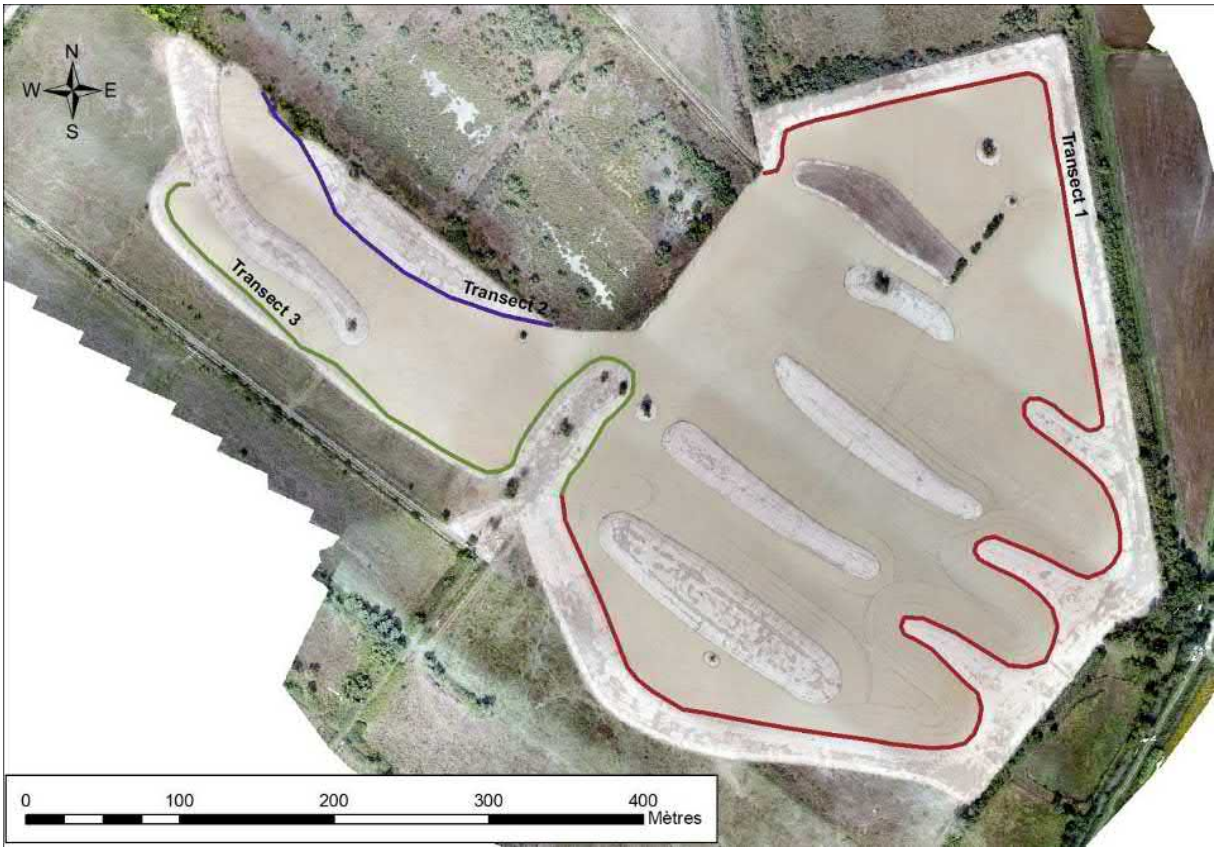
4.3. Suivi des amphibiens

Afin de caractériser l'état initial du peuplement d'amphibiens, les différentes espèces potentielles ont été recherchées en fin d'hiver et durant le printemps 2020 dans les milieux aquatiques du Petit Badon sud. Les prospections ont porté principalement sur les friches agricoles situées sur l'emplacement du futur marais, mais aussi dans les milieux aquatiques environnants. Les recherches ont tout particulièrement ciblé les espèces peu communes en Camargue et considérées d'importances patrimoniales, telles que le Triton palmé (*Lisssotriton helveticus*), le Pélobate cultripède (*Pelobates cultripes*), le Crapaud calamite (*Epidalea calamita*) et le Pélodyte ponctué (*Pelodytes punctatus*). Les prospections ont été réalisées de nuit à l'aide de lampe et par point d'écoute.

Le suivi de la colonisation du nouveau marais par les amphibiens a été réalisé via deux méthodes semi-quantitatives largement utilisées et recommandées par RhoMeO:

- le dénombrement nocturne des mâles chanteurs,
- l'échantillonnage des larves au troubleau.

Le dénombrement des mâles chanteurs d'amphibiens a été réalisé en 2021 (2 sorties) et 2022 (1 sortie) au printemps en parcourant trois transects mesurant 2 163 m au total (Carte 20). La méthodologie consiste à parcourir les transects en début de soirée (1 h après le coucher du soleil) en dénombrant tous les individus observés à la lampe le long des berges du marais (sur une bande de 2 m). Ce dénombrement est complété par des enregistrements de chants de « grenouilles vertes » (groupe taxonomique complexe composé de trois espèces en Camargue) pour détermination acoustique des espèces présentes par un spécialiste de ce groupe (Pierre-André Crochet, CEFE CNRS).



Carte 20 : Emplacement des transects de dénombrements nocturne des amphibiens dans le marais créé du Petit Badon.

La structure du peuplement de têtards et leur densité ont été mesurées au printemps et en été le long de 5 transects répartis en différents points du marais restauré (Carte 21). Le long de chaque transect, 15 coups de troubleaux ont été effectués (total : 75) et les larves ont été dénombrées par espèce pour chaque coup de troubleau.



Carte 21 : Localisation des transects pour l'échantillonnage des larves d'amphibiens.

4.4. Suivi des oiseaux

Le suivi des oiseaux nicheurs a été initié au printemps 2020 (« état zéro ») et s'est poursuivi en 2021 et en 2022 après la restauration du marais.

Deux cortèges d'oiseaux ont été considérés, les oiseaux nicheurs et les oiseaux hivernants ou migrateurs.

<u>Recensement des oiseaux nicheurs</u>
Le protocole mis en place s'est très largement inspiré de la méthode STOC EPS – Suivi Temporel des Oiseaux Communs) utilisé par le réseau Réserves naturelles de France (Bibby *et al*., 2000 ; Devictor *et al*., 2008). Dix points d'écoute distancés de 300m ont été choisis dans une logique de représentativité des trois milieux du site (zone humide créée, friche à végétation hygrophile, prairie pâturée), et en tenant compte des contraintes d'accessibilité aux sites suivis (carte 22).

Pour réaliser ces suivis, chaque itinéraire est parcouru deux fois au printemps (entre le 20 et avril et le 10 mai puis entre le 20 mai et le 10 juin) avec au moins 4 semaines d'intervalle entre deux passages en favorisant des jours où le vent est absent ou faible. Chaque point d'écoute dure 5 mn. Les oiseaux contactés en chemin lors des trajets sont également notés. Tous les types de contacts (chant, couple, etc.) sont relevés. D'autres indications comme les conditions météorologiques sont prises.

Les dates auxquelles ont été effectués les points d'écoute (par Yves KAYSER) sont en 2020 : le 07 mai et le 11 juin (météo défavorable auparavant). En 2021, ils ont été

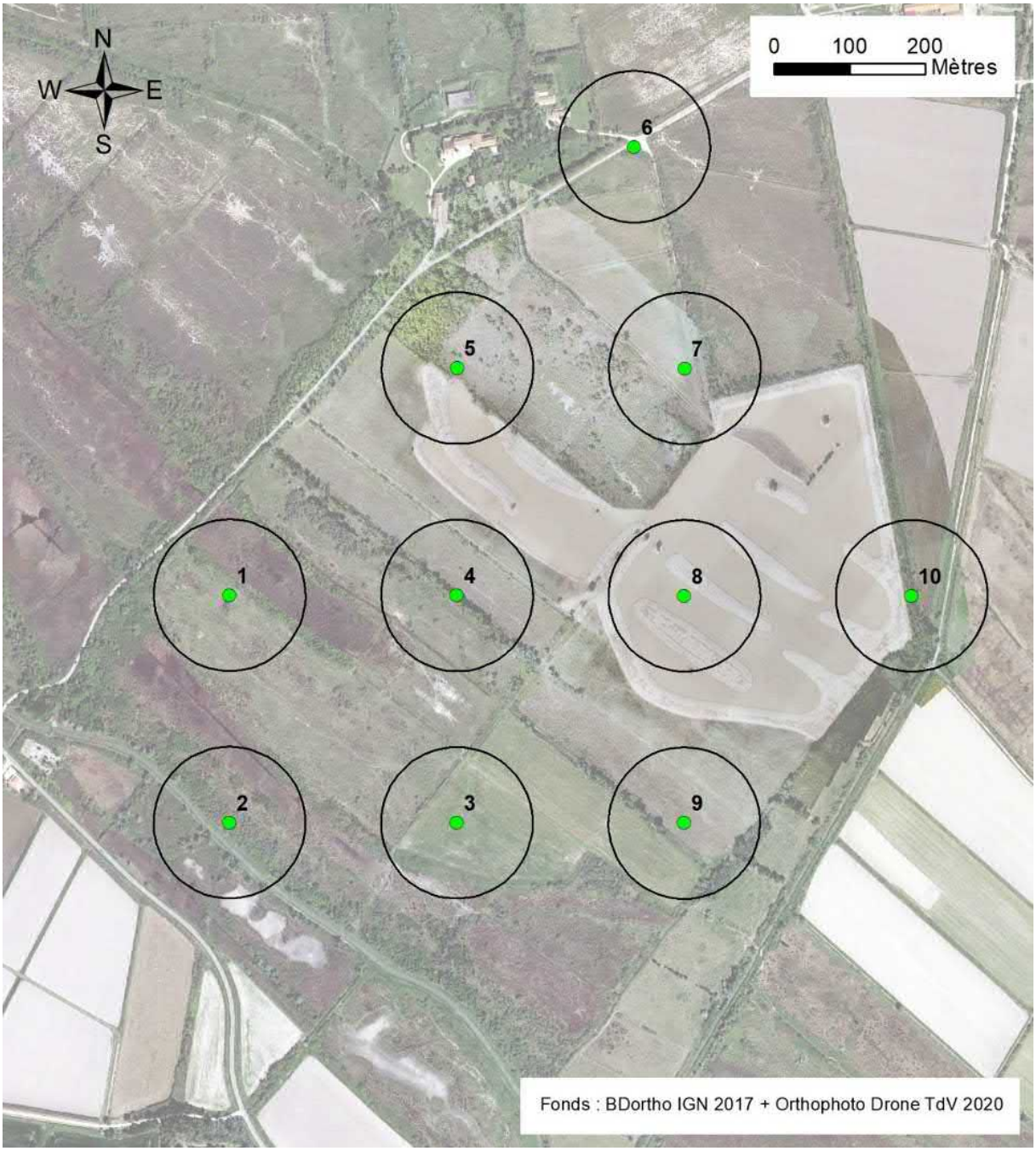
réalisés le 02 mai et le 7 juin et en 2022, le 22 avril et le 30 mai.

Recensement des oiseaux d'eau et rapaces

Le dénombrement des oiseaux d'eau et des rapaces a débuté en septembre 2021. Il consiste à faire le tour du marais à pied une fois par mois autour du 15 de chaque mois, tous les mois de l'année et de noter tous les oiseaux présents sur le marais lorsque celui-ci est en eau. Toutes les observations ont été réalisées par Yves KAYSER.



Photo 11 : Faisan de Colchide *Phasianus colchicus* (©Yves Kayser / Tour du Valat)



Carte 22 : Positions des points d'écoute et zone tampon de 100 m autour de chaque point.

4.5. Suivi et gestion des espèces de plantes exotiques envahissantes

Les efforts de veille et prospections de nouveaux individus ont été maintenus tout au long des trois années du projet (2020 à 2022) ainsi que leur arrachage, manuel ou bien à l'aide d'une pelle mécanique. Les individus d'espèces exotiques envahissantes observés ont été systématiquement pointés au GPS avec une évaluation de leurs effectifs avant d'être arrachés. Au total, 15 jours ont été mobilisés pour la surveillance et les arrachages manuels et 3 jours à l'arrachage à la pelle mécanique (travail en binôme).



Photo 12 : Chantier d'arrachage mécanique *Baccharis*, © M.Lourenço

Une nouvelle action a été mise en place en 2022, le broyage des individus arrachés courant 2021. En effet, les amas d'arbustes pouvant rendre impossible l'accès aux jeunes individus émergents en leur sein, il a été jugé pertinent de les broyer à l'aide d'un broyeur forestier. Cette action a été réalisée en faisant appel à un prestataire extérieur local disposant de l'équipement adéquat pour ce type d'opération.



Photo 13 : Amas de *Baccharis* traités à l'aide d'un broyeur forestier, © M.Lourenço

4.6. Indicateurs RhoMéo

Enfin, cinq indicateurs RhoMéo ont été utilisés pour évaluer le succès de restauration (Collectif RhoMéO (2014) :

- IO2 : indice floristique d'engorgement
- IO6 : indice floristique de fertilité du sol
- IO7 : vulnérabilité à l'eutrophisation – phosphore
- IO8 : indice de qualité floristique
- IO11 : intégrité du peuplement d'amphibiens

Ces indicateurs, permettent de suivre la trajectoire des écosystèmes restaurés, sans utiliser de communautés de références. Ils reposent sur l'attribution d'une valeur indicatrice à chaque espèce d'un relevé, indiquant le degré d'engorgement du sol, sa fertilité ou traduisant son aptitude à supporter des perturbations dans notre cas.

Afin de pouvoir calculer cet indicateur pour notre cas d'étude, les espèces non renseignées (Characées notamment) ont été complétées sur avis d'expert (FONTES Hugo). Le calcul de l'indicateur prend également en compte l'abondance des espèces (fréquence intra-quadrat). Ils ont été calculés sur les données brutes des mares artificielles et de références (relevés). Cela nous permet de définir des valeurs de références pour ces indicateurs et de comparer les valeurs obtenues pour les mares artificielles.

5. Suivis des opérations de restauration : résultats et discutions

5.1. Suivis hydrologiques

5.1.1. Evaluation des pertes en eau par infiltration

L'évaluation de la perte en eau du marais a été réalisée sur une période de forte évaporation (printemps 2021) et sans apports d'eau artificiels (figure 5). Cette évaluation se fait en comparant les niveaux d'eau (hauteur de la colonne d'eau) réels aux données simulées sur la base des conditions météorologiques (voir partie matériel et méthode).

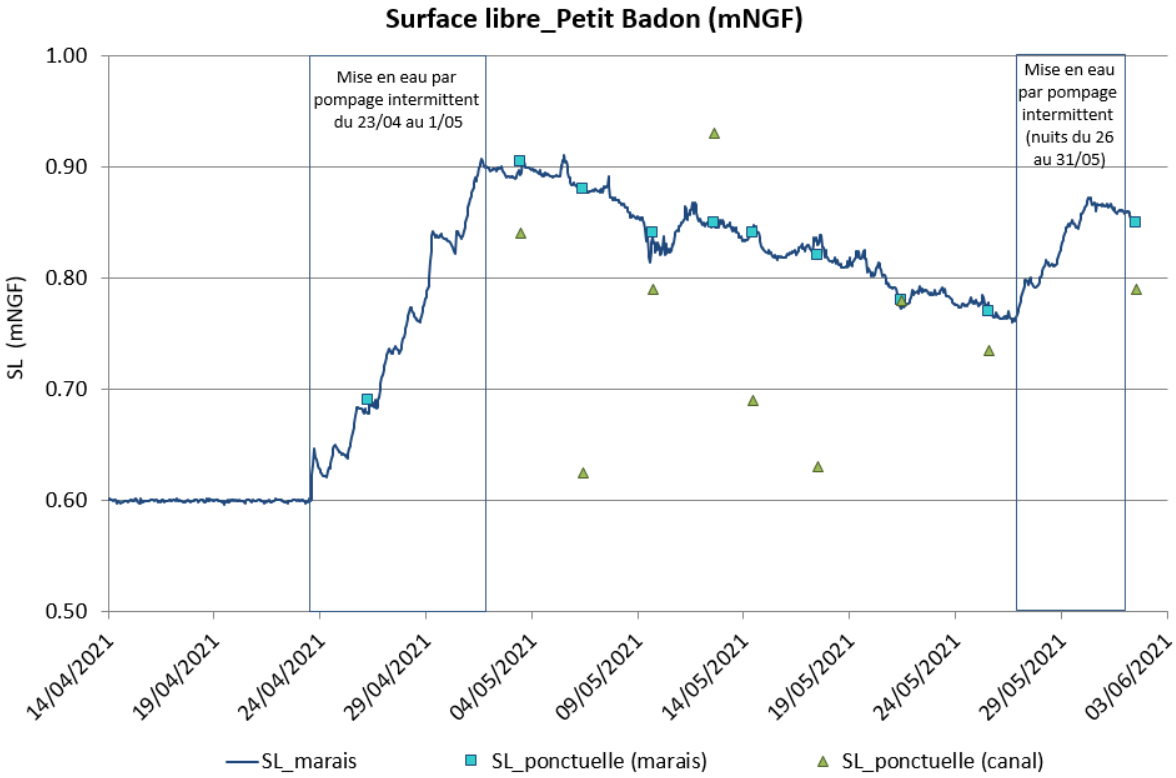


Figure 5 : données continues et ponctuelles de surface libre (SL) du marais de Petit Badon et du canal du Japon au printemps 2021.

