



## Programme d'étude sur l'évolution de la biodiversité en lien avec la gestion de l'eau dans le Marais poitevin

**Caractérisation des stations et des zones de suivi sur le plan environnemental.**

**Rapport complémentaire au rapport d'analyse des données  
« biodiversité » acquises en 2014-2015-2016 dans 11 zones du  
Marais poitevin.**

Auteurs :

Gore Olivier, Mauchamp André, Bergerot Benjamin, Paillisson Jean-Marc, et Bonis Anne



**Mars 2018  
Unité Mixte de Recherche ECOBIO  
CNRS-Université Rennes I**



## Préambule :

Le Marais poitevin constitue la seconde zone humide de France métropolitaine, après la Camargue. Ce territoire très anthropisé, sur lequel l'Homme s'est toujours efforcé de maîtriser l'eau pour permettre sa mise en valeur agricole, présente aussi un fort potentiel pour la biodiversité, et porte des habitats remarquables au niveau européen. Afin de concilier les enjeux environnementaux et économiques, l'Etablissement public du Marais poitevin EPMP a été créé en 2010, pour intervenir sur la gestion de l'eau et de la biodiversité.

L'un des chantiers majeurs de l'établissement consiste à adapter la gestion des niveaux d'eau dans les canaux et les baisses du marais, afin de favoriser l'expression de la biodiversité. Il valorise pour cela l'expertise collective, qui se traduit par des règles de gestion intégrées en partie dans le SDAGE Loire-Bretagne :

- Garantir un niveau d'eau suffisamment élevé en hiver et adapté au début du printemps pour assurer un bon état de conservation des habitats et des espèces,
- Débuter la période d'étiage avec un stock d'eau optimal dans le marais,
- Respecter des niveaux d'eau plus élevés en hiver qu'en été,
- Assurer une transition douce entre niveaux, en particulier entre l'hiver et l'été.

Afin d'assurer une base consolidée à ces règles empiriques, un travail scientifique collaboratif est mené entre l'EPMP et le laboratoire Ecobio (Université de Rennes 1 – CNRS) avec l'appui du PNR du Marais poitevin dans le cadre de l'Observatoire du Patrimoine Naturel.

Les relevés de terrain des années 2014 à 2016 ont fait l'objet de premiers traitements exploratoires, dont les résultats sont présentés dans le présent rapport.

Johann Leibreich, directeur de l'EPMP

## Remerciements :

L'équipe chargée de cette étude au sein de l'unité de recherche ECOBIO (CNRS-Université de Rennes I), a conduit cette première étape de l'étude dédiée à « l'évolution de la biodiversité en lien avec la gestion de l'eau dans le Marais poitevin » en partenariat étroit avec l'EPMP et le Parc Naturel Régional du Marais poitevin.

L'équipe de recherche remercie l'ensemble des partenaires impliqués dans ce travail : les propriétaires des parcelles dans lesquels les suivis se sont déroulés (communes, exploitants agricoles, Conservatoire d'Espaces Naturels, Conservatoire du littoral), les opérateurs qui ont mis en œuvre le travail de terrain (Aquascop, Cap pêche et nature, Hydroconcept, la Ligue de protection des oiseaux, l'association Obios, Ouest Aménagement, l'UNIMA), les partenaires de l'Observatoire du Patrimoine Naturel et institutionnels (syndicats de marais, syndicats mixtes), le Forum des Marais Atlantiques pour les ressources fournies (bibliographie entre autres) et tous ceux avec lesquels des discussions ont eu lieu en amont ou au cours de cette période 2014-2017.

Au sein de l'UMR EcoBio, nous avons bénéficié de l'aide de Françoise le Moal, Ingénieur d'étude au CNRS (ECOBIO), pour la mise en place de la Base de Données et la remercions. Guillaume Bouger (AI CNRS dans l'UMS S3O OSUR) et Olivier Jambon (IE, UMR EcoBio) ont apporté leur soutien pour les installations et la gestion des données des sondes piézométriques de suivi des niveaux d'eau.

Citation de ce rapport sous la forme suivante :

**Gore Olivier, Mauchamp André, Bergerot Benjamin, Paillisson Jean-Marc et Anne Bonis, 2018, Caractérisation des stations et des zones de suivi sur le plan environnemental, Rapport de l'UMR ECOBIO CNRS-Université Rennes I –EPMP**

# Table des matières

Introduction.....	4
1. Méthode : caractérisation des variables environnementales.....	6
1.1 Source de données.....	6
1.2. Localisation et dates.....	7
Rappels sur la localisation spatiale des suivis.....	7
Les échelles spatiales et temporelles des variables environnementales.....	10
1.3 Méthodes d'acquisition.....	11
Gestion agricole .....	11
Variables paysagères.....	12
Topographie.....	14
Quantité d'eau.....	15
2. Caractérisation des sites étudiés.....	19
2.1 Gestion agricole.....	19
2.2 Paysage.....	19
Occupation du sol.....	19
Densité du réseau de canaux.....	21
Haies.....	23
Salinité des nappes et type de sol.....	23
Type de canal.....	24
Gabarit des canaux.....	24
2.3 Topographie (altitude).....	26
2.4 Qualité eau.....	27
Composés azotés et phosphatés.....	27
Conductivité de l'eau des canaux.....	28
Carbone organique dissous.....	29
Saturation en oxygène.....	30
Turbidité.....	30
2.5 Quantité Eau.....	31
Durée d'inondation des groupements de végétation.....	31
Stress hydrique des groupements de végétation.....	32
Surface de prairie inondée au printemps.....	33
Hauteur d'eau dans les canaux.....	34
Potentiel d'assèchement des canaux.....	34
Niveau d'eau par zone d'étude et pluviométrie.....	35
3. Conclusion.....	38
4. Références.....	39
Annexe I : Caractéristiques détaillées des variables environnementales.....	40

## Introduction

**Ce document accompagne le rapport principal intitulé « Analyse des données biodiversité acquises en 2014-2015-2016 dans 11 zones du Marais poitevin : contrastes entre sites et premières explorations de leurs relations avec les conditions environnementales » (Mauchamp *et al.* 2018). Ces deux rapport ont en commun la présentation des principales variables environnementales et paysagères (ici paragraphes 1.) utilisées dans les analyses de données. Ce présent rapport présente la caractérisation des sites étudiés et permet d'observer d'éventuels contrastes entre zones d'études, ou stations d'échantillonnages.**

L'objectif fixé par l'EPMP pour les suivis dans le Marais poitevin dits 'phase 2' qui font l'objet de ces rapports est d'apprécier l'« évolution de la biodiversité en lien avec les modalités de la gestion de l'eau ». Ces résultats ont été produits dans le cadre d'un « système de veille » visant à examiner l'impact du régime hydrique, parmi d'autres facteurs potentiellement d'influence sur la biodiversité de la zone humide du Marais poitevin, et en particulier d'étudier ses liens avec les niveaux d'eau (Bonis *et al.* 2013).