Globalement, la variation réelle de la hauteur de la colonne d'eau suit relativement bien sa variation théorique (figure 6), exception faite des quelques épisodes suivants :

- les 9 et 10 Mai : fort vent de secteur Sud Est, entrainant une légère décote à l'Est du marais (zone d'implantation de la sonde), avec un retour à l'équilibre le jour suivant
- les 13, 17 et 19 Mai : épisodes de mistral modéré à fort entrainant une légère surcote à l'Est du marais

La différence moyenne entre la surface libre réelle et la surface libre théorique sur cette période est de l'ordre de 4mm, et la différence absolue entre ces deux valeurs la veille de la reprise du pompage (25 Mai) est inférieure à 7mm. Compte tenu des incertitudes

inhérentes notamment à la méthode de mesure instrumentale et à la méthode de calcul de l'évaporation, cette différence absolue peut être considérée comme marginale et **ne suggère donc pas l'existence d'une fuite d'eau significative sur le marais de Petit Badon.**

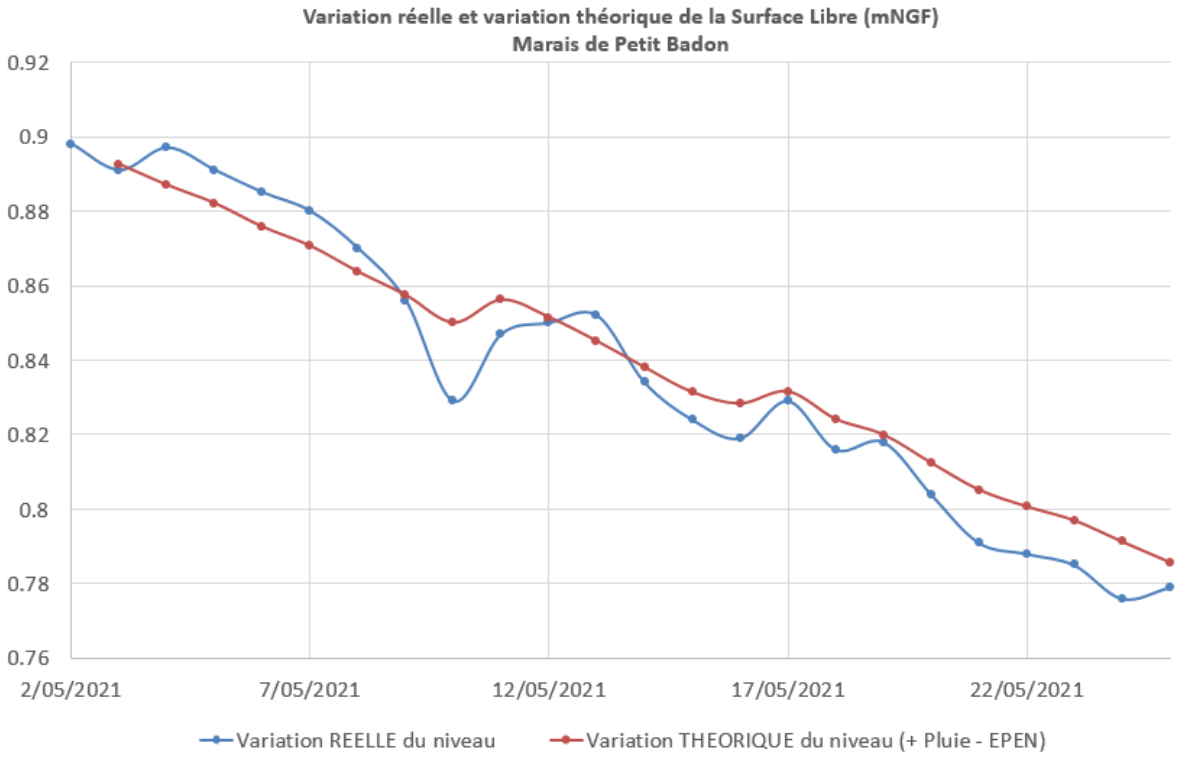


Figure 6 : Variation réelle et variation théorique de la surface libre (mNGF) à Petit Badon

5.1.2. Suivi hydrologique et de la salinité du marais

La première mise en eau du marais après sa création a été réalisée en avril 2021 (figure 7). Cette mise en eau tardive était liée à des contraintes techniques et l'inondation a été maintenue jusqu'à l'été pour permettre à la faune et à la flore inféodées aux milieux aquatiques de boucler leur cycle biologique. Après une période d'assec durant l'été 2021, le marais a été remis en eau en octobre 2021 mais a connu un assec dès février 2022. Cet assec était involontaire et résultait d'une période de forte sécheresse et de l'impossibilité d'apports d'eau par pompage sur cette période hivernale. En mai 2022, la disponibilité en eau a permis la remise en eau du marais, l'inondation a été alors une nouvelle fois maintenue jusqu'en été pour permettre à la faune et à la flore de boucler leur cycle biologique. Après l'assec estival, la remise en eau du marais a été réalisée en septembre 2022. La disponibilité en eau durant l'hiver 2022/2023 a permis d'assurer des niveaux d'eau importants dans le marais (jusqu'à plus de 40cm) et devrait se prolonger jusqu'au printemps, sans période d'assec hivernal. Dans cette situation (niveaux d'eau importants en hiver et disponibilité en eau), l'assec aura lieu progressivement au cours du printemps en fonction des précipitations et des conditions d'évapotranspiration.

Figure 7 : Hauteur de la colonne d'eau du marais de Petit Badon, entre novembre 2020 et décembre 2022. Les parties grisées correspondent aux périodes d'apports d'eau (pompages essentiellement et apports gravitaires dans une moindre mesure).

Le marais de Petit Badon est situé sur des terrains saumâtres anciennement cultivés (riz). Les apports d'eau douces actuels ne laissent pas la possibilité d'une salinisation importante et la salinité de l'eau n'a pas excédé 4 depuis le creusement du marais (figure 8). En 2022, elle a fluctué entre 0.5 et 1.7, du fait d'apports d'eau douce plus importants qu'en 2021.

Figure 8 : Salinité de l'eau du marais de Petit Badon, entre novembre 2020 et décembre 2022

5.2. Suivis de la végétation

5.2.1. Evolution des communautés végétales entre 2020 et 2022

L'AFC réalisée sur les communautés végétales observées entre 2020 et 2022 (figure 9) montre une opposition entre les espèces aquatiques (*Nitella hyalina, Chara globularis, C. vulgaris, C. braunii, Najas gracillima, Potamogeton berchtoldii* notamment) et des espèces terrestres sur l'axe 1. Cet axe oppose en effet des variables liées aux milieux aquatiques (profondeur de l'eau, algues filamenteuses, macrophytes) aux variables liées aux milieux terrestres (plantes terrestres) (figure 10). L'axe 2 résulte principalement des gradients de salinité, opposant *Sarcocornia fruticosa* aux espèces plus prairiales telles que *Lotus jordanii*. Cet axe exprime la variabilité de tolérance au sel de la végétation.

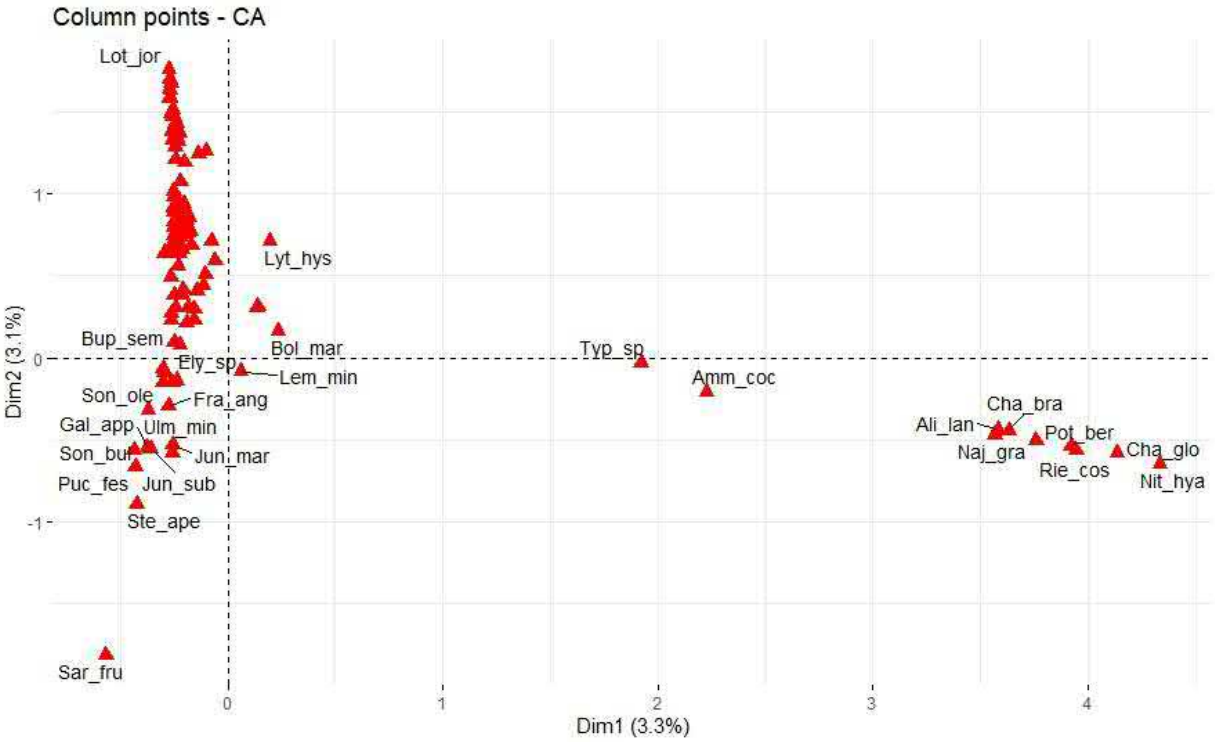


Figure 9: Projection des espèces sur le plan 1/2 de l'AFC (les axes un et deux expliquent respectivement 3.3% et 3.1% de la variance totale).

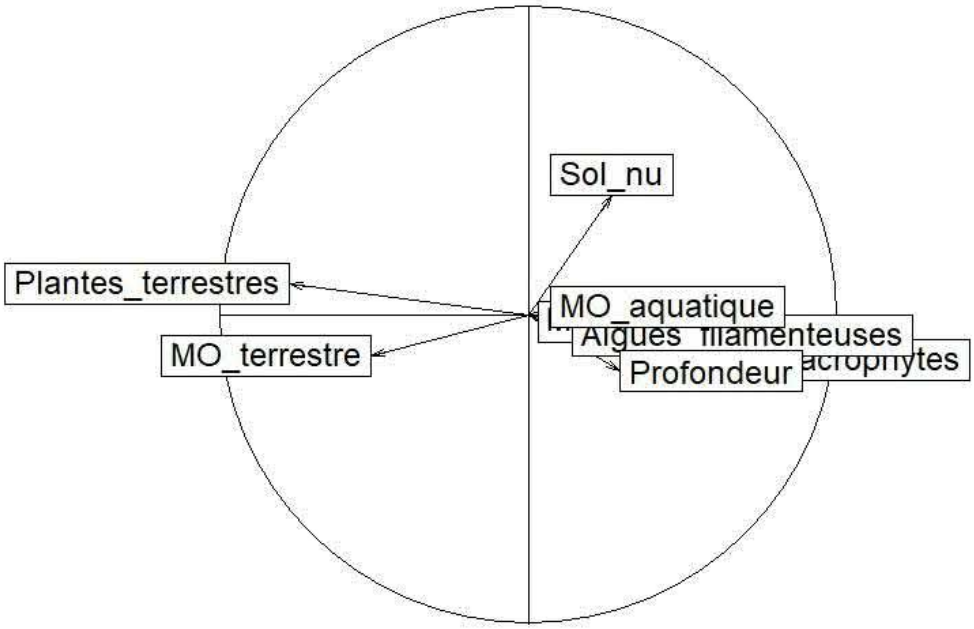


Figure 10: Cercle des corrélations des variables environnementales quantitatives, projetées passivement, d'après les résultats de l'AFC sur la végétation

La végétation de Petit Badon en 2020 est quasi exclusivement répartie sur cet axe 2. On voit apparaitre des relevés sur l'axe 1 en 2021 et 2022 traduisant l'apparition des communautés aquatiques (figure 11), notamment pour le secteur A et ponctuellement pour les secteurs B et C (figure 12).

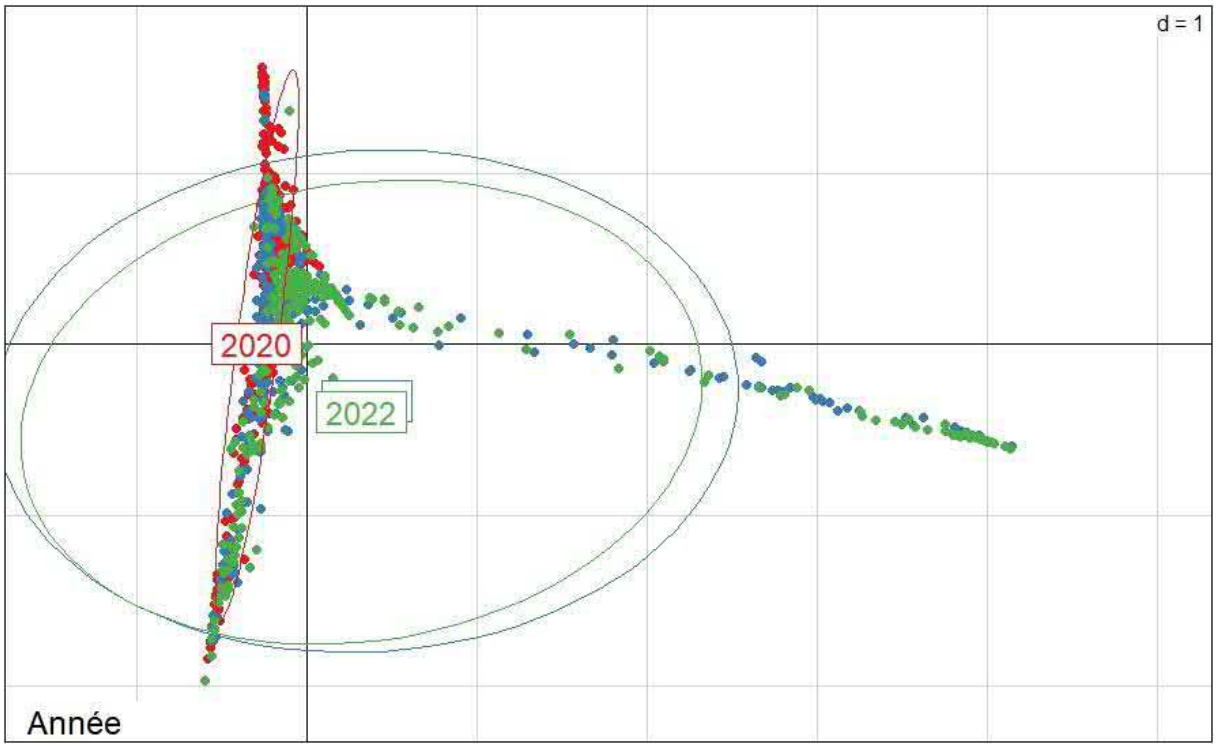


Figure 11: Projection des relevés de végétation sur le plan 1/2 de l'AFC, regroupés par années (2020 : rouge, 2021 : bleu, 2022 : vert).

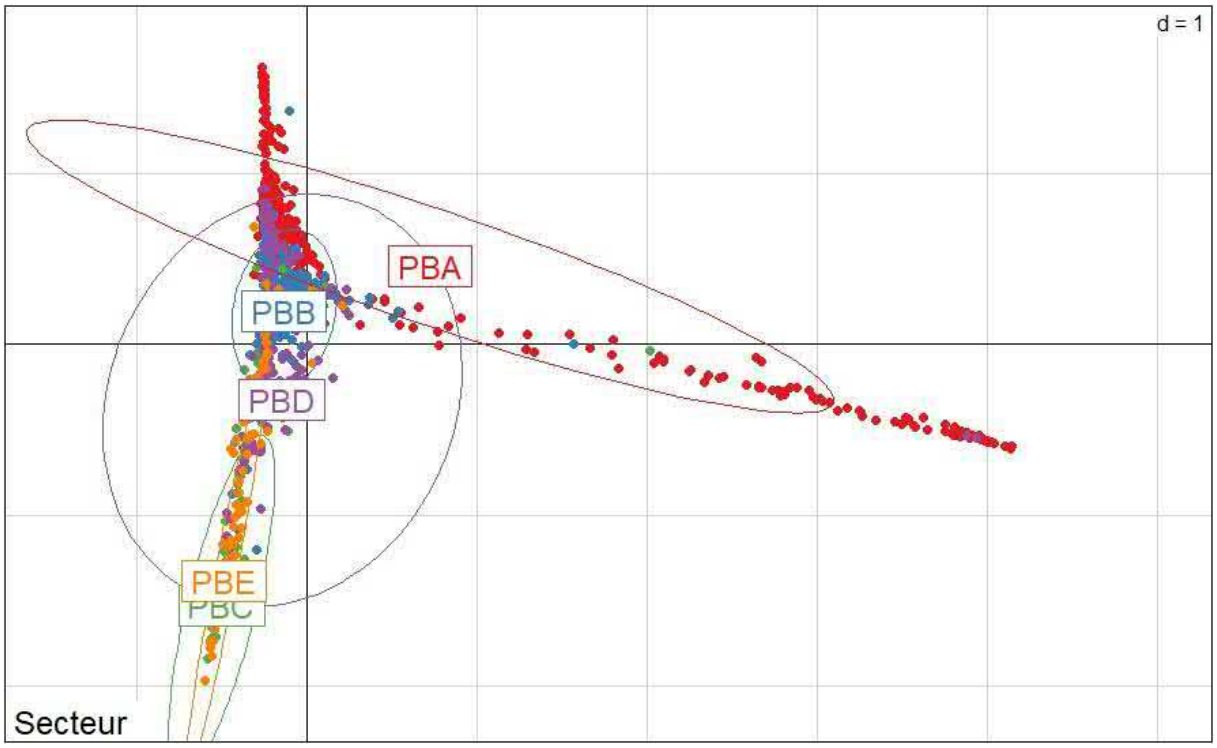


Figure 12: Projection des relevés de végétation sur le plan 1/2 de l'AFC, regroupés par secteur du marais (A à E).