Dans cet objectif, deux types d'habitats (canaux et prairies inondables) et sept groupes d'espèces ou communautés (limicoles, poissons, odonates, amphibiens, écrevisses, végétation des canaux et végétation prairiale) ont été initialement choisis pour leur représentativité de la biodiversité du Marais poitevin et leur sensibilité au régime hydrique. De la sorte, ces groupes seraient, par suite, les plus susceptibles d'être modifiés par des contrastes de niveaux d'eau. Examiner l'impact de changements de gestion de l'eau sur ces composants de la biodiversité demande de disposer 1- de contrastes de conditions environnementales –et en particulier de contrastes de conditions liés au régime hydrique– qui puissent être mis en relation avec 2- certains états de la biodiversité et leurs contrastes éventuels. Le fil rouge de ce travail d'analyse sur trois années de données est donc la recherche de contrastes sur le plan 'biodiversité' que l'on cherche à expliquer par des contrastes de conditions environnementales, dont le régime hydrique.

A l'heure actuelle, la connaissance de la réponse de la structure de la biodiversité à des variations fines de la gestion quantitative des niveaux d'eau reste du domaine de la recherche académique aussi bien en habitat de prairies, de canaux ou de berges (Lehmann *et al.* 1997, Amoros *et al.* 2000, Riis *et al.* 2001, Baattrup-Pedersen *et al.* 2006, Haury *et al.* 2006, Paillisson et Marion 2006, Grinberga 2010, Bornette et Puijalon 2011). Ce travail permettra d'apporter une contribution significative à ce champ de connaissance.

Par conséquent, un effort substantiel a été accordé dans notre travail à la caractérisation des conditions environnementales, conditions qui constituent la grille de lecture explicative privilégiée des contrastes de biodiversité qui pourraient être mis en évidence. En la matière, quelques points importants doivent être soulignés :

1-Le choix des zones d'études par l'EPMP a été fait de façon à ce que le suivi sur la biodiversité soit conduit sur des zones/secteurs contrastés sur le plan de la gestion hydrique. Néanmoins, ces contrastes ont été appréciés en 2013 sur la base d'informations lacunaires et qui concernent soit le point nodal pour leur gestion ou le casier hydraulique de façon générale et 'en moyenne'. Pour relier les données de suivi 'biodiversité' à des conditions environnementales effectives au niveau des habitats 'prairies' et 'canaux' des sites de suivi, il était donc nécessaire de caractériser le plus complètement et précisément possible les conditions environnementales des différentes stations et zones de suivi.

2- le régime hydrique est un facteur environnemental composite. Il pilote en effet une diversité de conditions (ou variables) environnementales, par exemple :

- les conditions de niveau d'eau dans les canaux et les prairies, qui peuvent en effet être très variables d'une période à l'autre de l'année et la période déterminante peut être différente d'un taxon ou groupe taxonomique à l'autre,
- la cinétique de variation des niveaux d'eau,
- la date d'étiage et de remise en eau,
- l'occurrence ou non d'un assèchement.

Ainsi que, dans les prairies :

- le patron (spatial et temporel) d'inondation et de teneur en eau du sol,
- la durée et le calendrier de l'inondation et de l'assec,
- la dynamique de changements,
- l'occurrence ou non d'un événement extrême (assec ou inondation), etc.

Potentiellement, l'ensemble de ces différentes variables relatives au régime hydrique peuvent influencer la biodiversité d'intérêt dans ce travail, *via* la fréquence ou l'abondance des populations et la composition des assemblages (*i.e.* des communautés), dans les canaux comme dans les prairies. Il convient donc de les décrire et de les caractériser, idéalement de façon quantitative et directe, ou *via* des indicateurs ou variables intermédiaires dits « proxies » si les variables ne sont pas mesurables directement ou au point exact de mesure de la biodiversité.

3- Si l'objectif de l'étude vise essentiellement à mettre en évidence un éventuel effet des conditions de régime hydrique sur la biodiversité, il ne peut être ignoré que d'autres variables environnementales que celles relatives au régime hydrique peuvent impacter la biodiversité animale et végétale des canaux et prairies. Pour apprécier l'effet du régime hydrique, et simultanément identifier les clés de pilotage de la biodiversité de façon générale, il est donc nécessaire d'en tenir compte dans l'analyse de la biodiversité. A cette fin, nous avons identifiés les variables environnementales pouvant impacter les différents groupes taxonomiques suivis puis nous avons caractérisé chacune des zones de suivi en conséquence, qui sont donc 1- différentes dimensions du régime hydrique, et, 2- d'autres contrastes environnementaux qui peuvent présenter un effet seul, ou en interaction, avec les conditions de régime hydrique.

## 1. Méthode : caractérisation des variables environnementales

La réflexion concernant le choix et l'acquisition des variables environnementales est présentée dans le rapport d'étude de Bonis *et al.* (2013). Ces variables, présentées dans le tableau 1, sont classées en 5 grandes catégories : variables relatives au paysage, variables relatives à la gestion agricole, variables décrivant la qualité de l'eau des canaux, variable décrivant la topographie et variables relatives à la quantité d'eau. Plusieurs variables peuvent être décrites pour caractériser une catégorie donnée, dans une zone de suivi donnée.

Dans la littérature, il existe peu de protocoles standards pour caractériser les variables environnementales. L'environnement peut en outre être décrit pour une diversité de périodes ou dates de référence, de sources de données ou de modes de calculs, qui peuvent tous modifier substantiellement le résultat. Il est donc essentiel de bien préciser dans le détail le mode de mesure conduisant aux données relatives à l'environnement.

### 1.1 Source de données

Plusieurs sources d'information ont permis d'élaborer les variables environnementales pour chacune des zones d'étude dans ce travail :

- Sources EPMP : en tant que porteur de projets, il est le principal pourvoyeur de variables. Des données de base peuvent être récoltées spécifiquement pour cette étude dans le cadre du marché public faisant intervenir différents opérateurs de terrain (OBIOS, AQUASCOP) ou dans le cadre du contrat de coopération avec le laboratoire ECOBIO.
- Sources EPMP/ECOBIO : pour les données relatives à l'occupation du sol, a été utilisée une cartographie par télédétection commandée par l'EPMP au laboratoire ECOBIO dans le cadre de la cartographie de la zone Natura2000 (Rapinel *et al.* 2015a).
- Données EPMP/université de Poitiers : un partenariat entre l'EPMP et l'université de Poitiers a permis l'obtention de données sur la structure des sols des 11 zones d'études (Dudoignon *et al.* 2016) .
- Données UNIMA : l'UNIMA, le FMA et l'université de la Rochelle développent un projet visant à élaborer un indicateur de fonctionnement trophique du compartiment aquatique des zones humides. Le partenariat en cours avec l'EPMP permet de disposer des données de qualité de l'eau sur les 11 zones d'étude.
- Données IGN : des données de références (BD topo, Litto3D®) détenues par l'EPMP ont été mises à disposition pour calculer certaines variables paysagères et relatives aux quantités d'eau (inondation).
- Données météo France : les données de pluviométrie ont été fournies par MétéoFrance via la convention existante avec l'UMR ECOBIO. Elles proviennent de différentes stations météorologiques disponibles sur le territoire.
- Données de niveau d'eau issues du SIEMP (système d'information sur l'eau du Marais poitevin <http://siemp.epmp-marais-poitevin.fr/> ) mises à disposition par plusieurs fournisseurs : EPMP/ECOBIO ; IIBSN ; CD 85 ; SIEAGH du Curé.