5.2.2. Comparaison à des mares et marais de références

Conditions environnementales

L'hydrologie du marais est dépendant de la gestion humaine du site (pompages). L'objectif initial était de respecter une hydropériode similaire à celle d'un marais temporaire méditerranéen (assec estival), toutefois des assec hivernaux ont eu lieu (raisons techniques) et l'inondation du marais a été prolongée jusqu'en été pour un assec entre juillet/aout et septembre/ octobre. La salinité de l'eau du marais était faible (<4), correspondant bien à certains marais temporaires locaux.

La texture du sol du marais recréé de Petit Badon est similaire à celles des mares de références, même si on observe une teneur en sable fins légèrement supérieure au maximum de la gamme de référence (figure 13). La concentration en éléments organiques (matière organique totale, azote total, carbone et phosphate) est dans la gamme de référence et correspond aux mares les plus pauvres (oligotrophes). Le creusement associé aux années de mises en jachères semblent avoir permis de compenser les apports d'engrais lié à l'activité agricole passé. Le niveau trophique du sol est donc peu important, ce qui est fréquent dans des zones humides en cours de restauration pour le carbone et l'azote (Huang et al. 2017). Ces deux éléments devraient tendre à augmenter progressivement au cours du temps, avec la production végétale, en fonction de l'hydropériode du marais.

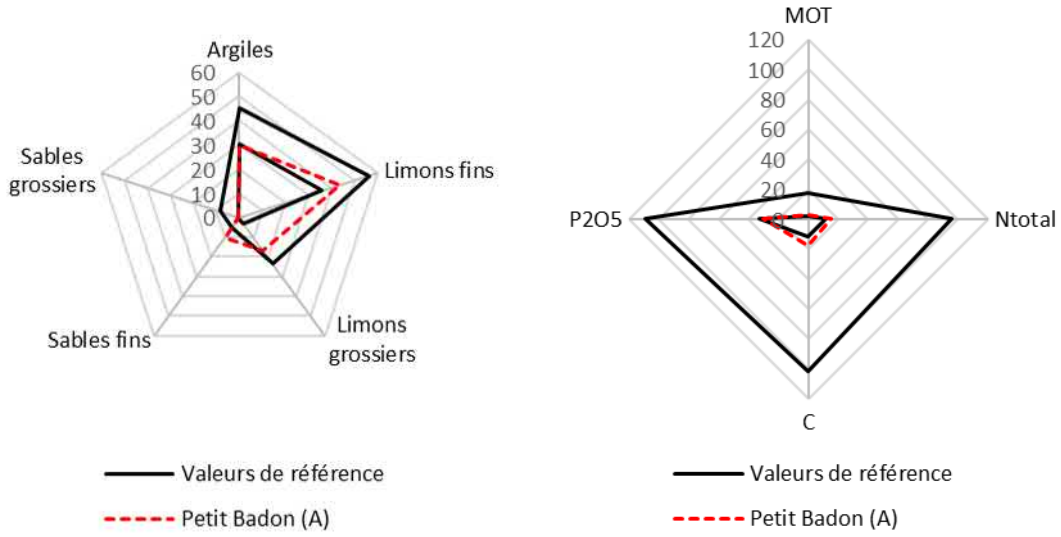


Figure 13 : Granulométrie du sol (5 classes exprimés en %) et chimie du sol (MOT : matière organique totale en %, P2O5 : phosphore échangeable en mg/kg, C : carbone organique en g/kg, Ntotal : azote total g/kg) pour le marais de Petit Badon (secteur A) : ligne rouge en pointillé, valeurs maximales et minimales pour les mares de référence : lignes noires.

L'ACP réalisée sur les variables mésologiques (fréquence en plantes terrestres et émergentes, macrophytes, macro-algues, algues filamenteuses, litière issue des plantes terrestres et émergeantes, litière issue des plantes aquatiques et sol nu) permet de comparer la structure de la végétation des différents secteurs de Petit Badon aux marais de références (figure 14). Ici, l'axe 1 (figure 15) correspond à un gradient hydrologique et oppose les végétations aquatiques (macrophytes et algues filamenteuse) aux végétations terrestres (Plantes émergentes, litière terrestre). L'axe 2 est plus lié au recouvrement en sol nu.

On observe que le secteur A (marais recréés) recoupe différentes situations de références, notamment sur l'axe 1, signe d'une certaine diversité de situations terrestres et aquatiques. La structure de la végétation est donc ici similaire à celle des marais de références, du fait de la persistance de la végétation terrestre et de l'apparition de végétation aquatique en 2021 suite aux opérations de restauration.

Le secteur D recoupe partiellement le nuage de référence et certains points sont en dehors du nuage de référence, notamment sur l'axe 2 mais également sur l'axe 1 (figure 14). Ceci s'explique par une surabondance de la végétation (quasi absence de sol nu, contrairement aux marais de références), en août 2021 et juin 2022, alors que cette partie du marais était fortement envahie par les algues filamenteuses et des lentilles d'eau (*Lemna gibba* et *Spirodela polyrhiza*). Cette situation est en dehors de la variabilité des mares de références et traduit un dysfonctionnement du marais. Ceci est à imputer à son jeune âge où les phénomènes stochastiques sont plus fréquents, mais aussi au maintien tardif des niveaux d'eau qui, couplé avec les fortes chaleurs, favorisent les blooms algaux.

Les secteurs B, C et E sont bien inclus dans le nuage de référence mais sont très peu variables, en particulier sur l'axe 1. Ces secteurs possèdent quasi exclusivement une végétation terrestre, cette situation n'est pas comparable aux marais de références qui possèdent une plus grande diversité de types biologiques, incluant les plantes aquatiques. Toutefois, cette situation, peut être considérée comme attendue pour le secteur B qui correspond plus à une situation de bordure de marais à faible hydropériode, contrairement aux secteurs C et E qui sont parmi les secteurs les plus profond du marais.

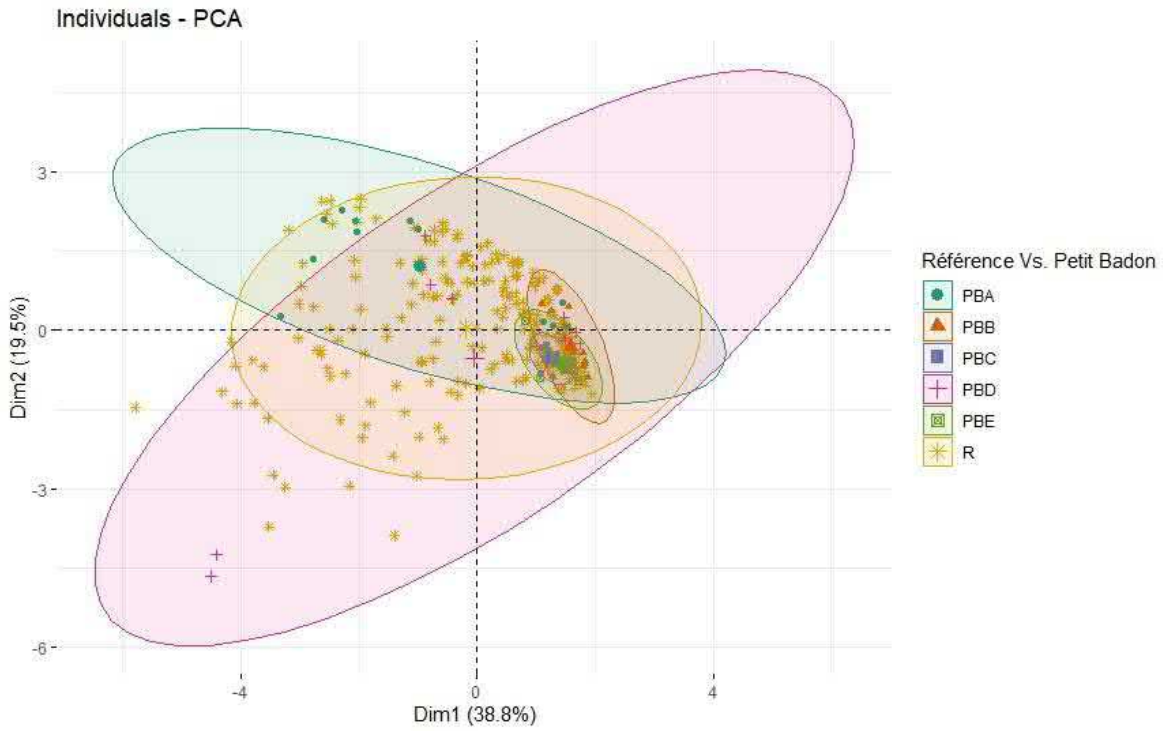


Figure 14: ACP réalisée sur les variables mésologiques (fréquence en plantes terrestres et émergentes, macrophytes, macro-algues, algues filamenteuses, litière issue des plantes terrestres et émergentes, litière issue des plantes aquatiques et sol nu), projection des relevés, regroupés par secteurs.

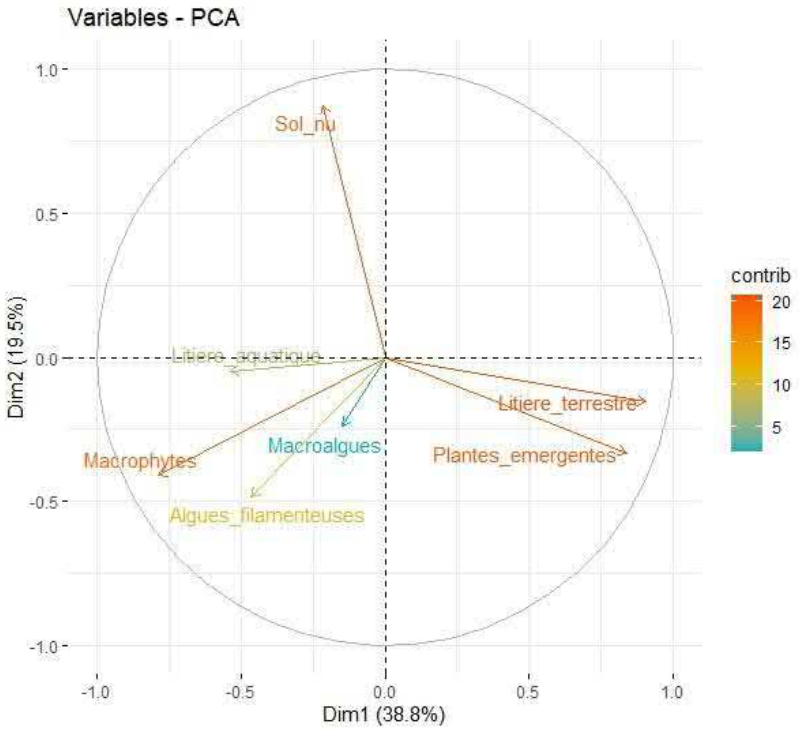


Figure 15: ACP réalisée sur les variables mésologiques (fréquence en plantes terrestres et émergentes, macrophytes, macro-algues, algues filamenteuses, litière issue des plantes terrestres et émergentes, litière issue des plantes aquatiques et sol nu), cercle de corrélation des variables.

Communautés végétales



Photo 14: Aperçu de la végétation en friche avant création du marais, avril 2020 H. FONTES

Le secteur A correspond au marais recréé, on observe que le DRCi y est important quel que soit la saison ou l'année (>2), signe d'une différence importante entre les communautés de références et les communautés observées (figure 16). On observe

également qu'il augmente, à partir de 2021, notamment en juin. Cette augmentation traduit une différentiation croissante des communautés du marais créé vis-à-vis des communautés de référence. Cela survient en particulier en juin, lors de l'optimum de développement de la végétation aquatique. Cela s'explique par le fait que les espèces aquatiques qui s'y développent abondamment sont absentes ou très rares dans les mares de références (*Chara vulgaris* en particulier). Ces espèces correspondent aux cortège de plantes aquatiques communément trouvées dans les rizières et sont notamment favorisées par l'hydrologie actuelle du marais (inondation du printemps à l'été).

Notons enfin que *Lythrum tribracteatum* a été observé dans ce secteur en septembre 2022. Cette espèce est protégée au niveau national et strictement inféodée aux mares temporaires méditerranéennes, elle est également indicatrice de l'habitat 3170-4 « 3170-4 - gazons amphibies annuels méditerranéens (*Nanocyperetalia*) » visé par le projet. Si cette espèce se maintient, le marais de Petit Badon pourrait être rattaché à cet habitat et ainsi contribuer à l'augmentation de sa surface en Camargue.



Photo 15 : Herbier dans le marais récemment recrée. H. FONTES aout 2021

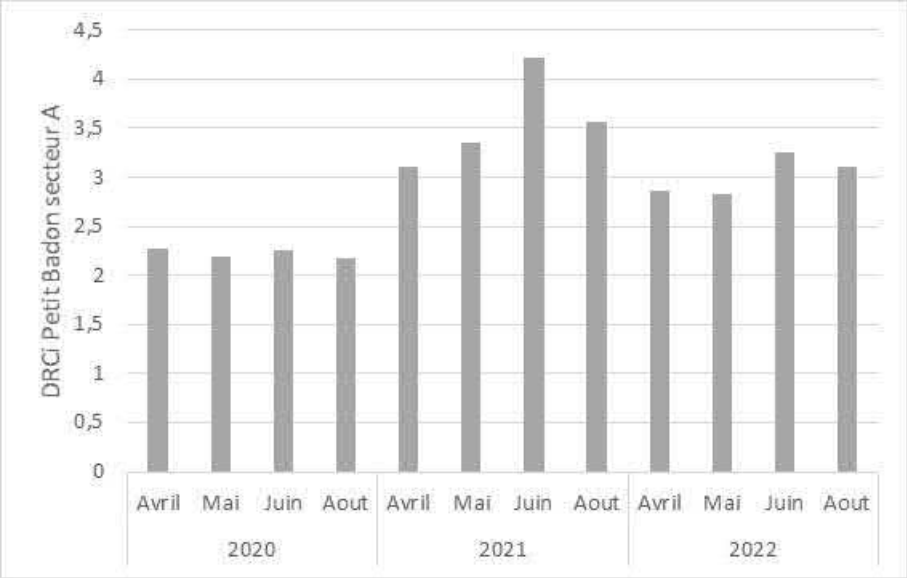


Figure 16: Valeurs du DRCi pour chaque date de terrain pour le secteur A du marais du Petit Badon



Photo 16: Prairie à *Elytrigia* récemment inondée dans le secteur B. H. FONTES mai 2021.

Le secteur B correspond à un pré salé (*Elytrigia atherica* dominant historiquement) temporairement inondé lorsque que le marais est au plus haut. Son DRCi est supérieur à 1 en 2020 et 2021, cela signifie que les communautés qui s'y développent sont moins similaires aux communautés de références qu'elles ne le sont entre elles (figure 17). Le DRCi est inférieur à 1 en 2021, signifiant une convergence des communautés végétales de ce secteur vers les communautés de références. Cela concerne ici essentiellement la flore terrestre et s'explique par la raréfaction d'*Elytrigia atherica* au profit d'espèces plus fréquentes dans les marais de références, à savoir *Phragmites australis, Bolboschoenus maritimus, Atriplex prostrata*, *Limonium narbonense*, *Aster maritimus*, etc. Cette végétation tend à ressembler à certaines végétations terrestres de marais temporaires. Si les niveaux d'eau du marais de Petit Badon sont maintenus hauts sur une longue période hivernale et jusqu'au début du printemps, des communautés

aquatiques pourraient également se développer dans ce secteur topographiquement haut, et qui présente plus une végétation terrestre de bordure ou à faible hydropériode.