*Tableau 1 : Différentes variables environnementales, par catégories, prises en compte pour caractériser stations et zones d'études, nombre de mesures permettant de les décrire et échelle spatiales renseignée (voir paragraphe 2.1).*

Catégorie	Type de variable	Nb de variables	Source	Échelle spatiale
Gestion agricole	Pratiques agricole	1	EPMP	Zone limicole
Paysage	Densité de réseau de canaux	9	IGN	Zone limicole
	Gabarit canal	3	EPMP	Canaux
	Occupation du sol	13	EPMP/ECOBIO	Zone limicole et canaux
	Présence et importance des haies	1	EPMP/ECOBIO	Canaux
	Salinité des nappes superficielles	1	EPMP / Univ Poitiers	Zone limicole
	Type de canal	1	PNR Marais Poitevin	Canaux
	Type de sol	1	EPMP / Univ Poitiers	Zone limicole
Qualité de l'eau	Carbone organique dissous	1	UNIMA	Zone limicole
	Teneur en Chlorophylle a	1	UNIMA	Zone limicole
	Coordonnées ACP	2	UNIMA	Zone limicole
	Composés azotés	3	UNIMA	Zone limicole
	Conductivité	4	UNIMA / EPMP	Zone limicole et canaux
	O2	1	UNIMA	Zone limicole
	Phosphates	1	UNIMA	Zone limicole
	Turbidité	1	EPMP	Canaux
Topographie	Altitude des groupements homogènes	1	EPMP / IGN	Groupements de végétation prairial
	Altitude moyenne par zone	1	EPMP / IGN	Zone limicole
Quantité eau	Durée d'inondation des groupements de végétation	30	SIEMP / IGN	Groupements de végétation prairial
	Hauteur d'eau dans les canaux	13	SIEMP	Canaux
	Niveau d'eau global par zone	12	SIEMP / IGN	Zone limicole
	Pluviométrie	8	Météo France	Zone limicole
	Probabilité d'assèchement des canaux	1	SIEMP	Canaux

## 1.2. Localisation et dates

### Rappels sur la localisation spatiale des suivis

Le Marais poitevin avoisine les 1000 km<sup>2</sup> et collecte les eaux de différents bassins versants. Il est constitué d'une multitude d'unités hydrauliques qui communiquent de proche en proche vers les exutoires. Chaque unité hydraulique est caractérisée par une gestion de l'eau qui lui est propre. L'EPMP en a sélectionné 11 en 2013, qui correspondent aux 11 secteurs sur lesquels ont été déployés le dispositif de suivi de la biodiversité.

Les différences de superficie entre les secteurs (de 3300 ha à 260 ha), et la nécessité de travailler sur des zones de tailles plus homogènes pour suivre les populations de limicoles ont conduit à définir des **zones d'études** (302 à 365 ha, tableau2).

Tableau 2 : Caractéristiques générales des zones où ont été réalisées les suivis de biodiversité.

#	Nom	Taille de la zone (ha)	Zone d'étude (ha)	Désignation « habituelle »	Voie principale pour les apports d'eau
1	Longeville	1152	352	Marais intermédiaire, prairial subsaumâtre	Eau météorique + débordement (rare).
2	Luçon	1028	313	Marais mouillé, prairial subsaumâtre	Bonne connexion canaux/baisses, Eau météorique principalement.
3	Champagné	1994	301	Marais desséché, prairial subsaumâtre	Connexion TB, eau météorique sans doute dominante.
4	Nalliers	3341	323	Marais mouillé, prairial subsaumâtre	Déconnecte. Eau météorique. Débordement exceptionnel.
5	Boissière	1560	365	Marais desséché, prairial subsaumâtre	Déconnecte ou presque. Eau météorique.
6	Le Poiré	262	337	Marais mouillé, fond de vallée, prairial oligo-saumâtre	Apports météoriques quasi exclusifs. Depuis 2014, baisses gérées par ouvrages pour limiter l'évacuation. Aucune données de niveau d'eau avant la sonde posée en 2015.
7	Sainte Christine	1774	326	Marais mouillé, fond de vallée, prairial doux	Bonne perméabilité vis-à-vis des canaux.
8	Le Mazeau	2905	337	Marais mouillé, fond de vallée, prairial doux	Bonne perméabilité vis-à-vis eau des canaux.
9	St Hilaire marais sauvage	933	331	Marais mouillé, fond de vallée, prairial doux	Des débordements.
10	La Ronde	2263	302	Marais mouillé, fond de vallée, prairial doux	Des débordements.
11	Nuaillé	807	355	Marais mouillé, fond de vallée, prairial doux	Connexion totale canaux/prairies. Débordements récurrents. Jusqu'à 1m50 d'eau.

Tous les suivis de biodiversité ont été déployés au sein de ces 11 zones d'étude (figure 1). Les zones d'études sont choisies pour inclure les zones basses des secteurs et présenter les caractéristiques paysagères les plus équivalentes possibles aux deux échelles (assolement, densité de canaux, végétalisation des berges etc.). La figure 2 ci-après illustre, avec l'exemple du secteur 3, trois caractéristiques paysagères (linéaires de canaux, assolement et altitude) aux échelles du secteur (emprise de la carte) et de la zone d'étude.

Dans un seul cas, la zone 6 (Le Poiré), la zone d'étude est un peu plus étendue que le secteur /casier hydraulique, trop petit pour tous les dispositifs de suivi) et il inclut quelques parcelles périphériques ayant un fonctionnement hydraulique similaire. Des cartes détaillées des zones, zones d'étude et des stations d'échantillonnage, sont présentées dans l'atlas cartographique numérique téléchargeable à l'adresse : <http://www.epmp-marais-poitevin.fr/etude-biodiversite/>).

Les zones d'études sont choisies pour inclure les zones basses des secteurs et présenter les caractéristiques paysagères les plus équivalentes possibles aux deux échelles (assolement, densité de canaux, végétalisation des berges etc.).