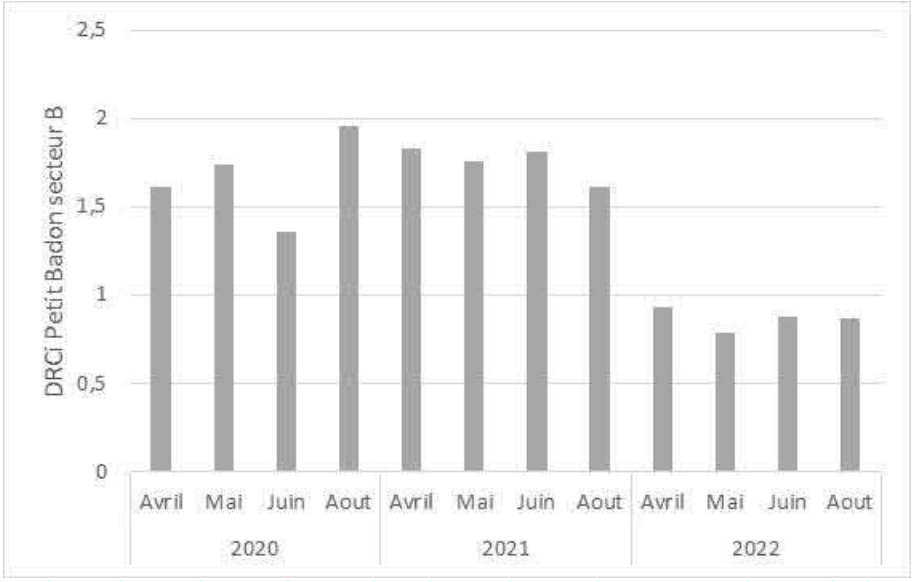


Figure 17 : Valeurs du DRCi pour chaque date de terrain pour le secteur B du marais du Petit Badon

Le Secteur C correspond à un point bas du marais actuel occupé par une sansouïre depuis plusieurs décennies. Le DRCi de ce secteur est globalement faible et fluctue autour de 1(figure 18). Ceci s'explique par la forte proportion de Salicorne dans certaines mares de référence, accompagné d'un cortège similaire (*Polypogon sp., Puccinellia festuciformis, Salicornia gp. europea* par exemple).On remarque toutefois que la Salicorne y est bien plus abondante que dans les mares de référence, situation que la distance du Chi² ne permet pas de distinguer (comparaison des abondances relatives et pas des abondances réelles). En août 2021, le DRCi est important (proche de 2) du fait de la présence de *Lemna gibba*, absente des mares de références. Les communautés terrestres en place de longue date correspondent à certaines communautés des mares de références. Toutefois, on note que les communautés aquatiques sont très peu développées dans ce secteur et très différentes le cas échéant. Malgré les faibles valeurs du DRCi, on considèrera que ce secteur longuement inondé est bien distinct des communautés de références attendues.

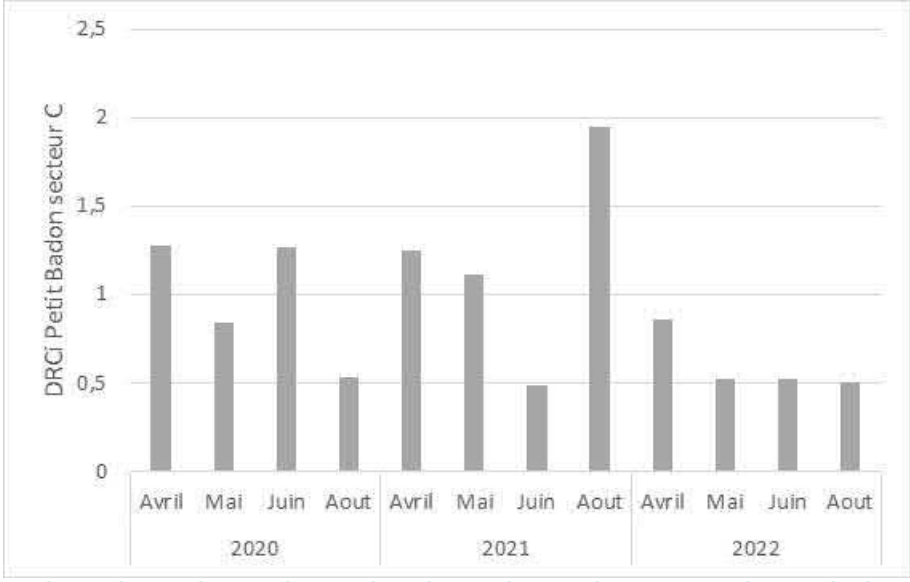


Figure 18 : Valeurs du DRCi pour chaque date de terrain pour le secteur C du marais du Petit Badon

De même que pour le secteur C, le secteur D est occupé par une sansouïre. Il possède également un DRCi assez faible et fluctuant autour de 1, sauf pour certaines dates (août 2021 et mai et juin 2022) qui correspondent à des périodes inondées avec une forte abondance de *Lemna gibba* (figure 19). Les communautés terrestres de ce secteur peuvent être proches de communautés terrestres de certaines mares de référence, malgré la surabondance de *Sarcocornia fruticosa* qui n'est pas détectée par l'indice utilisé. Toutefois, la forte colonisation de *Lemna gibba* dans ce secteur lors des phases aquatiques aux saisons les plus chaudes explique un DRCi élevé. On considèrera alors que ce secteur longuement inondé est bien distinct des communautés de références attendues.

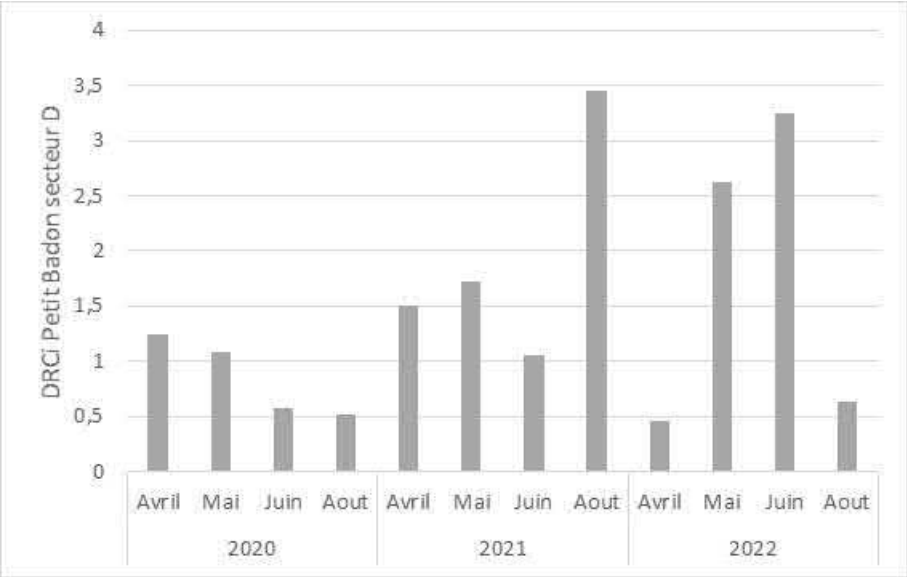


Figure 19 : Valeurs du DRCi pour chaque date de terrain pour le secteur D du marais du Petit Badon



Photo 17 : Secteur E largement envahi par *Lemna gibba*. H. FONTES aout 2021.

Le secteur E correspond au point le plus bas du marais, il est occupé depuis plusieurs décennies par une mosaïque de tamaris, de sansouïres de prés salés à joncs. Avant le changement de régime hydrique (2020), on observe un DRCi supérieur à 1 en avril et mai, puis inférieur à 1 en juin et août (figure 20). Ceci s'explique par la présence d'un certain nombre d'espèces absentes des mares de références : *Sonchus oleraceus, Bromus lanceolatus, Gallium aparinella, Vicia gracilis*. Ces espèces annuelles disparaissent en été, expliquant le rapprochement des communautés observées vers les communautés de références. Après le changement de gestion (mise en eau), le DRCi est toujours plus important en avril qu'aux autres dates mais dans une moindre mesure. L'inondation a entrainé le développement d'espèces plus hydrophiles comme *Bolboschoenus maritimus* et *Atriplex prostrata* qui est indicatrice de l'habitat Natura 2000 3170-3 (phase terrestre). Malgré cette convergence timide de ce secteur vers les communautés de références, les cortèges aquatiques y sont quasi inexistant. On considèrera alors que ce secteur longuement inondé est bien distinct des communautés de références attendues.

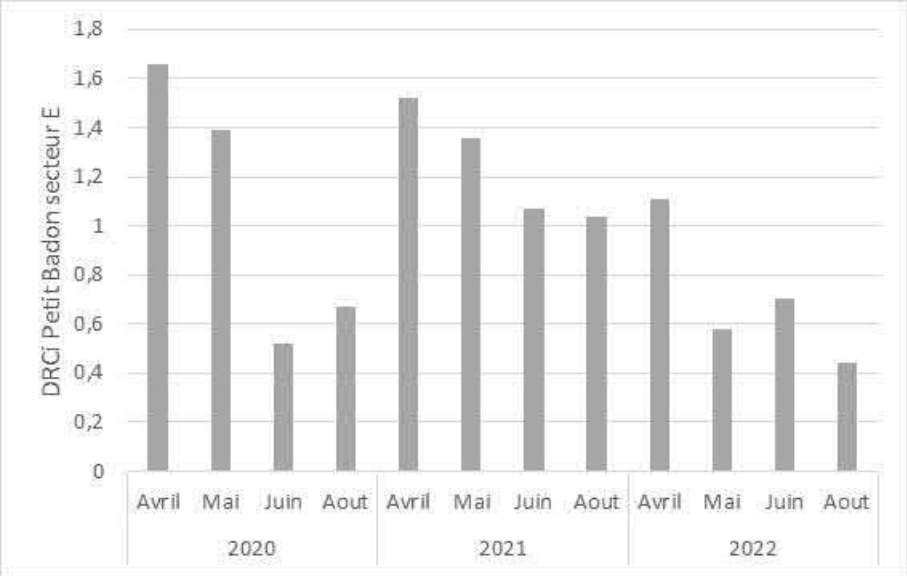


Figure 20 : Valeurs du DRCi pour chaque date de terrain pour le secteur E du marais du Petit Badon

Pour conclure, la création du marais de Petit Badon a permis le développement d'un important herbier aquatique. Malgré la difficulté à mimer une hydrologie similaire aux marais de référence, la structure et la dynamique saisonnière de la végétation y est comparable. Le marais est donc fonctionnel pour une partie de la faune (alimentation en plantes aquatiques, abris, lieu de reproduction) et l'herbier en place limite l'importante des blooms algaux. Toutefois, les espèces qui s'y développent sont bien différentes des espèces ciblées, notamment les espèces aquatiques hérités du passé rizicole du site. Les espèces de références caractéristiques des mares et marais temporaires locaux (Callitriches, Zannichellies, Characées, etc.) sont en effet très majoritairement absentes du marais. Cela s'explique par les conditions hydrologiques défavorables en 20221 et 2022, ainsi que par le jeune âge du marais créé et les faibles capacités de dispersions de ces espèces. L'évolution de la végétation en lien avec la gestion pourra être suivie afin d'évaluer sa convergence ou non vers les marais de référence. Des opérations de transplantations seraient également pertinentes pour introduire les espèces de références aujourd'hui absentes et dont la dissémination naturelle est limitée et hasardeuse.

5.3. Suivi des amphibiens

5.3.1. Etat initial

La communauté d'amphibiens présente sur le site de Petit Badon sud durant l'état initial était très pauvre du fait de l'état de conservation très dégradé des milieux aquatiques (présence d'espèces invasives en grand nombre et fonctionnement hydrologique fortement perturbé) pouvant être utilisé comme site de reproduction par les amphibiens. Seules des Rainettes méridionales (*Hyla meridionalis*) en reproduction dans le marais de Fabre et des « Grenouilles vertes » (*Pelophylax sp.)* présentes dans les roubines et marais du Badon sud ont été observées. Néanmoins, la forte sécheresse ayant sévi durant l'hiver et le printemps 2020 a probablement impacté les potentialités de reproduction des amphibiens et *in fine* leurs détections conduisant possiblement à une sous-estimation de la communauté réellement présente.

Peu d'habitat potentiel de reproduction d'amphibiens ont été identifiés en 2020 sur la zone du futur marais. Avant les travaux de restauration du marais, l'ancien réseau de canaux d'irrigation et de drainage pouvait éventuellement servir à la reproduction d'un nombre limité d'espèces (Rainette méridionale, « complexe des Grenouilles verte ») certaines années favorables à leur mise en eau (ce qui n'était pas le cas en 2020). Par ailleurs, la zone de sansouïre relictuelle située au nord du futur marais pouvait également servir de sites de reproduction pour des espèces pionnières comme le Crapaud calamite lors d'année pluvieuse.

5.3.2. Colonisation post travaux

Le nouveau marais a été immédiatement colonisé par 3 espèces d'amphibiens dès la première année de mise en eau. Nous avons ainsi dénombré cent cinquante-huit mâles chanteurs et 3 amplexus de Rainette méridionale le 16 mai 2021, 2 mâles chanteurs de Crapaud calamite les 16 mai et 4 juin, et des chorus de grenouilles rieuses (*Pelophylax ridibundus*) ont été identifiés le 4 juin. Le peuplement d'amphibiens utilisant le nouveau marais comme site de reproduction était identique en 2022. Nous avons en effet comptabilisé soixante-dix-sept mâles chanteurs et un amplexus de rainettes méridionales, un imago de Crapaud calamite tout juste métamorphosé et des chœurs de Grenouille rieuse le 25 mai 2022.



Photo 18 : Male chanteur de Rainette méridionale observé dans le nouveau marais du Petit Badon, A OLIVIER. Mai 2021

La fonctionnalité du nouveau marais pour la reproduction de ces 3 espèces d'amphibiens est attestée par la présence de têtards lors du suivi des larves. Quatorze têtards de Rainette méridionale (0.19 têtard /coup de troubleau) et 4 de *Pelophylax sp.* (0.05 têtard/coup de troubleau) ont été échantillonnés au troubleau le 21 juin 2021. Un mois plus tard (le 18 août) de nombreux imagos fraichement métamorphosés de *Pelophylax sp*. étaient observés en bordure du marais. L'année suivante, 5 têtards d'*Hyla meridionalis* (0.07 têtard /coup de troubleau et 8 de *Pelophylax sp.* (0.11 têtard /coup de troubleau ont été échantillonnés (le 17 juin). La densité observée de têtards au cours des deux années de suivi est globalement faible, mais s'explique probablement

par les mises en eau printanière tardive pour la phénologie de reproduction de la majorité des espèces de ce groupe.

Les résultats de ces deux premières années de suivi post création sont encourageants car ils démontrent une forte capacité de colonisation du nouveau marais par certaines espèces d'amphibiens et ce malgré des mises en eau printanière très tardive. Le très fort déficit hydrique en Camargue en 2021 et 2022, conjugué au problème d'approvisionnement en eau du nouveau marais pourrait avoir ainsi affecté la colonisation du marais par certaines espèces au cycle de reproduction précoce en Camargue tel le Pélodyte ponctué ou le Triton palmé qui débutent leur reproduction en février. Ces deux années de sécheresses ont aussi fortement impacté la dynamique des populations d'amphibiens avoisinantes, comme l'indique les suivis réalisés sur la Tour du Valat sur le même pas de temps. La très faible production de juvénile (du fait d'hydropériode trop courte) n'a donc pas favorisé les processus de dispersion et donc la colonisation du nouveau marais. Ainsi, les 3 espèces d'amphibiens se reproduisant dans le nouveau marais étaient déjà présentes sur la propriété du Petit Badon (contactées durant l'étant initial ou quelques années auparavant). Enfin, il n'est pas exclu que nous puissions ne pas avoir détecté certaines espèces cryptiques du fait d'une pression d'observations relativement faible. On peut déplorer la présence d'une espèce invasive (Grenouille rieuse) qui est aujourd'hui bien implantée en Camargue.

5.4. Suivi des oiseaux

5.4.1 Les oiseaux nicheurs (points d'écoute)

Le Tableau 3 indique les effectifs de chacune des espèces contactées dans les zones humides (points d'écoute 1, 2, 5, 8 et 10) et terrestres (points d'écoute 3, 4, 6, 7 et 9) lors des six sessions de points d'écoute réalisées de 2020 à 2022.

Tableau 3 : Effectifs des espèces d'oiseaux recensés par points d'écoute à Petit Badon aux printemps 2020, 2021 et 2022.

Habitat	Espèce	2020		2021		2022	
		Mai	Juin	Mai	Juin	Avril	Mai
Humide	*Rallus aquaticus*	0	0	1	4	1	3
	Gallinula chloropus	1	0	1	4	1	1
	Alcedo atthis	0	0	0	0	1	0
	Locustella luscinioides	0	0	0	1	0	0
	Acrocephalus scirpaceus	1	0	1	1	0	2
	Acrocephalus arundinaceus	0	2	0	0	0	0
Terrestre	*Phasianus colchicus*	**6**	4	4	2	3	3
	Buteo buteo	0	0	**1**	**1**	0	**1**
	Burhinus oedicnemus	0	**1**	0	0	0	**1**
	Columba palumbus	3	**5**	1	2	1	2
	Streptopelia decaocto	2	**4**	0	2	2	3
	Streptopelia turtur	6	**7**	5	4	0	1

Habitat	Espèce	2020		2021		2022	
		Mai	Juin	Mai	Juin	Avril	Mai
	Cuculus canorus	5	3	5	5	2	**6**
	Upupa epops	0	0	3	4	4	**9**
	Merops apiaster	**68**	6	0	9	0	14
	Dryobates minor	0	**1**	0	0	0	0
	Oriolus oriolus	0	0	**1**	0	0	0
	Corvus corone	0	1	0	0	0	**3**
	Parus major	1	0	1	1	2	**3**
	Alauda arvensis	4	**9**	6	5	4	5
	Galerida cristata	1	2	1	1	1	**3**
	Cettia cetti	**19**	12	10	8	5	9
	Hippolais polyglotta	7	4	3	9	2	**14**
	Cisticola juncidis	4	**10**	2	4	0	4
	Sylvia atricapilla	**7**	5	4	3	3	5
	Curruca melanocephala	**4**	1	3	3	3	3
	Sturnus vulgaris	6	3	3	0	3	**18**
	Turdus merula	2	2	**3**	0	0	2
	Luscinia megarhynchos	14	13	**15**	7	10	7
	Motacilla flava	0	0	0	0	0	**2**
	Anthus campestris	0	0	**1**	**1**	0	0
	Chloris chloris	0	**2**	0	1	1	1
	Carduelis carduelis	0	2	**4**	3	1	3
	Emberiza calandra	4	6	4	**5**	3	3

La Gallinule poule-d'eau *Gallinula chloropus* et le Râle d'eau *Rallus aquaticus* ont été contactée en 2021 sur le marais, les autres espèces des milieux humides l'ont été dans des roselières ou d'autres milieux humides situées sur les zones périphériques du marais.