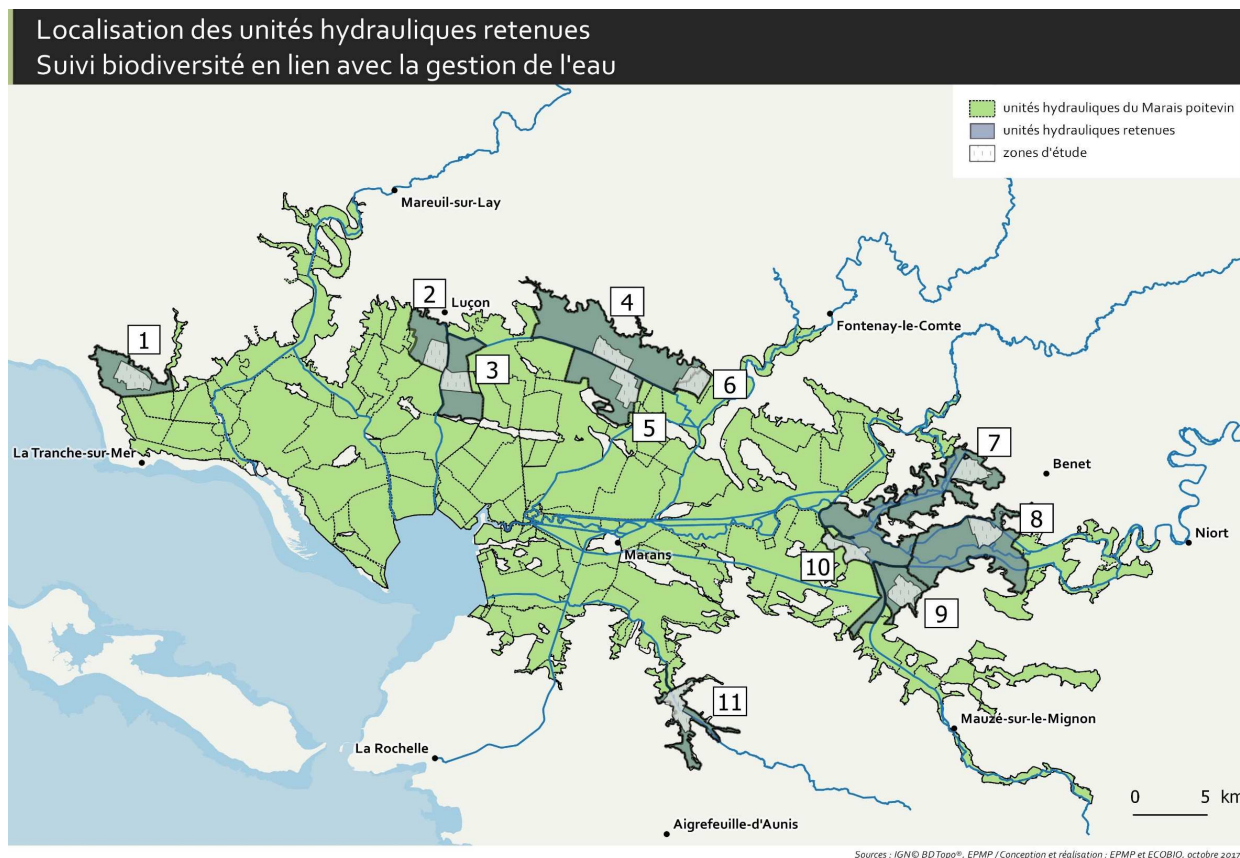


Figure 1 : Localisation des zones de suivi au sein du Marais poitevin.



Figure 2 : linéaire de canaux, assolement et altitude aux échelles secteur et zone d'étude sur le secteur 3 – Champagné-les-Marais.

Les stations de suivi de la biodiversité se répartissent donc au sein de ces zones d'étude. La figure 3 présente un exemple de localisation de stations dans une zone d'étude. On remarque que certaines stations sont superposées.

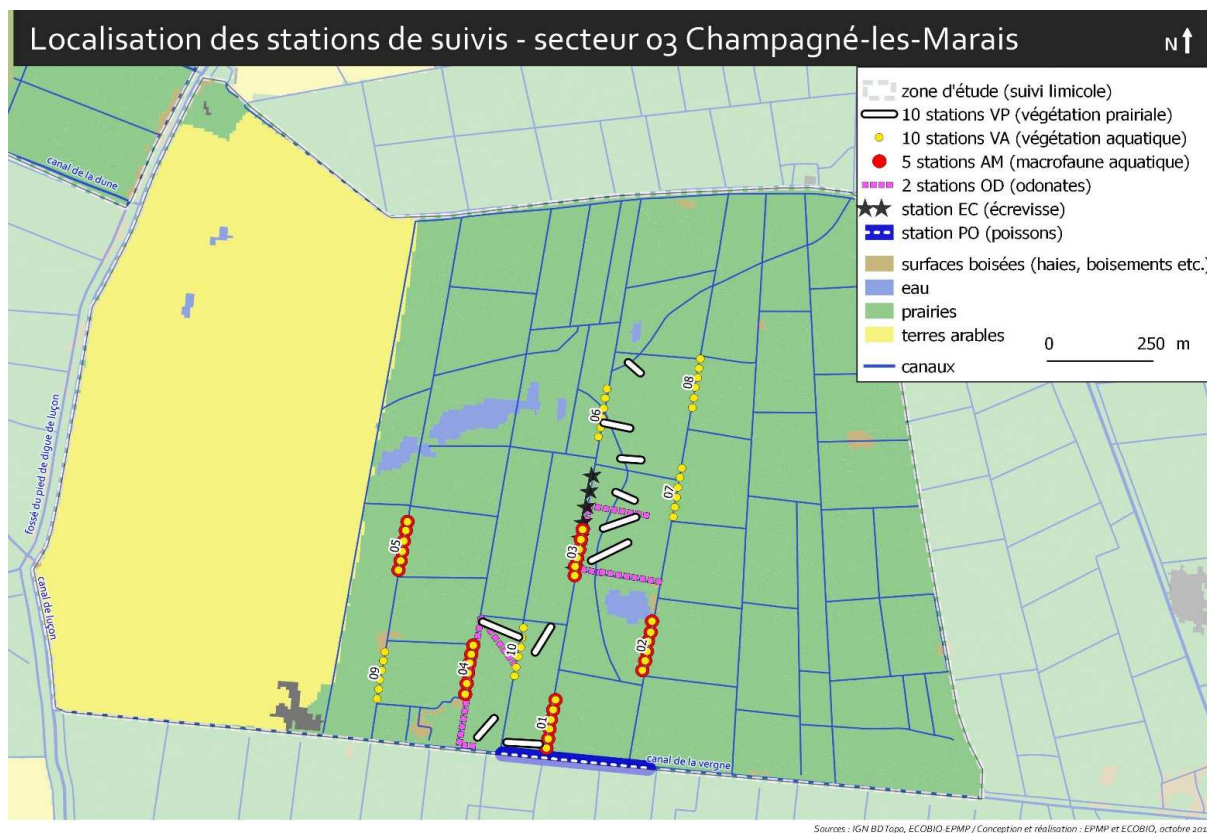


Figure 3 : Localisation des stations de suivis sur la zone d'étude 3 – Champagné le Marais.