En 2020, au total (milieux humides et terrestres) 26 espèces ont été contactées sur le site dont 20 en mai et 23 en juin. En 2021, 28 espèces ont été recensées dont 24 en mai et 25 en juin. En 2022, 29 espèces ont été recensées, 20 en mai et 28 en juin (tableau 3).

Sur les 26 espèces recensées lors des points d'écoute en 2020, seuls le Pic épeichette *Dryobates minor* et la Rousserolle turdoïde *Acrocephalus arundinaceus* n'ont pas été retrouvés les deux dernières années. Ces disparitions ne concernent néanmoins pas la zone de marais créé et sont liées à un déplacement plus au sud des reproducteurs hors du site suivi (point 10).

8 espèces n'avaient pas été observées en 2020 et l'ont été par la suite : la Buse variable *Buteo buteo*, le Râle d'eau *Rallus aquaticus*, la Huppe fasciée *Upupa epops*, le Martin-pêcheur d'Europe *Alcedo atthis*, le Loriot d'Europe *Oriolus oriolus*, la Locustelle luscinioïde *Locustella luscinioides*, le Pipit rousseline *Anthus campestris* et la

Bergeronnette printanière *Motacilla flava*.

On notera une augmentation de 66% du nombre de huppes fasciées dénombrées entre 2021 et 2022 sur le site. Il est toutefois difficile d'interpréter cette augmentation (tout comme les variations d'effectifs d'autres espèces comme par exemple le Guêpier d'Europe *Merops apiaster* ou l'Hypolaïs polyglotte *Hippolais polyglotta* qui sont des migrateurs transsahariens et qui sont dépendants des conditions de survies tant lors des migrations que lors de l'hivernage comme cela a été documenté pour d'autres espèces comme le Héron pourpré (Cavé, 1983, Den Held, 1981). C'est en mai 2022 qu'on a compté un nombre maximum d'individus pour le plus grand nombre d'espèces sur la période (10 espèces)

Des chutes d'effectifs ont été observées pour trois espèces liées aux milieux terrestres réputées sédentaires (Tableau 4) : la Bouscarle de Cetti *Cettia cetti*, la Cisticole des joncs *Cisticola juncidis* et le Bruant proyer *Emberiza calandra*. Ces chutes concernent respectivement 53, 60 et 50 %.

Ici aussi, il est trop tôt pour en tirer des conclusions quant aux effets de la création du marais, mais on peut par exemple supposer que la baisse de près de moitié du nombre de bouscarles est liée à la disparition de plusieurs petits canaux lors de la création du marais. De même, le nombre de cisticoles pourrait être mis en relation avec la disparition d'une surface assez importante de milieux herbacés. Néanmoins, comme indiqué plus haut, ces baisses du nombre de nicheurs contactés sont difficiles à interpréter sur deux années de suivi et pourraient par exemple être liées pour les trois espèces de Passereaux à une diminution de leur survie hivernale.

Enfin, 13 couples d'Echasses blanches *Himantopus himantopus* se sont reproduits en 2021 sur le marais et 12 d'entre-elles ont réussi à élever deux jeunes, le 13ème a échoué. Ces observations ont été faites hors protocole de suivi. L'année suivante, trois couples se sont installés mais ont échoué pour des raisons inconnues.



Photo 19 : Chevalier sylvain *Tringa glareola* (©Yves Kayser / Tour du Valat)

5.4.2 Les espèces contactées en transit ou utilisant le milieu

Les différentes espèces contactées lors des points d'écoute mais notées en transit (T) ou utilisant le milieu (UM) sont reportées dans le Tableau 4.

Le nombre d'oiseaux notés en transit est difficilement exploitable. En effet, si les espèces utilisant le milieu peuvent être considérées comme exploitant totalement le marais (nourrissage ou repos), celles qui sont en transit peuvent très bien rejoindre des zones équivalentes situées à proximité de Petit Badon (voir beaucoup plus loin).

En 2020, 9 espèces ont été observées en mai et 14 en juin. Sur l'ensemble de ces espèces, 11 n'ont été vues qu'en transit et 6 utilisant le milieu (tableau 4) soit pour s'y nourrir, soit pour s'y reposer.

En 2021, le nombre était bien plus élevé avec 21 en mai et 17 en juin. Parmi ces espèces, seulement cinq ont été notées en transit alors que 24 utilisaient le milieu.
Enfin, en 2022, 11 taxons ont été contactés en transit et huit en utilisation du milieu.

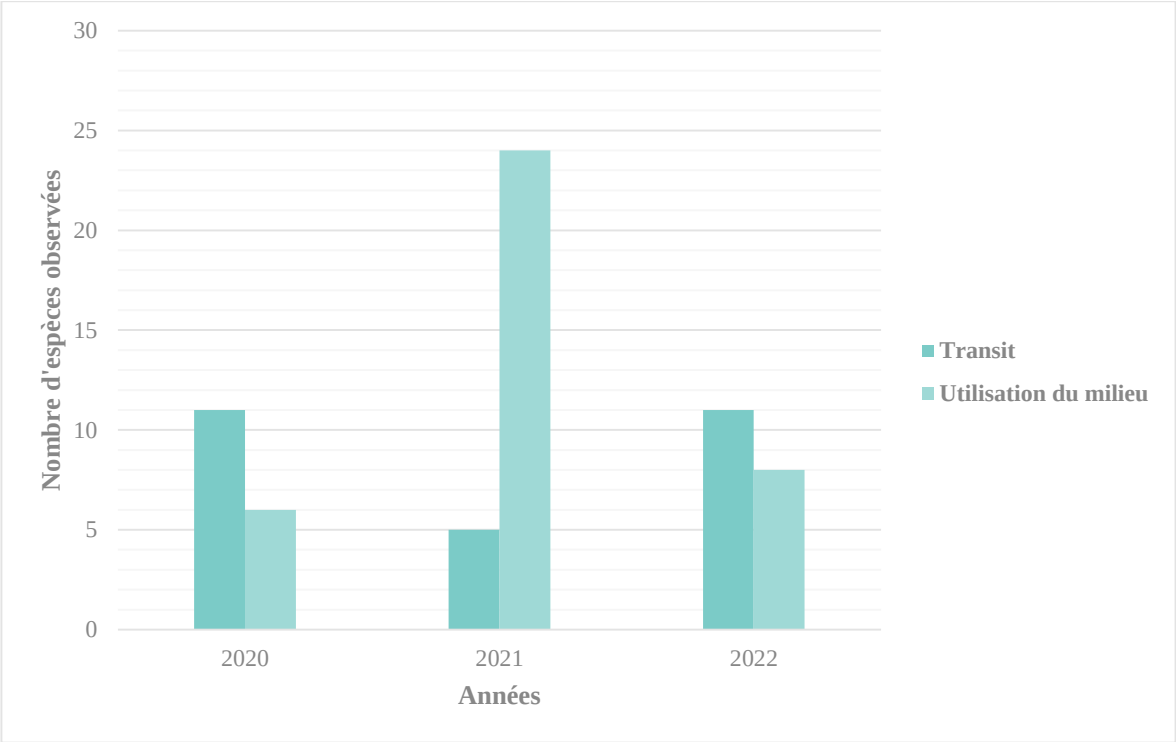


Figure 21 : Nombre d'espèces observées par points d'écoutes chaque année sur l'ensemble du site en transit ou en utilisation du milieu.

Comme le montre la figure 21, on note une nette augmentation d'espèces observées sur le site en 2021, après la restauration du site mais ce chiffre a été très inférieur l'année suivante.

Quoiqu'il en soit, si aucune espèce ne peut être considérée comme utilisant les bénéfices de la restauration du marais en 2020, l'année suivante, ce sont 83% des taxons directement liés aux milieux aquatiques qui ont été identifiés et 50% en 2022.

Tableau 4 : Espèces observées sur la zone d'étude en 2020, 2021 et 2022 en transit et utilisant le milieu (T = Transit ; UM = Utilisation du milieu ; en gras = espèce présentes en 2021 ou 2022 et pas en 2020).

Espèce	Mai 2020	Juin 2020	T/UM	Mai 2021	Juin 2021	T/UM	Avril 2022	Mai 2022	T/UM
Actitis hypoleucos	0	0		27	0	UM	0	0	
Anas platyrhynchos	7	5	T	6	3	UM	8	2	UM
Anthus cervinus	0	0		0	0		1	0	T
Apus apus	0	27	UM	2	6	T	0	1	T
Ardea cinerea	0	0		3	0	UM	0	1	T
Ardea purpurea	1	1	T	0	1	T	0	1	T
Bubulcus ibis	0	4	UM	60	0	UM	0	1	UM
Chroicocephalus ridibundus	1	58	T	50	2	UM	0	0	
Ciconia ciconia	1	0	T	0	0		0	0	
Circaetus gallicus	0	0		0	0		1	0	UM
Circus aeruginosus	0	1	UM	0	0		0	0	
Coleus monedula	0	0		0	1	T	0	2	T
Columba livia (dom.)	0	0		0	22	UM	0	0	
Corvus corone	0	0		0	1	UM			
Egretta garzetta	0	1	T	3	0	UM	0	1	T
Falco tinnunculus	0	0		0	0		1	0	UM
Fulica atra	0	0		3	1	UM	0	0	
Gelochelidon nilotica	7	2	T	10	2	UM	3	0	T
Himantopus himantopus	0	0		0	62	UM	0	1	UM
Hirundo rustica	2	1	UM	107	2	UM	0	0	
Ichtyaetus melanocephalus	0	32	UM	0	0		0	0	
Larus michahellis	21	21	T	62	4	UM	1	8	T
Milvus migrans	0	1	UM	0	0		0	0	
Nycticorax nycticorax	0	0		3	0	T	0	1	T
Passer domesticus	0	1	T	1	1	UM	4	1	UM
Phalacrocorax carbo	0	0		0	0		0	1	T
Phoenicopterus roseus	0	0		1019	0	UM	0	0	
Phylloscopus trochilus	0	0		1	0	UM	1	0	UM
Platalea leucorodia	1	0	T	0	0		0	0	
Plegadis falcinellus	200	0	T	0	6	T	0	1	T
Riparia riparia	0	0		18	0	UM	0	0	
Saxicola rubetra	0	0		1	0	UM	0	0	
Sylvia communis	0	0		1	0	UM	0	0	
Tachybaptus ruficollis	0	0		0	2	UM	0	0	
Tadorna tadorna	0	2	T	16	14	UM	3	3	UM
Tringa glareola	0	0		1	0	UM	0	0	
Tringa nebularia	0	0		1	0	UM	0	0	
Vanellus vanellus	0	0		0	3	UM	0	0	

21 espèces sont apparues en utilisation du milieu (hors reproduction) sur et autour du marais, à partir de 2021 lors des points d'écoute (Tableau 4). Il est à noter que plus de la moitié d'entre-elles sont liées aux milieux aquatiques et ont bénéficié de la mise en eau du marais.

En outre, les espèces suivantes liées aux milieux aquatiques ont également été notées

sur le marais créé hors protocole et hors suivis mensuels (observateurs Yves Kayser et Anthony Olivier) : Sarcelle d'été *Spatula querquedula*, Canard souchet *Spatula clypeata*, Crabier chevelu *Ardeola ralloides*, Héron pourpré *Ardea purpurea*, Pluvier doré *Pluvialis apricaria*, Bécassine des marais *Gallinago gallinago*, Gravelot à collier interrompu *Charadrius alexandrinus*, Bécasseau variable *Calidris alpina*, Chevalier arlequin *Tringa erythropus*, Sterne naine *Sternula albifrons*, Guifette moustac *Chlidonias hybrida*.

Ont également été notés (hors protocole) : Circaète Jean-le-Blanc *Circaetus gallicus*, Grand-duc d'Europe *Bubo bubo*, etc. (voir Annexe).

5.4.3 Comparaison de l'avifaune reproductrice (points d'écoute) entre 2020 et 2022 avant et après la création sur la zone du marais (points d'écoutes 10, 8 et 5, carte 22)

L'objectif principal est le suivi de l'avifaune reproductrice sur le site avant et après la restauration du marais.
Trois espèces ont totalement disparu de la zone étudiée (marais et milieux attenants) : la Tourterelle des bois *Streptopelia turtur*, la Corneille noire *Corvus corone* et la Cisticole des joncs *Cisticola juncidis*.
Toutes les espèces terrestres (au nombre de huit) recensées en 2020 ont disparu du marais créé (point 8, carte 22, tableau 5). Trois aquatiques sont apparues sur le marais en 2021 dont le Râle d'eau *Rallus aquaticus*, la Gallinule poule-d'eau *Gallinula chloropus* et l'Echasse blanche (déjà citée plus haut) qui s'est reproduite sur les îlots aménagés. Ces mêmes îlots ont profité au Cochevis huppé *Galerida cristata* et à la Bergeronnette printanière *Motacilla flava* en 2022.
D'un autre côté, 10 espèces (tableau 5) sont apparues sur les points en bordures du marais (points 5 et 10, carte 22) à partir de 2021.



Photo 20 : Bécassine des marais *Gallinago gallinago* (©Yves Kayser / Tour du Valat)

Tableau 5 : Nombre maximum d'individus par espèces d'oiseaux contactés en 2020 puis en 2021 et 2022 sur les trois points concernés par la restauration du marais. En gris les années 2021 et 2022.

ESPECES	Point 5			Point 8			Point 10		
	Mai et juin 2020	Mai et juin 2021	Avril et mai 2022	Mai et juin 2020	Mai et juin 2021	Avril et mai 2022	Mai et juin 2020	Mai et juin 2021	Avril et mai 2022
Phasianus colchicus		1	1						1
Rallus aquaticus						1			
Gallinula chloropus					1				
Himantopus himantopus					21			1	
Columba palumbus	2	1							
Streptopelia turtur	1			3					
Cuculus canorus		1		1					
Upupa epops		1	2					1	
Merops apiaster		2	2					1	
Corvus corone				1			1		
Parus major									1
Alauda arvensis				2					
Galerida cristata						1	1		
Cettia cetti	1	1	1	1				2	1
Hippolais polyglotta		1	3	1					1
Sylvia atricapilla	1	2	2					1	2
Curruca melanocephala		1							
Cisticola juncidis				1					
Sturnus vulgaris								1	4
Turdus merula	1	1						1	
Luscinia megarhynchos	2	2	1	1			1	1	1
Motacilla flava						1			
Chloris chloris									1
Carduelis carduelis		2					3	1	

Enfin, seuls les nicheurs certains ont été pris en compte ici. Effectivement, des espèces comme la Tourterelle turque *Streptopelia decaocto* (1 individu au point 5 en 2021), le Moineau domestique *Passer domesticus* (2 individus au point 5 en 2021, 1 individu au point 10 en 2021), le Bruant proyer *Emberiza calandra* (>200 m du point d'écoute) et 54 guêpiers en vol sur le point 10 en mai 2020 ne sont pas considérés comme reproducteurs. Les deux premières espèces se reproduisent sur le Mas du Petit Badon et sont liées aux habitations et le groupe de guêpiers concernait des migrateurs.

5.4.4 Dénombrements mensuels d'oiseaux d'eau et de rapaces

Les dénombrements d'oiseaux d'eau et de rapaces ont débutés à la mi-septembre 2021, date à laquelle le marais n'était pas encore en eau.
12 relevés ont été effectués entre le 15 octobre 2021 et le 17 novembre 2022. Deux autres l'ont été en septembre 2021 et en avril 2022 mais le marais était sec à ces dates.

Tableau 6: Effectif maximum de chacune des espèces notées lors des comptages mensuels d'oiseaux d'eau et rapaces sur le marais de Petit Badon en 2021 et en 2022.