Des portions de canaux ont été mutualisées pour différents suivis. Ainsi, une portion de canal accueillant une station AM (100 mètres) accueille également une station VA (125 mètres). Pour chaque station OD (500 mètres) une partie du parcours longe la berge d'une station VA. De même, la station EC (250 mètres) inclue une portion de canal utilisée pour la végétation aquatique et la macrofaune aquatique. Cette mutualisation permet entre autre la mise en commun de mesures effectuées sur le terrain ou de calculs via le SIG.

## Les échelles spatiales et temporelles des variables environnementales

Les variables environnementales sont acquises aux mêmes échelles spatiales que les données de biodiversité, pour mémoire :

- les zones d'étude : des variables sont calculées sur l'emprise des zones d'étude (proportion de prairie, linéaires de canaux etc.) ou considèrent une mesure applicable à toute la zone (pluviométrie, certains paramètres physico chimiques etc.)
- les stations de type portions de canaux : les variables mesurées à cette échelle peuvent concerner les canaux suivis pour la végétation des canaux, la macrofaune aquatique, les odonates, les écrevisses et les poissons. Elles sont mesurées ponctuellement (turbidité, gabarit, haies etc.), ou sur des surfaces tampon de 100m ou 500m autour des portions de canaux étudiées (occupation du sol par exemple).
- les groupements de végétation prairiale : des variables mesurées au sein des stations VP (voir figure 4) (altitude des groupements et durée d'inondation des groupements).

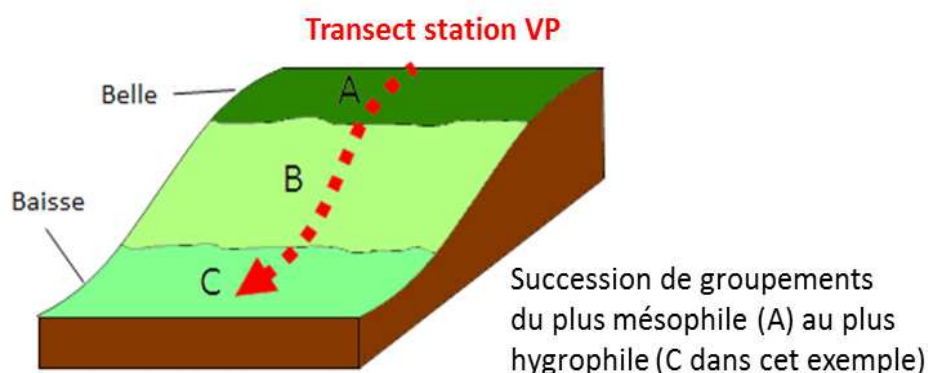


Figure 4 : Schéma d'un transect VP avec 3 groupements de végétation homogène

Les données servant à calculer les variables ont soit été acquises lors de l'état initial de 2014, soit sont récoltées au fil des ans, à différentes fréquences. Comme la fréquence d'acquisition, les calculs des variables présentant une dimension temporelle peuvent être répétés sur différentes périodes (une valeur tous les ans ; calcul bimestriel : une valeur tous les 2 mois).

Le tableau 3 présente synthétiquement les modes d'acquisition des données de base, une typologie des données récoltées et les échelles temporelles auxquelles elles sont considérées dans ce travail d'analyse.

Tableau 3 : Acquisitions et typologie des données de base pour le calcul des variables.

Acquisition de la donnée de base	Type de données de base	Echelle temporelle
Données récoltées lors de l'état initial de caractérisation des stations de suivis.	Relevés de terrain, enquêtes, couche SIG et données topographiques.	Une seule valeur pour les 3 années.
Données récoltées lors des relevés faune/flore.	Mesures au moment des suivis.	Une valeur par année.
Données issues du programme indicateur du fonctionnement trophique.	Mesures bimestrielles in situ et analyses laboratoire depuis mars 2015.	Une valeur moyenne répliquée chaque année.
Données de type "niveau d'eau" issues de capteurs de mesure.	<u>Mesures horaire de niveau d'eau par sondes d'enregistrement</u> : piézométrique depuis novembre 2014 et niveau d'eau de surface (canaux) à partir de janvier 2014 sauf pour zones 3, 6 et 9 (novembre 2014).	<u>Calculs annuels</u> ou par périodes répétées chaque années. <u>Bimestrielle</u> : un calcul par couple de mois (jan/fév...).
	<u>Données pluviométrie (P)</u> journalières.	

### 1.3 Méthodes d'acquisition

Ci-après, les modes d'acquisitions des variables candidates sont décrits et synthétisés dans une table par catégorie de variable. Un tableau synthétique global est par ailleurs présenté annexe I.

## Gestion agricole

L'habitat ciblé dans cette étude est la prairie de marais. Des lots de parcelles, sélectionnés en 2014, accueillent les suivis sur le pré même (stations VP, OD) ou en pourtour (stations VA, AM,

EC, OD). Ces parcelles ont été choisies pour être les plus représentatives possible des prairies et des pratiques agricoles de chaque casier hydraulique. Une enquête de terrain apporte des informations précises sur les pratiques appliquées à chaque parcelle. Comme les pratiques sont composites, diversifiées (usages, chargement, date de mise à l'herbe etc.) et peuvent parfois varier entre années, seule une caractérisation de la pratique dominante, à priori stable et fiable, a été retenue : Fauche, pâturage bovins, fauche/pâturage et pâturage bovins/équins.

Tableau 4 : Variables de la catégorie « gestion agricole ».

Type de variable	Description de la variable et donnée de base	Unité, échelle spatiale, répétition temporelle
Usage agricole	4 classes d'usage : fauche « f », pâturage « p », fauche et pâturage « fp » et pâturage avec chevaux « pe ». D'après Enquête auprès des exploitants.	Classe d'usage par zone d'étude répliquée sur les 3 années.

## Variables paysagères

La catégorie des variables relatives au paysage mobilise un grand nombre de sources de données différentes (tableau 1). Les variables peuvent également être considérées à différentes échelles spatiales. Elles présentent en revanche peu de variabilité temporelle sur la période 2014-2016 et sont pour la plupart majoritairement calculées une fois pour la période 2014-2016.

Tableau 5 : Variables de la catégorie « paysage ».

Type de variable	Description de la variable et donnée de base	Unité, échelle spatiale, répétition temporelle
Occupation du sol	Proportions d'assolement en bois, eau libre, cultures, prairies. Construites via SIG.	Proportions (%) sur 2 surfaces tampon autour des stations VA, AM (0 à 100m) et OD (0 à 500m) répliquée sur 3 années.
		Proportions (%) par zone d'étude, répliquée sur 3 années.
	Surface des mares et plans d'eau. Construite via SIG.	Surface (ha) par zone d'étude, répliquée sur 3 années.
Densité de réseau de canaux	Linéaire des canaux primaires, secondaires et tertiaires sur zone d'étude. Construite via SIG.	Longueur de 3 types de canaux (m) sur 2 surfaces tampon autour des stations VA, AM (0 à 100m) et OD (0 à 500m) répliquée sur 3 années.
		Longueur de 3 types de canaux (m/ha) par zone d'étude, répliquée sur 3 années.
Importance des haies	Score = linéaire de haies*score de largeur houppier*score de hauteur houppier. Construite d'après relevé de terrain.	Score de haie par station VA et AM, répliqué sur 3 années.
Salinité des nappes superficielles	4 classes selon typologie des nappes. Construite d'après relevé de terrain.	Classe de nappe par zone d'étude. Répliquée sur 3 années.
Type de canal	Typologie locale selon 3 classes : Primaire, secondaire ou tertiaire. Construite via SIG.	Classe de canal par zone d'étude, répliquée sur 3 années.
Type de sol	3 classes : argile, tourbe ou mixte. Construite d'après relevé de terrain.	Classe de sol par zone d'étude, répliquée sur 3 années.
Gabarit canal	Hauteur de vase, mesurée sur le terrain au moment des suivis.	Une valeur (m) par station PO, une fois par an.
	Hauteur d'eau * largeur canal, mesurée sur le terrain au moment des suivis.	Une valeur (m2) par station PO, une fois par an.
	Hauteur d'eau moyenne mai/juin * largeur canal. Construite d'après relevé de terrain et données des sondes eau de surface (SC).	Une valeur (m2) par station VA et AM. Mesurée une fois par an.



### **Occupation du sol :**

Il s'agit de variables en général stables à l'échelle de 3 années. L'analyse SIG montre que les transitions entre les 4 états considérés, cultures, prairies, boisements et plans d'eau, étant très rares (concernant surtout quelques boisements) et représentant de très faibles changements de % d'occupation des sols. La cartographie des habitats par télédétection (Rapinel et al. 2015) a été utilisée pour déterminer leurs proportions. Elles sont exprimées en % à l'échelle globale de la zone d'étude (4 variables) ou plus localement sur différents périmètres autour des stations de type canaux (PO 4 variables, VA, AM, OD 8 variables (4 variables\*2 intervalles tampons)). Une variable surface des mares a également été calculée sous SIG à partir de photos aériennes.

### **Densité de réseau hydraulique :**

Les données sont issues d'une couche cartographique regroupant les linéaires des 3 catégories de canaux. On considère donc une modalité pour chacun des 3 types de canaux. Comme pour l'assolement, la densité du réseau est évaluée à l'échelle globale de la zone d'étude (3 variables, exprimés en m/ha) et plus localement sur 2 surfaces tampon autour des stations VA, AM et OD (6 variables, exprimées en m). Comme les canaux ne communiquent entre eux que lorsqu'ils sont dans le même casier hydraulique, les canaux situés dans une surface tampon mais hors de l'unité hydraulique ne sont pas comptabilisés. Ainsi les surfaces tampon qui empiètent sur un casier hydraulique voisin n'auront pas la superficie des surfaces tampon incluses intégralement dans le casier hydraulique. Le linéaire calculé représente donc le réseau « accessible » dans les différents rayons autour de la station.

### **Présence et importance des haies :**

Les haies des deux berges bordant chaque stations VA ont été caractérisées lors de l'état initial de 2014. Les stations mesurent 125 mètres, des scores sont attribués aux linéaires qu'occupent les houppiers sur les deux berges en fonction de la hauteur et de la largeur des houppiers et du linéaire qu'ils occupent.

### **Typologie des nappes superficielles :**

Les données sont issues d'une étude réalisées par l'université de Poitiers sur les 11 zones d'étude (Dudoignon *et al.* 2016) . Elle permet de former 4 catégories en fonction de la salinité des nappes superficielles :

- 1 seule nappe de forte salinité (17-18 g/l) codé « nappe1fs »
- 2 nappes moyennement à fortement salées : 9-13g/l en surface; 17-20 g/l en profondeur codé « nappe2fs »
- 2 nappes de salinité moyenne: 7 g en surface et 13g/l pour nappe en profondeur codé « nappe2sm »
- 1 seule nappe de faible salinité (1-4 g/l) codé « nappe1sfa »

### **Type de sol :**

Il s'agit de la nature du sol suivant 3 classes : argileux, tourbeux et argilo-tourbeux.

### **Type de canal :**

Classé suivant 3 catégories selon la hiérarchie d'usage dans le Marais poitevin : Primaire (canal principal), secondaire, tertiaire (canaux de délimitation des parcelles).

### **Gabarit du canal :**

2 paramètres sont utilisés à l'échelle des stations poissons : la profondeur de la couche vaseuse, et le gabarit du canal estimé par sa largeur\*la hauteur d'eau, tous deux mesurés lors des pêches électriques. Le même type de mesure de gabarit est utilisés sur les stations de type canal (VA, AM, EC) : largeur moyenne (moyenne de 5 mesures prises lors de l'EI)\*hauteur d'eau moyenne sur la

période des suivis (moyenne sur les mois de mai et juin calculées grâce aux données des sondes de suivi des niveaux d'eau)

### Qualité de l'eau :

Certaines variables sont mesurées sur les stations PO et AM lors des relevés faunistiques, comme la conductivité (suivi poisson) et la turbidité au disque de secchi (suivi macrofaune aquatique). Pour les variables suivantes : CO<sub>2</sub> dissous, Conductivité, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, orthophosphates, NH<sub>4</sub>, ou des paramètres plus élaborés (chlorophylle, 2 coordonnées d'ACP) issus des travaux de l'UNIMA dans le cadre du projet « Elaboration d'un indicateur de fonctionnement trophique du compartiment aquatique des zones de marais » (UNIMA et Forum des Marais Atlantiques 2016). Ils ont été obtenus tous les deux mois, depuis mars 2015, sur un canal de gabarit moyen inclus dans les 11 zones d'étude. Des données identiques ont été acquises dans des canaux d'une diversité de sites de marais de l'ouest ce qui permettra des analyses comparatives. Les variables calculées pour nos zones d'étude sont les moyennes de chaque paramètre (sauf coordonnées ACP) calculés sur toute la période prise en compte auxquelles on ajoute la valeur maximale pour la conductivité.

Tableau 6 : Variables de la catégorie « qualité de l'eau ».

Type de variable	Description de la variable et donnée de base	Unité, échelle spatiale, répétition temporelle
Carbone organique dissous	Moyenne de 11 valeurs (une données tous les deux mois depuis mars 2015). Prélèvement sur le terrain.	Une valeur par zone d'étude (mg/l), répliquée chaque année.
Chlorophylle	Moyenne de 11 valeurs (une données tous les deux mois depuis mars 2015). Prélèvement sur le terrain.	Une valeur par zone d'étude (µg/l), répliquée chaque année.
Classification Qeau - coord ACP	Coordonnées ACP sur données qualité de l'eau.	Répliquée chaque année.
Composés azotés	Moyennes de 11 valeurs de NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> et NKj (une données tous les deux mois depuis mars 2015). Prélèvement sur le terrain.	Trois valeurs (NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> et NKj) par zone d'étude (mg/l), répliquée chaque année.
O <sub>2</sub>	Moyenne de 11 valeurs (une données tous les deux mois depuis mars 2015). Prélèvement sur le terrain.	Une valeur par zone d'étude (%), répliquée chaque année.
Orthophosphates	Moyenne de 11 valeurs (une données tous les deux mois depuis mars 2015). Prélèvement sur le terrain.	Une valeur par zone d'étude (mg/l), répliquée chaque année.
Conductivité	Moyenne et max de 11 valeurs (une données tous les deux mois depuis mars 2015). Prélèvement sur le terrain.	Par zone d'étude, moyenne et maximum (µS/cm), répliquée chaque année.
Conductivité pêche électrique	Conductivité sur le site de la pêche, à la date de la pêche, mesurée sur le terrain.	Une valeur par station PO (µS/cm), une fois par an.
Turbidité	Turbidité disque de secchi lors d'un passage AM, mesurée sur le terrain.	Une valeur par station AM (sans unité), une fois par an.