Espèces	Effectif maximum noté	Date du relevé
Tadorna tadorna	36	18/05/2022
Mareca strepera	2	14/01/2022
Anas platyrhynchos	28	18/05/2022
Plegadis falcinellus	1	19/07/2022
Platalea leucorodia	1	15/10/2021
Phalacrocorax carbo	1	18/02/2022
Phoenicopterus roseus	5	17/03/2022
Bubulcus ibis	23	19/07/2022
Ardea cinerea	1	23/09/2022
Milvus migrans	1	20/06/2022
Buteo buteo	1	19/07/2022
Circus aeruginosus	1	14/12/2021
Circus cyaneis	1	17/11/2022
Circaetus gallicus	2	19/07/2022
Aquila fasciata	3	16/11/2021
Hieraaetus pennatus	1	14/12/2021
Rallus aquaticus	2	16/11/2021
Fulica atra	3	18/05/2022
Gallinula chloropus	1	17/11/2022
Grus grus	6	18/02/2022
Himantopus himantopus	35	18/05/2022
Vanellus vanellus	20	14/12/2021
Charadrius dubius	22	17/03/2022
Gallinago gallinago	1	20/10/2022
Tringa ochropus	1	15/10/2021
Tringa glareola	64	19/07/2022
Chroicocephalus ridibundus	510	23/09/2022
Ichtyaethus melanocephalus	3	17/03/2022
Larus michahellis	32	18/02/2022
Gelochelidon nilotica	1	18/05/2022
Hydropogne caspia	2	19/07/2022
Alcedo atthis	2	15/10/2021

La fréquentation du site n'est que très faible pour l'instant avec 25 espèces d'oiseaux d'eau relevées et 7 de rapaces (tableau 6). A titre de comparaison, sur le marais du Saint-Seren (70ha, Tour du Valat), ce sont environ 70 espèces d'oiseaux d'eau et 12 de rapaces qui ont été observés lors des dénombrements mensuels depuis début 2022 (D. Cohez, com. pers.). La moyenne mensuelle sur les 12 relevés est de 4,2 espèces d'oiseaux d'eau et de 1,1 rapaces. Les effectifs observés sont faibles et les maximas

notés sont indiqués dans le tableau 6.
On peut signaler la présence de quelques espèces remarquables comme un Aigle de Bonelli *Aquila fasciata* à la mi-octobre et pas moins de 3 à la mi-novembre dont un équipé d'une balise. Cet individu est probablement un aigle né et équipé dans l'Aude (Cécile PONCHON, com. pers.). Un Aigle botté *Hieraaetus pennatus* a également été vu le 14 décembre 2021. Deux Sternes caspiennes *Hydropogne caspia* ont été observées en juillet 2022.

Conclusion
Si des baisses d'effectifs ou la disparition de certaines espèces terrestres peuvent être liées à la création du marais, l'apparition de 36 espèces d'oiseaux d'eau lors des suivis effectués en 2021 et 2022 permet de constater un effet bénéfique de la restauration quant à la richesse spécifique du site.
La présence régulière de personnes sur le site ne permet pas d'assurer la quiétude voulue pour l'accueil d'un nombre important d'oiseaux en stationnement diurne. L'apparition en juin 2021 d'une nouvelle locataire sur le Mas du Petit Badon propriétaire d'un gros chien (American Stattford), allant régulièrement le promener et le lâcher sur le marais ne pourra pas garantir la quiétude du site et l'accueil régulier d'oiseaux d'eau. Par ailleurs l'utilisation du site par les grues en dortoir (hors protocole) ne pourra rester en place sans une tranquillité certaine du site. Enfin, le pâturage de chevaux sur le site peut éventuellement causer des dérangements à l'avifaune selon les périodes.

5.5. Suivi et gestion des espèces végétales exotiques envahissantes

5.5.1 Espèces aquatiques

Depuis la mise en eau du marais en 2021, trois espèces exotiques envahissantes aquatiques ont été identifiées : la Jussie (*Ludwigia sp.*) et les deux espèces d'Héteranthères (*Heteranthera spp.*). Pour ces dernières, une veille des deux stations permet de vérifier l'extension potentielle et si besoin de mettre en place des moyens de contrôle autres que la période d'assec estival.


Photo 21 : à gauche : Heteranthera Limosa ; droide : Heteranthera Reniformis, © A.Olivier.

A noter qu'en 2022, une nouvelle station d'Héteranthère s'est développée dans la

déviation du canal d'irrigation en provenance du Canal du Japon, nous suivrons son évolution passé l'assec estival.



Photo 22 : gauche : Canal de déviation d'alimentation, le 6 mai 2022 ; Tronçon du canal colonisé par des Héteranthères, le 22 octobre 2022. © Marion Lourenco.

L'assec estival semble permettre de limiter le développement des deux stations d'Hétéranthère identifiées dans le marais. Concernant la nouvelle station située dans le canal de dérivation de mise en eau, nous serons plus à même d'évaluer son potentiel d'expansion après la période sèche. A noter toutefois que son emplacement ne l'expose pas à un assec complet et ne permet donc pas sa disparition totale chaque été. C'est un point de vigilance pour les années à venir et il pourrait être alors pertinent de procéder à un arrachage systématique des plants trouvés à cet endroit-là par mesure de prévention.

La gestion de la jussie quant à elle suit un arrachage systématique dès la découverte de pieds afin de ne pas risquer une colonisation plus importante, ce qui a permis jusqu'à présent d'éviter son implantation.

5.5.2 Espèces terrestres

La présence d'espèces envahissantes exotiques sur la propriété de Petit Badon est cohérente avec les populations présente sur les parcelles voisines. Les espèces recensées sur le site sont le Faux-Indigo, l'Olivier de Bohème, l'Herbe de la Pampa et en grande majorité le Séneçon en arbre, ou *Baccharis Halimifolia*. De par la création du marais, les anciennes friches agricoles sur lesquels il a été implanté ont été de fait débarrassée des plants qui y étaient présents mais les zones alentours comportaient des stations de densité et de taille d'individus assez importants.

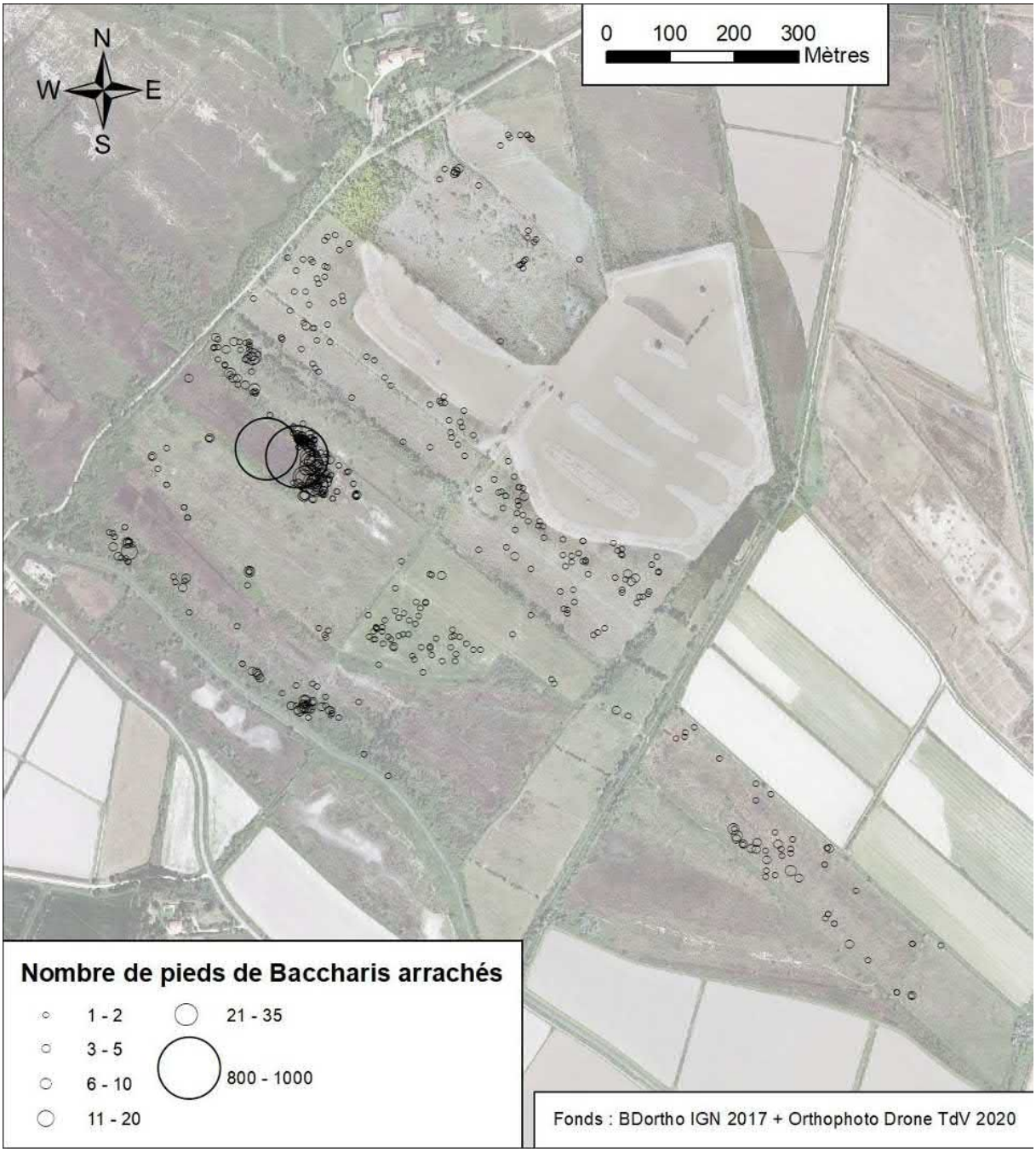


Photo 23 : Station de Baccharis en fleur, Clos des Miraculés, Octobre 2021 - L.Willm

Concernant l'arrachage des Baccharis, espèce jugée la plus problématique sur le site, la carte 23, représentant la pression d'arrachage sur les trois années du projet, illustre la présence de cette espèce que la quasi-totalité du site.

En 2022 l'accent a été mis sur la roselière des Miraculés dans la continuité des interventions déjà réalisées sur ce secteur. Cette zone d'une superficie de 1.64 ha présente une très forte densité d'individus qui sont en grande majorité de petite taille et peuvent être arrachés à la main. Ceux de plus grande envergure et accessibles à la pelle ont été traité mécaniquement.
Sur la carte 23, c'est cette zone qui comptabilisera le nombre le plus important de pieds arrachés.

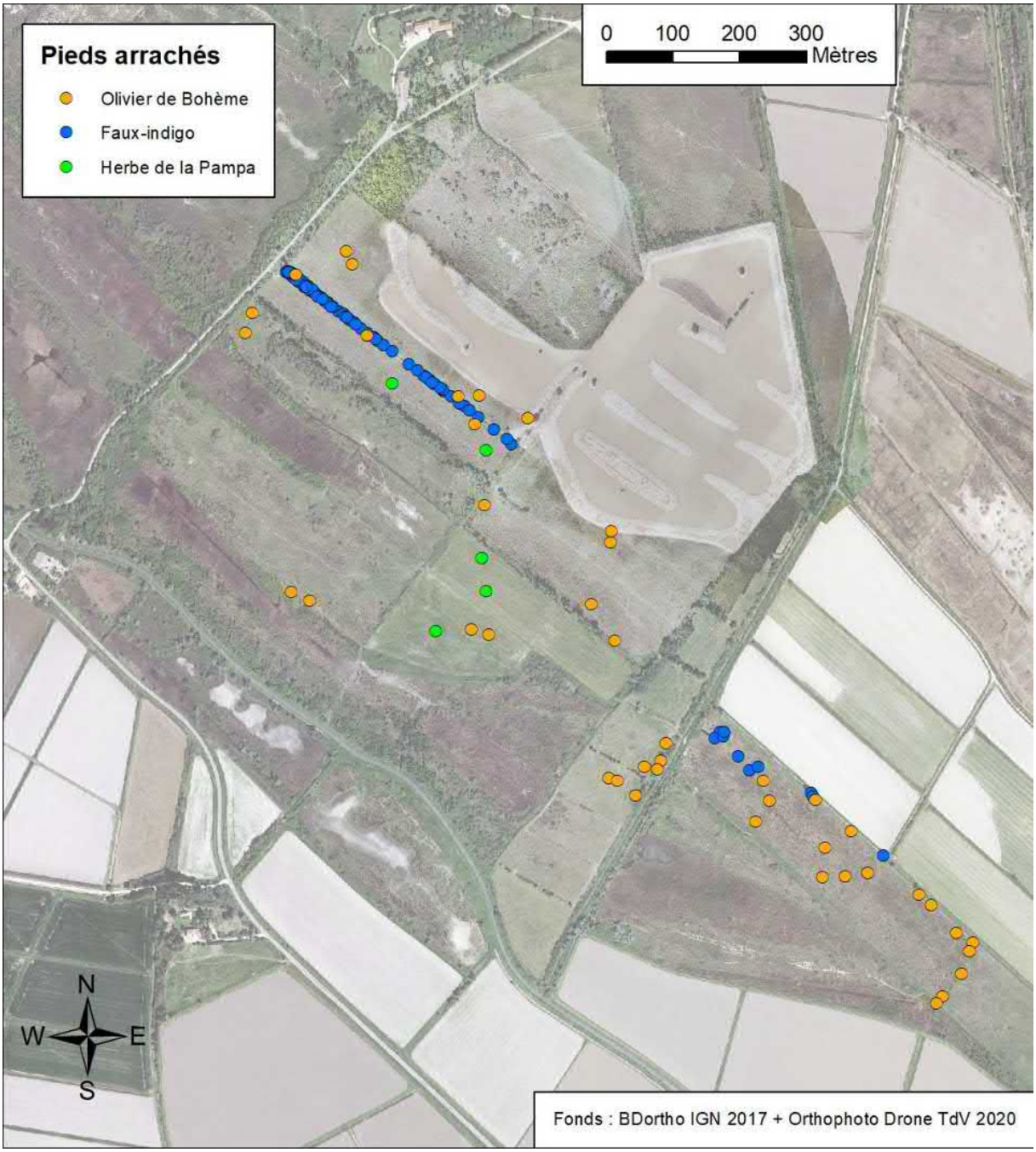
Aux effectifs arrachés les années précédentes, l'année 2022 comptabilisera 1 827 individus traités supplémentaires, ce qui portera sur les trois années au chiffre total de 3 219 pieds arrachés.



Carte 23 : Localisation des pieds et effectifs de Baccharis arrachés depuis 2020.

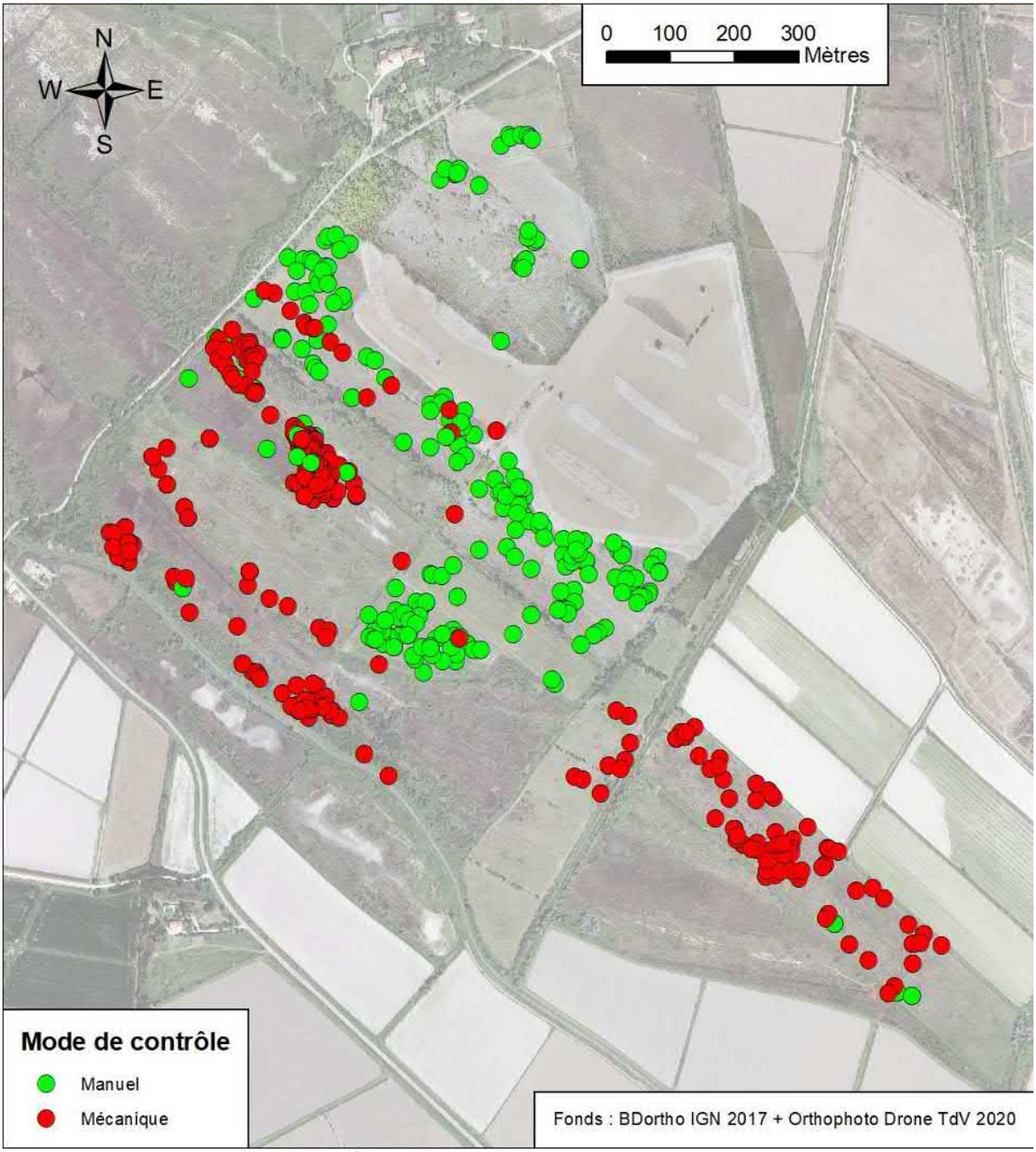
Au vue de la capacité de dispersion de cette espèce et de sa forte présence sur les propriétés alentours**, il est important de maintenir une pression de gestion afin de ne pas perdre le bénéfice des actions déjà menées.**

Pour ce qui est des autres espèces visées, l'Olivier de Bohème, le Faux-Indigo et l'Herbe de la Pampa, comme illustré par la carte 24, l'équipe chargée de cette problématique, a arrachés 51 Oliviers de Bohème, 5 herbes de la Pampa, 12 Faux-indigo en plus d'un linéaire de 350 mètres, arrachés entre 2020 et 2022.



Carte 24 : Localisation des individus d'Olivier de Bohème, Herbe de la Pampa et Faux-indigo arrachés depuis 2020.

La combinaison de deux modes d'intervention différents (manuel et mécanique) a permis de traiter les individus détectés quel que soit leur taille, garantissant ainsi une efficacité assez importante sur les quatre espèces visées (carte 25).



Carte 25 : Mode de contrôle toutes espèces invasives terrestres confondues du site

De par l'exposition constante du site à la colonisation massive des espèces traitées, nous préconisons un maintien de la veille ainsi que de la pression d'arrachage afin d'éviter l'installation de nouvelles stations composée d'individus de taille trop importante pour être traité aisément de manière manuelle.

5.6. Indicateurs RhoMéo

Les indicateurs RhoMéo ont été définis pour suivre l'état écologique global des zones humides (Rhône, Méditerranéen et Corse). Ils peuvent également être utilisés pour suivre les effets des opérations de restauration écologique (Porteret 2017). Nous utilisons ici 5 indicateurs pour suivre l'évolution du fonctionnement du marais de Petit Badon suite à sa recréation :

- IO2 : indice floristique d'engorgement
- IO6 : indice floristique de fertilité du sol
- IO7 : vulnérabilité à l'eutrophisation – phosphore
- IO8 : indice de qualité floristique
- IO11 : intégrité du peuplement d'amphibiens

5.6.1 Marais créé

Les indices IO2, 6 et 8 ont été calculés pour la période avant la recréation et pour les deux années qui ont suivis, en avril, mais, juin et août. Ils se basent sur les données de suivi floristiques moyennées pour chaque date et chaque secteur.

L'indice IO7 a été calculé juste après le creusement du marais, il permet de donner un point de départ de la trajectoire de ce marais et devra être réévalué ultérieurement.

L'indice IO11 a été calculé à partir des résultats des deux premières années après la recréation du marais (2021-2022).

Pour le secteur Petit Badon A (partie creusé du marais, figure 22), les valeurs de l'indice floristique d'engorgement (IO2) étaient assez constantes et moyennes (5 à 6) en 2020, quel que soit la saison. A partir de 2021, certaines dates montraient des valeurs importantes (8 à 9). Ceci reflète bien l'effet du creusement et les mises en eau du marais, avec un décalage lié au temps de développement des macrophytes (très peu abondants en avril et mai 2021 et 2022). Cette faible abondance en macrophytes au printemps est également liée à des problèmes de gestion (assec hivernal), en partie compensés par la prolongation des mises en eau plus estivales.
L'indice floristique de fertilité du sol est resté quant à lui stable (entre 6 et 7) sur les trois ans étudiés.
L'indice de qualité floristique était globalement plus important en 2021 et 2022 qu'en 2020, suite à la création et le mise en eau du marais. L'apparition d'une flore aquatique explique ce résultat. Notons toutefois que les espèces aquatiques qu'y s'y développent, même si elles sont nécessairement hautement spécialisées et adaptées aux milieux aquatiques, sont parmi les plus ubiquistes des espèces aquatiques. L'indicateur ne possède pas ici la finesse nécessaire pour comparer différentes communautés aquatiques mais permet bien de distinguer les communautés terrestres des herbiers qui dominent aujourd'hui le marais.
L'indice de vulnérabilité à l'eutrophisation – phosphore (IO7) est de 1,73. Cet indice correspond à la quantité de phosphore potentiellement biodisponible (rapport P/C). Il est de 2,03 ± 1,07 pour les mares de références. Le marais de Petit Badon possède donc un niveau trophique (phosphore) qui est inclus dans la gamme de référence et qui n'apparait donc pas altéré par son passé agricole. Ceci peut s'expliquer par l'arrêt ancien des pratiques agricoles mais également par le décaissement des couches superficielles du sol lors du creusement du marais. Son évolution reste toutefois à surveiller et à mettre en lien avec les pratiques pastorales qui sont des causes potentielles d'eutrophisation du marais.

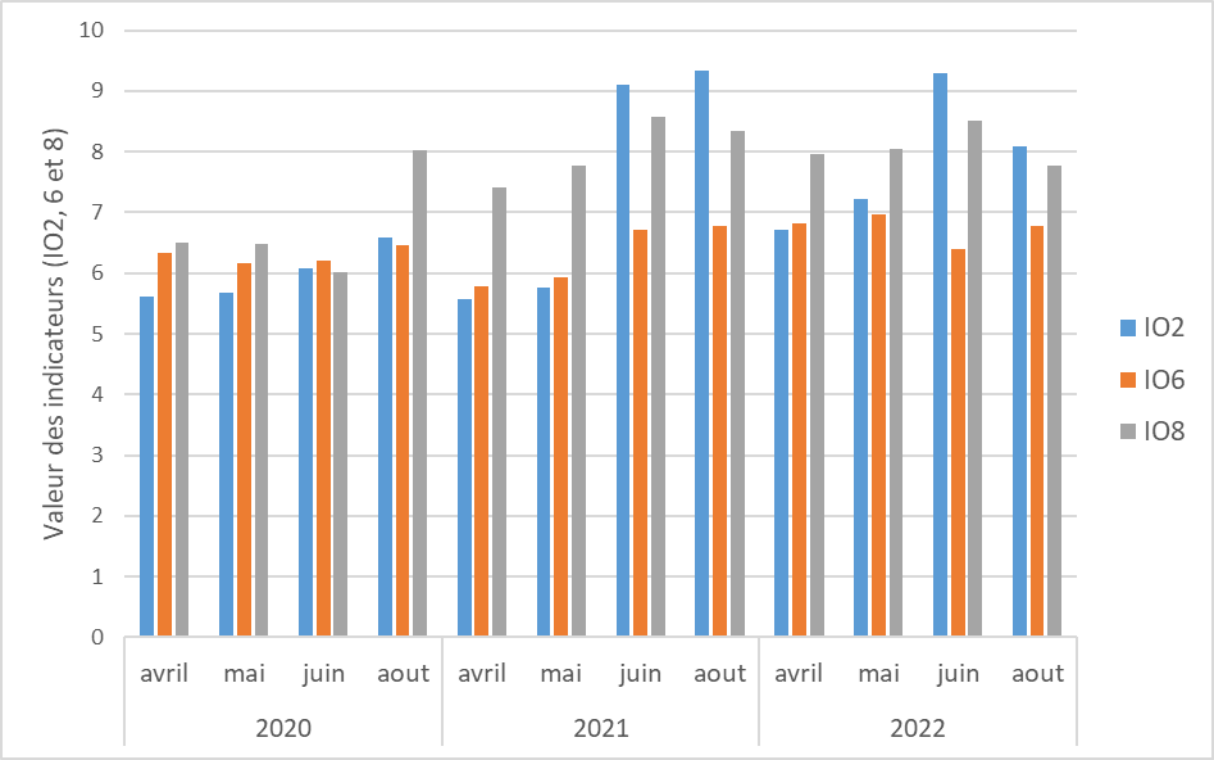


Figure 22: valeur des indicateurs RhoMéo IO2, IO6 et IO8 pour chaque date de terrain, secteur Petit Badon A

L'indice d'intégrité du peuplement d'amphibiens se décompose en trois métriques :

- Indice de diversité de Simpson (probabilité que deux individus sélectionnés au hasard appartiennent à la même espèce), le maximum de diversité étant représenté par la valeur 1 et le minimum de diversité par la valeur 0 ;
- Sténoécie brute : proportion d'espèces observés vis-à-vis du pool régional d'espèces de références (espèces non exotiques) ;
- Sténoécie relative : proportion d'espèces observés vis-à-vis des espèces de références (espèces non exotiques) attendues.

L'indice de diversité de Sympson a été calculé sur les données de contact (champ + observation visuelle, carte 20). Il est de 0 en 2020 (absence d'eau et d'amphibiens avant la création du marais), de 0.08 en 2021 et de 0.42 en 2022. Cette augmentation est uniquement due à la répartition des effectifs plus équitable des trois espèces observées (équitabilité) et non à une augmentation de la richesse spécifique. Sur les données de capture de têtards (carte 21), l'indice de diversité de Simpson est de 0 en 2020 (absence d'eau et d'amphibiens avant la création du marais), de 0.37 en 2021 et de 0.51 en 2022. Cette légère augmentation est également due à une meilleure équitabilité des effectifs des deux espèces observées.

La sténoécie brute est de 0.18 (2 espèces indigènes sur 11 espèces de références présentes dans le département). La sténoécie relative est de 0.29 (2 espèces indigènes sur 7 espèces de références attendues dans le marais : Crapaud calamite, Grenouille de Graf, Grenouille de Perez, Pélobate cultripède, Pélodyte ponctué, Rainette méridionale, Triton palmé. Ces valeurs sont basses et devraient tendre à augmenter avec la colonisation de nouvelles espèces et l'augmentation de l'équitabilité des effectifs.

5.6.2 Autres secteurs du marais

Pour le secteur Petit Badon B (figure 23), l'indice floristique d'engorgement (IO2) était moyen d'avril 2020 à mai 2021 (entre 5 et 6,5). Il a augmenté à partir de juin 2021 (entre 6,5 et 8). L'indice floristique de fertilité du sol (IO6) n'a pas montré de tendance claire et oscille entre 6,5 et 7,5. L'indice de qualité floristique (IO8) a connu une légère augmentation à partir de juin 2021 (passage de 6,5 à 7,5 entre avril 2020 et mai 2021 à 7 à 8 entre juin 2021 à août 2022). L'augmentation des indice IO2 et IO8 à partir de juin 2021 correspond aux premières mises en eau prolongées du secteur B. Ces mises en eau ont limité le développement des espèces les moins hygrophiles au profit d'espèces plus spécialisées et typique des marais (*A. prostrata, B. maritimus, P. australis* par exemple).

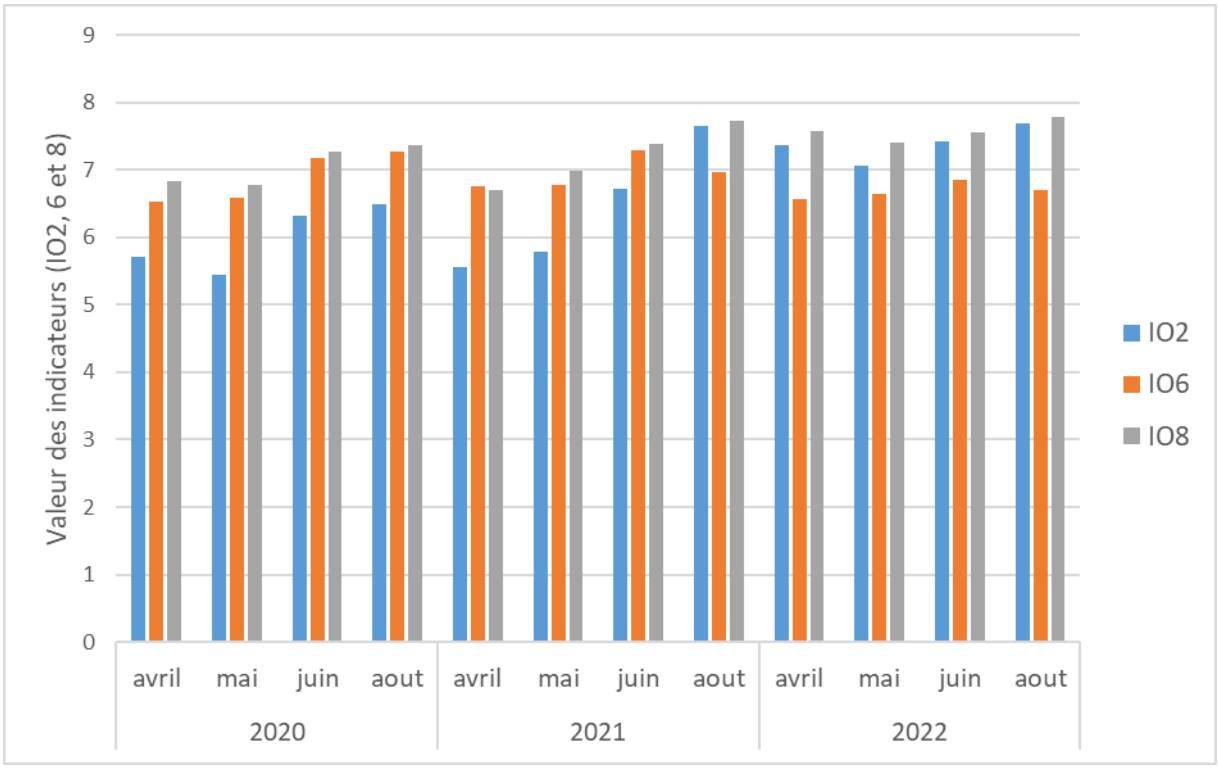


Figure 23: valeur des indicateurs RhoMéo IO2, IO6 et IO8 pour chaque date de terrain, secteur Petit Badon B

Pour le secteur C, les valeurs des trois indices IO2 IO6 et IO8 (figure 24) étaient initialement élevées et peu fluctuantes sur la période étudiée (entre 7 et 8 pour IO2 et 8, entre 6,5 et 7 pour IO6). Il s'agit d'une sansouïre, végétation typique de zones humides saumâtres, qui se maintien encore aujourd'hui malgré le changement de gestion (apports d'eau douce).

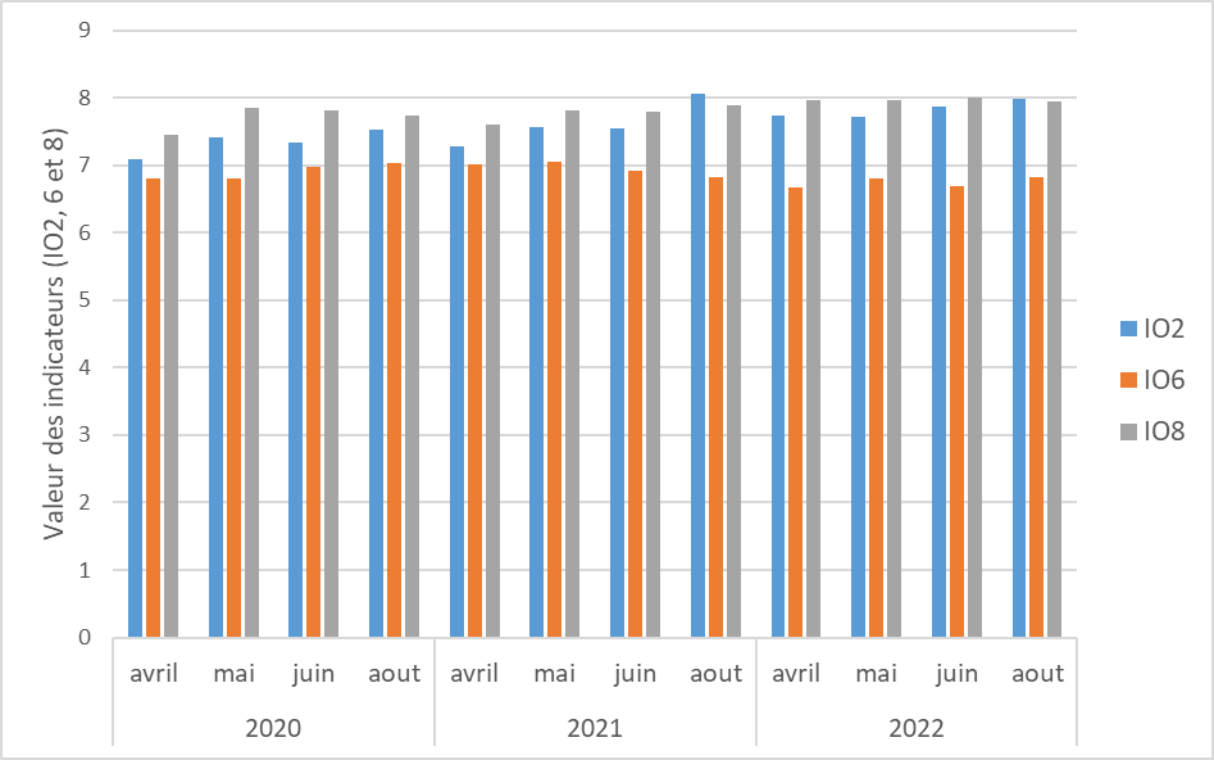


Figure 24: valeur des indicateurs RhoMéo IO2, IO6 et IO8 pour chaque date de terrain, secteur Petit Badon C

Pour le secteur D (figure 25), l'indice floristique d'engorgement (IO2) a varié de 6,5 à 7,5 d'avril 2020 à mai 2021. Il a augmenté à partir de juin 2021 pour varier de 7 à 9. Cette augmentation va de pair avec l'inondation prolongée du marais et s'explique en particulier par l'abondance des lentilles d'eau, en particulier en août 2021. Les indices IO6 et IO8 ont peu fluctué avec les saisons et les années malgré les changements observés dans les communautés végétales (dépérissement de la salicorne et surabondance des lentilles d'eau non caractéristiques des marais naturels).