## Topographie

Pour approcher la topographie des différentes entités, on a précisé les données issues de la couche SIG du programme Litto3D® (méthode Lidar aéroporté) par des points de calibration obtenus par GPS topographique centimétrique (165 à 262 points par zone d'étude et minimum 9 points par station VP). On peut ainsi calculer à deux échelles différentes, l'altitude moyenne de la zone d'étude et l'altitude de la localisation des différents groupements de végétation prairiale. Cette dernière mesure a été rapportée (normée) sur l'altitude du groupement le plus bas de chaque zone de façon à améliorer la comparabilité de la végétation prairiale entre zones d'étude au regard de la durée d'inondation. Les données Lidar corrigées servent aussi de base pour calculer des paramètres de durée d'inondation ou de hauteur d'eau sur les transects de suivi de la végétation prairiale.

Tableau 7 : Variables de la catégorie « topographie ».

Type de variable	Description de la variable et donnée de base	Unité, échelle spatiale, répétition temporelle
Altitude des groupements	Altitude relative / à l'altitude du groupement le plus bas de la zone d'étude, à partir de données GPS topographique et Lidar.	Une valeur par groupement (m).
Altitude moyenne par zone	Altitude moyenne de la zone d'étude, à partir de données GPS topographique et Lidar.	Une valeur par zone d'étude (m), répliquée sur les 3 années.

## Quantité d'eau

Les niveaux d'eau dans les canaux déterminent partiellement l'inondation des parcelles adjacentes. Les descripteurs disponibles sont donc les niveaux d'eau et leurs variations, ainsi que les probabilités d'assèchement (tableau 7). Globalement, des niveaux d'eau élevés peuvent favoriser les communautés hygrophiles et les baisses de niveaux dans les canaux augmenter les risques d'eutrophisation dans les canaux.

Tableau 8: Variables de la catégorie « topographie ».

Type de variable	Description de la variable et donnée de base	Unité, échelle spatiale, répétition temporelle
Durée d'inondation et stress hydrique des groupements de végétation prairiale	Nombre de jours avec présence d'eau à deux seuils d'inondation ( $\geq 0$ cm et $\geq 10$ cm), à partir de données topographie et des niveaux d'eau piézométriques.	Une valeur par groupement (j), un calcul tous les deux mois.
	Nombre de jours avec présence d'eau à 4 seuils d'inondation ( $\geq 0$ cm, $\geq 5$ cm, $\geq 10$ cm et $\geq 15$ cm) 10,5 mois avant les relevés végétation (juillet 201x à 15 mai 201x+1), à partir de données topographie et des niveaux d'eau piézométriques.	Une valeur par groupement (j), un calcul par an.
	Stress hydrique. Nombre de jours avec niveau d'eau < -42cm par période de 2 mois avant les relevés	Une valeur par groupement (j), un calcul tous les deux mois.
	Stress hydrique. Nombre de jours avec niveau d'eau < -42cm 10,5 mois avant les relevés végétation pour chaque groupement (juillet 201x à 15 mai 201x+1), à partir de données topographie et des niveaux d'eau piézométriques.	Une valeur par groupement (j), un calcul par an.
Proportion de prairie inondée au printemps	Pour 4 dates sélectionnées (10, 20, 30 avril et 10 mai), les hauteurs d'eau piézométrique associées donnent les proportions de prairies inondées (zone d'étude à l'exclusion des espaces cultivées, des surfaces d'eau libre et des boisements).	Une valeur par zone d'étude, 4 calculs par an.
Hauteur d'eau dans les canaux	Hauteur d'eau à la date de la pêche électrique, mesurée sur le terrain.	Une valeur (m) par station PO, une fois par an.
Potentiel d'assèchement des canaux	Indice* risque d'assèchement entre 0 (risque nul) et 6 (risque élevé) construite par estimation de l'altitude du fond du canal combinée à la hauteur d'eau mesurée par une sonde "eau de surface".	Une valeur (indice) par canaux VA et AM, répliquée chaque année.
Niveau d'eau zone	Niveaux d'eau superficielle moyens par rapport à l'altitude moyenne de la zone d'étude, calculée par la combinaison de données topographiques et de hauteur d'eau mesurée par sonde piézométrique.	Une valeur (m) par zone d'étude, un calcul tous les deux mois.
Pluviométrie	Cumul des précipitations, mesurées par différentes stations météo France.	Une valeur (mm) par zone d'étude, un calcul tous les deux mois.

### **Durée d'inondation et stress hydrique des groupements de végétation :**

Dans les prairies, des piézomètres ont permis de mesurer le niveau d'eau au-dessus et au-dessous du sol. La durée d'inondation est calculée pour chaque groupement de végétation homogène à partir de leurs altitudes moyennes et des données de hauteur d'eau donnée par la sonde piézométrique. Cette durée est exprimée en jours cumulés sur différents pas de temps (Chaque mois et sur la période du 1er juillet au 15 mai) et à 4 seuils d'inondation (0 cm, 5 cm, 10 cm et 15 cm au-dessus du groupement).

Un autre seuil placé à -42 cm renseigne le stress hydrique, qui peut être déterminant pour ces communautés, calculé sur une période du 01 juillet au 31 mai (Gowing *et al.* 1998, Merlin *et al.* 2015). Ces estimations sont néanmoins calculées de la même façon pour tous les types de sols (arileux ou tourbeux). Elles seront revues ultérieurement pour mieux tenir compte des différences de sols entre les zones.

### **Proportion de prairie inondée au printemps :**

Cette métrique, calculée sur les zones qui accueillent le suivi des limicoles nicheurs, est calculée à partir des données de hauteur d'eau piézométriques et de l'altitude des surfaces en herbe (= zone d'étude à l'exclusion des surfaces cultivées, des surfaces en eau libre (mares, canaux) et des boisements). Pour 4 dates sélectionnées (10, 20, 30 avril et 10 mai), les hauteurs d'eau piézométrique associées donnent les proportions de zone en herbe sous ces seuils, soit les proportions de prairies inondées.