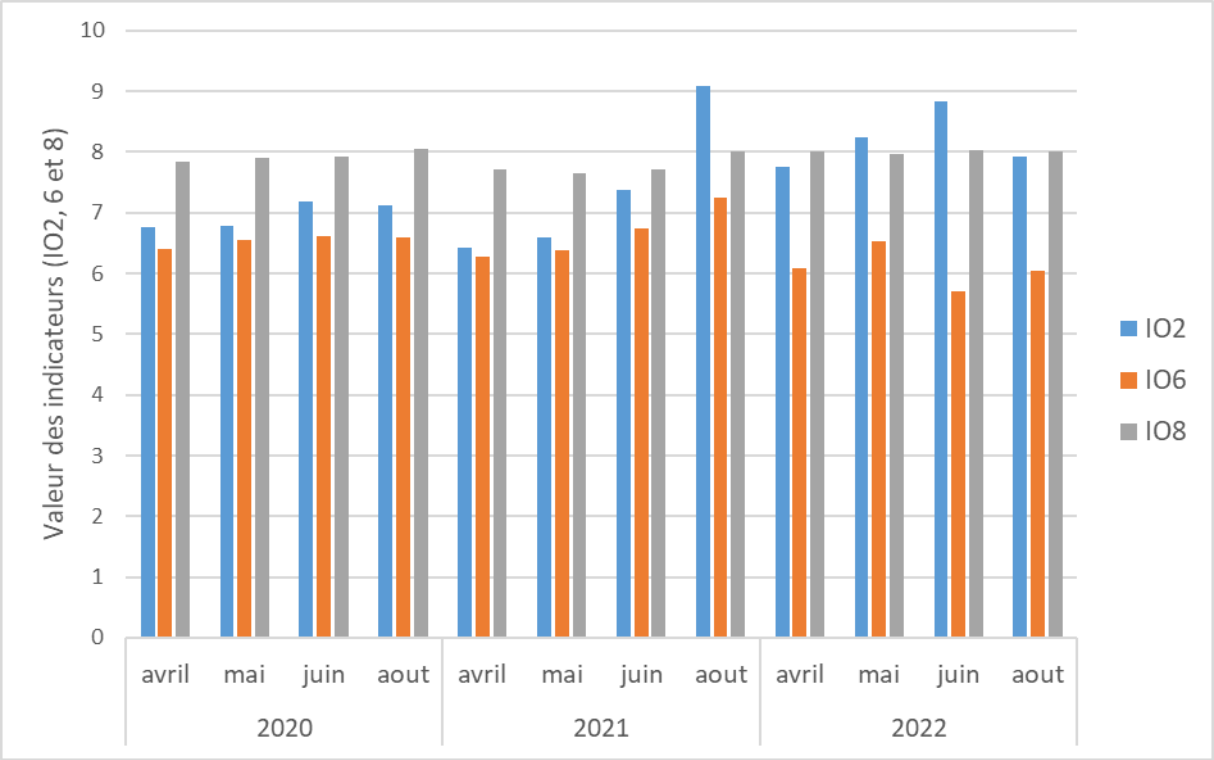


Figure 25: valeur des indicateurs RhoMéo IO2, IO6 et IO8 pour chaque date de terrain, secteur Petit Badon D

Pour le secteur E (figure 26), les valeurs des trois indices IO2 IO6 et IO8 étaient initialement élevés et peu variables sur la période étudiée (entre 6.5 et 8 pour IO2, entre 6,5 et 7,5 pour IO8, entre 7 et 8 pour IO6). Il s'agit de la zone la plus basse du marais dont les communautés végétales ont connu certains changements suite aux apports d'eau douce (vois partie suivi de la végétation), sans que cela n'altère le degré d'hygrophilie global de ces communautés.

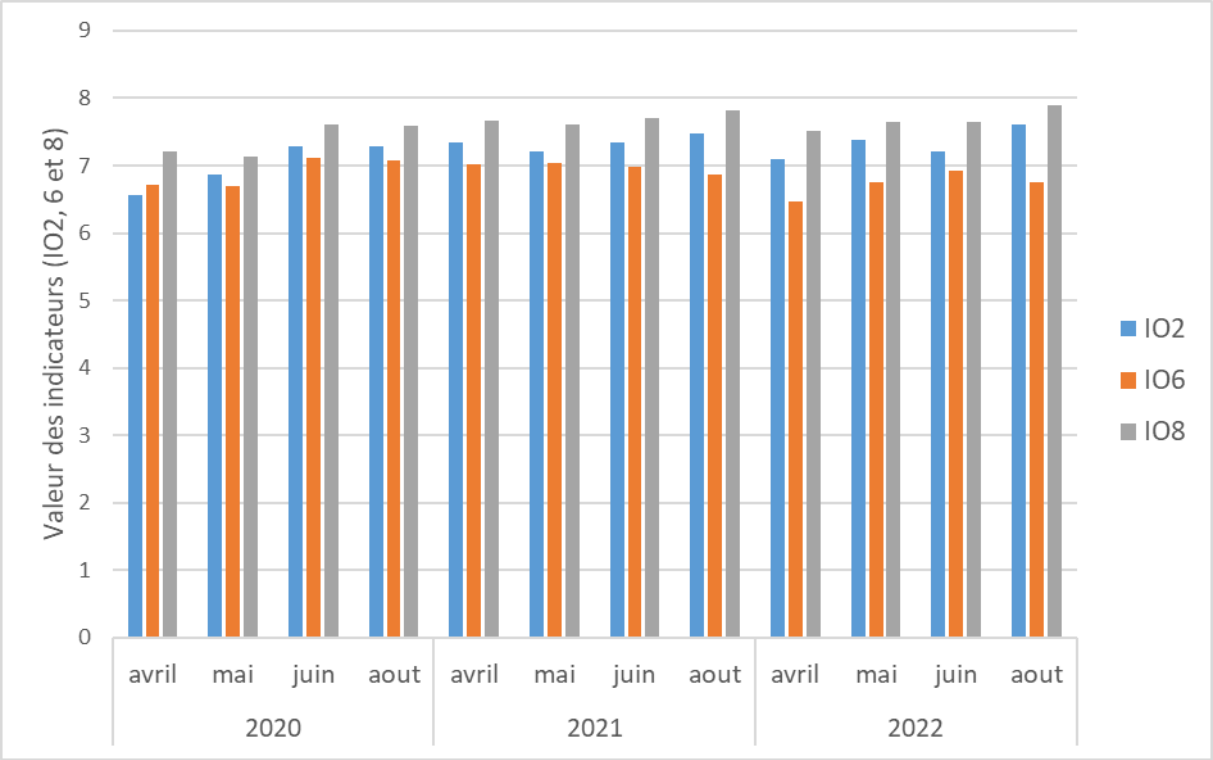


Figure 26: valeur des indicateurs RhoMéo IO2, IO6 et IO8 pour chaque date de terrain, secteur Petit Badon E

6. Conclusions et perspectives

En conclusion, le marais de Petit Badon est un marais dont la création récente montre d'ores et déjà des effets positifs sur la faune et la flore typique des marais temporaires locaux. Il est déjà fonctionnel pour une partie de la faune et la présence de banques de graines dans les sols, malgré le creusement, a permis le développement très rapide d'une végétation aquatique abondance quoique peu diversifiée. Cette végétation a probablement contribué de façon importante à limiter les développements de plantes nitrophiles opportunistes (algues et lentilles d'eau). Pourtant, l'état actuel du marais est pourtant encore éloigné des objectifs fixés, à savoir abriter une biodiversité comparable à celle des marais temporaires de référence locaux. Au regard de la bibliographie (Moreno-Mateo et al. 2012), il faudra probablement plusieurs décennies pour y parvenir complètement. Une étude locale (Fontès et al. 2023) a montré qu'un ensemble de mares crées au XIXème siècle et dans les années 70 sont similaires aux mares temporaires de références locales, contrairement à celles créées il y a une dizaine d'années. La gestion hydrologique du marais est artificielle (pompage et apports d'eau gravitaires dans une moindre mesure) et les épisodes de sècheresses intenses ces dernières années associés à une indisponibilité en eau en hiver a conduit à des assec involontaires et dommageable pour la faune et la flore visées. Si cette situation est aujourd'hui maitrisée, le besoin de gestion en eau de ce marais constitue une faiblesse notable dans la réalisation des objectifs de restauration et requiert une vigilance particulière sur le long terme. Enfin, les suivis des conditions du milieu (hydrologie, salinité notamment), de la faune et de la flore sont aujourd'hui nécessaires pour évaluer la trajectoire de marais créé et éventuellement adapter sa gestion en conséquences. La gestion du site (gestion hydrologique, pâturage et gestion des espèces exotiques envahissantes) est une condition nécessaire pour permettre de tendre vers les objectifs fixés.

Références

Bibby C.J., Burgess D., Hill D.A. & Mustoe S., 2000. *Bird Census Techniques*. Elsevier.

Cavé A.J., 1983. *Purple Heron survival and drought in tropical West Africa*. Ardea, 7:217-224.

Delaunois, A., 2006. *Guide simplifié pour la description des sols*. Chambre d'agriculture du Tarn. https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Fertilisation-des-Terres-et-des-Sols/p%C3%A9dologie/physique-des-sols/guide-simplifi%C3%A9-pour-la-description-des-sols.pdf

Den Held J.J., 1981. *Population changes in the Purple Heron in relation to drought in the wintering area*. Ardea, 69:185-191.

Devictor V., Julliard R., Clavel J., Jiguet F., Lee A. & Couvet D., 2008. *Functional Biotic Homogenization of Bird Communities in Disturbed Landscapes*. Global Ecology and Biogeography, 17(2):252-61. https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00364.x.

Fontès H., Grillas P., Dutoit T., Gazaix A. & Mesléard F., 2023. *Evaluation du succès de création de mares temporaires en Camargue. Ce qui est restauré et ce qui ne l'est pas*. Rapport d'étude Tour du Valat / AERMC.

Legendre P. & Gallagher E.D., 2001. *Ecologically meaningful transformations for ordination of species data*. Oecologia, 129(2):271-280. 10.1007/s004420100716.

Moreno-Mateos D., Power M.E., Comín F.A. & Yockteng R., 2012. *Structural and Functional Loss in Restored Wetland Ecosystems*. PLoS Biol 10, e1001247. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001247

Tamisier, A. & Grillas, P., 1994. *A review of habitat changes in the camargue: An assessment of the effects of the loss of biological diversity on the wintering waterfowl community*. Biological Conservation, 70 :39–47. https://doi.org/10.1016/0006-3207(94)90297-6

Annexe 1. Liste des 116 espèces observées sur la zone d'étude entre 2020 et 2022 lors des suivis réalisés ou hors protocoles (données personnelles Yves Kayser, Thomas Dagonet & Anthony Olivier ; en gras, les espèces notées sur le marais créé)

Tadorne de Belon	***Tadorna tadorna***
Canard chipeau	***Mareca strepera***
Canard colvert	***Anas platyrhynchos***
Sarcelle d'été	***Spatula querquedula***
Canard souchet	***Spatula clypeata***
Faisan de Colchide	*Phasianus colchicus*
Grand Cormoran	*Phalacrocorax carbo*
Bihoreau gris	***Nycticorax nycticorax***
Crabier chevelu	***Ardeola ralloides***
Héron garde-boeufs	***Bubulcus ibis***
Aigrette garzette	***Egretta garzetta***
Héron cendré	***Ardea cinerea***
Héron pourpré	***Ardea purpurea***
Cigogne blanche	*Ciconia ciconia*
Ibis falcinelle	***Plegadis falcinellus***
Spatule blanche	*Platalea leucorodia*
Flamant rose	***Phoenicopterus roseus***
Grèbe castagneux	***Tachybaptus ruficollis***
Milan noir	*Milvus migrans*
Circaète Jean-le-Blanc	*Circaetus gallicus*
Busard des roseaux	***Circus aeruginosus***
Busard Saint-Martin	***Circus cyaneus***
Epervier d'Europe	*Accipiter nisus*
Buse variable	*Buteo buteo*
Aigle botté	*Hieraaetus pennatus*
Aigle de Bonelli	*Aquila fasciata*
Balbuzard pêcheur	***Pandion haliaetus***
Râle d'eau	***Rallus aquaticus***
Gallinule poule-d'eau	***Gallinula chloropus***
Foulque macroule	***Fulica atra***
Grue cendrée	***Grus grus***
Oedicnème criard	*Burhinus oedicnemus*
Echasse blanche	***Himantopus himantopus***
Pluvier doré	***Pluvialis apricaria***
Grand Gravelot	***Charadrius hiaticula***
Petit Gravelot	***Charadrius dubius***
Vanneau huppé	***Vanellus vanellus***
Gravelot à collier interrompu	***Charadrius alexandrinus***
Combattant varié	***Calidris pugnax***
Bécasseau variable	***Calidris alpina***
Chevalier guignette	***Actitis hypoleucos***
Chevalier culblanc	***Tringa ochropus***
Chevalier arlequin	***Tringa erythropus***

Chevalier aboyeur	***Tringa nebularia***
Bécassine des marais	***Gallinago gallinago***
Sterne naine	***Sternula albifrons***
Sterne hansel	***Gelochelidon nilotica***
Sterne caspienne	***Hydropogne caspia***
Guifette moustac	***Chlidonias hybrida***
Goéland railleur	*Chroicocephalus genei*
Mouette rieuse	***Chroicocephalus ridibundus***
Mouette mélanocéphale	***Ichtyaetus melanocephalus***
Goéland leucophée	***Larus michahellis***
Pigeon domestique	***Columba livia (dom.)***
Pigeon ramier	*Columba palumbus*
Tourterelle turque	*Streptopelia decaocto*
Tourterelle des bois	*Streptopelia turtur*
Coucou gris	*Cuculus canorus*
Hibou des marais	*Asio flammeus*
Grand-duc d'Europe	*Bubo bubo*
Martinet noir	*Apus apus*
Huppe fasciée	*Upupa epops*
Guêpier d'Europe	*Merops apiaster*
Martin-pêcheur d'Europe	***Alcedo atthis***
Pic épeiche	*Dendrocopos major*
Pic épeichette	*Dryobates minor*
Faucon crécerellle	*Falco tinnunculus*
Faucon hobereau	*Falco subbuteo*
Loriot d'Europe	*Oriolus oriolus*
Pie-grièche à tête rousse	*Lanius senator*
Choucas des tours	*Coleus monedula*
Corneille noire	*Corvus corone*
Mésange bleue	*Cyanistes caeruleus*
Mésange charbonnière	*Parus major*
Alouette des champs	*Alauda arvensis*
Cochevis huppé	***Galerida cristata***
Hirondelle de rivage	***Riparia riparia***
Hirondelle rustique	***Hirundo rustica***
Hirondelle de fenêtre	*Delichon urbicum*
Bouscarle de Cetti	*Cettia cetti*
Mésange à longue queue	*Aegithalos caudatus*
Pouillot véloce	*Phylloscopus collybita*
Pouillot fitis	*Phylloscopus trochilus*
Fauvette à tête noire	*Sylvia atricapilla*
Fauvette des jardins	*Sylvia borin*
Fauvette mélanocéphale	*Curruca melanocephala*
Fauvette grisette	*Sylvia communis*
Locustelle luscinioïde	*Locustella luscinioides*
Hypolaïs polyglotte	***Hippolais polyglotta***
Rousserolle effarvatte	*Acrocephalus scirpaceus*

Rousserolle turdoïde	*Acrocephalus arundinaceus*
Cisticole des joncs	*Cisticola juncidis*
Troglodyte mignon	*Troglodytes troglodytes*
Etourneau sansonnet	***Sturnus vulgaris***
Merle noir	*Turdus merula*
Grive musicienne	*Turdus philomelos*
Grive mauvis	*Turdus iliacus*
Gobemouche gris	*Muscicapa striata*
Rougegorge familier	*Erithacus rubecula*
Rossignol philomèle	*Luscinia megarhynchos*
Rougequeue à front blanc	***Phoenicurus phoenicurus***
Tarier des prés	***Saxicola rubetra***
Tarier pâtre	***Saxicola rubicola***
Traquet motteux	*Oenanthe oenanthe*
Accenteur mouchet	*Prunella modularis*
Moineau domestique	*Passer domesticus*
Bergeronnette printanière	***Motacilla flava***
Bergeronnette des ruisseaux	***Motacilla cinerea***
Bergeronnette grise	***Motacilla alba***
Pipit farlouse	***Anthus pratensis***
Pipit à gorge rousse	***Anthus cervinus***
Pinson des arbres	*Fringilla coelebs*
Verdier d'Europe	*Chloris chloris*
Chardonneret élégant	*Carduelis carduelis*
Bruant proyer	*Emberiza calandra*
Bruant zizi	*Emberiza cirlus*