### **Hauteur d'eau dans les canaux :**

La hauteur d'eau dans les canaux est mesurée à différentes périodes et à deux échelles spatiales. La mesure la plus simple est obtenue sur le terrain grâce à une perche graduée en posant la base de la règle à la surface de la couche de vase (à l'échelle de la station PO, mesure prise lors des pêches électriques).

### **Potentiel d'assèchement des canaux :**

Le potentiel d'assèchement est pris en compte via le fond estimé du canal et les chroniques de niveau d'eau. On attribue aux canaux une note de 1 à 6, si sur la période choisie du premier juin 2015 au 31 mai 2016, le niveau d'eau a atteint : 0=jamais moins de 50cm ; 1=moins de 50cm jamais moins de 40cm ; 3=moins de 40cm mais jamais moins de 30cm ; 4=moins de 30 mais jamais moins de 20cm ; 5=moins de 20 jamais moins de 10cm ; 6=assec au moins une fois (assec = moins de 5cm).

### **Niveau d'eau zone d'étude :**

Le niveau d'eau moyen à l'échelle de la zone d'étude est calculé tous les deux mois. On soustrait aux altitudes moyennes bimestrielles des hauteurs d'eau piézométrique l'altitude moyenne de la zone concernée. Les coefficients de variation sont aussi calculés tous les deux mois.

### **Pluviométrie :**

Les totaux bimensuels des précipitations de la station météorologique la plus proche sont utilisés, ainsi que les totaux sur les 9 mois précédant les relevés.

- Station de Sainte Gemme la Plaine : secteurs 1 à 6
- Station de Niort : secteurs 7 à 9
- Station de Marans : secteurs 10 et 11



Tableau 9 : Caractéristiques détaillées des variables environnementales.

Type de variable	Code court	Description de la variable et donnée de base	Unité	Répliquée "R" ou fréquence	Échelle de calcul
Usage agricole	usage	4 classes d'usage : fauche « f », pâturage « p », fauche et pâturage « fp » et pâturage avec chevaux « pe ». D'après Enquête auprès des exploitants.	catégorie	R	zone d'étude
Occupation du sol	bois_rayon*;eau_rayon*;cult_rayon*;prai_rayon*	Proportions d'assolement en bois, eau libre, cultures, prairies. Construites via SIG.	%	R	st canal
	bois;eau;cult;prai		%	R	zone d'étude
	mares	Surface des mares et plans d'eau. Construite via SIG.	ha	R	zone d'étude
Densité de réseau de canaux	I_rayon*;II_rayon*;III_rayon*	Linéaire des canaux primaires, secondaires et tertiaires sur zone d'étude. Construite via SIG.	m	R	zone d'étude
	prim;sec;ter		m/ha	R	zone d'étude
Présence et importance des haies	haie3D	Score = linéaire de haies*score de largeur houppier*score de hauteur houppier. Construite d'après relevé de terrain.	score	R	st canal
Salinité des nappes superficielles	nappe	4 classes selon typologie des nappes. Construite d'après relevé de terrain.	catégorie	R	zone d'étude
Type de canal	ctype	Typologie locale selon 3 classes : Primaire, secondaire ou tertiaire. Construite via SIG.	catégorie	R	st canal + st PO
Type de sol	sol	3 classes : argile, tourbe ou mixte. Construite d'après relevé de terrain.	catégorie	R	zone d'étude
Gabarit canal	hvase	Hauteur de vase, mesurée sur le terrain au moment des suivis.	m	1 x an	st PO
	lxho	Hauteur d'eau * largeur canal, mesurée sur le terrain au moment des suivis.	m2	1 x an	st PO
	lxho	Hauteur d'eau moyenne mai/juin * largeur canal. Construite d'après relevé de terrain et données des sondes eau de surface (SC).	m2	1 x an	st canal
Carbone organique dissous	corg	Moyenne de 11 valeurs (une données tous les deux mois depuis mars 2015). Prélèvement sur le terrain.	mg/l	R	zone d'étude
Chlorophylle	chla	Moyenne de 11 valeurs (une données tous les deux mois depuis mars 2015). Prélèvement sur le terrain.	µg/l	R	zone d'étude
Classification Qeau - coord ACP	uni1;uni2	Coordonnées ACP sur données qualité de l'eau.	-	R	zone d'étude
Composés azotés	no2;no3;nkj	Moyennes de 11 valeurs de NO2, NO3 et NKj (une données tous les deux mois depuis mars 2015). Prélèvement sur le terrain.	mg/l	R	zone d'étude
O2	satO2	Moyenne de 11 valeurs (une données tous les deux mois depuis mars 2015).	%	R	zone d'étude

		Prélèvement sur le terrain.			
Orthophosphates	orthp	Moyenne de 11 valeurs (une données tous les deux mois depuis mars 2015). Prélèvement sur le terrain.	mg/l	R	zone d'étude
Conductivité	cmoy;cmx	Moyenne et max de 11 valeurs (une données tous les deux mois depuis mars 2015). Prélèvement sur le terrain.	µS/cm	R	zone d'étude
Conductivité PO	pocond	Conductivité sur le site de la pêche, à la date de la pêche, mesurée sur le terrain.	µS/cm	1 x an	st PO
Turbidité	turb	Turbidité disque de secchi lors d'un passage AM, mesurée sur le terrain.	-	1 x an	st canal
Altitude des groupements	altcse	Altitude relative / à l'altitude du groupement le plus bas de la zone d'étude, à partir de données GPS topographique et Lidar.	m	R	groupement
Altitude moyenne	lialt	Altitude moyenne de la zone d'étude, à partir de données GPS topographique et Lidar.	m	R	zone d'étude
Durée d'inondation des groupements de végétation	durx12;durx**34 ...durx**1112	Nombre de jours avec présence d'eau à 4 seuils d'inondation ( $\geq 0$ cm, $\geq 5$ cm, $\geq 10$ cm et $\geq 15$ cm) 10,5 mois avant les relevés végétation (juillet 201x à 15 mai 201x+1), à partir de données topographie et des niveaux d'eau piézométriques.	jour	bimestrielle	groupement
	dur0p;dur5p;dur10p;dur15p	Nombre de jours avec présence d'eau à deux seuils d'inondation ( $\geq 0$ cm et $\geq 10$ cm) 10,5 mois avant les relevés végétation (juillet 201x à 15 mai 201x+1), à partir de données topographie et des niveaux d'eau piézométriques.	jour	1 x an	groupement
	dursevp;sevdry	Stress hydrique. Nombre de jours avec niveau d'eau $< -42$ cm 10,5 mois avant les relevés végétation pour chaque groupement (juillet 201x à 15 mai 201x+1) et 11 mois avant (sevdry), à partir de données topographie et des niveaux d'eau piézométriques.	jour	1 x an	groupement
Proportion de prairie inondée au printemps	ppi10av;ppi120av ;ppi30av;ppi10mai	Pour 4 dates sélectionnées (10, 20, 30 avril et 10 mai), les hauteurs d'eau piézométrique associées donnent les proportions de prairies inondées (zone d'étude à l'exclusion des espaces cultivées, des surfaces d'eau libre et des boisements).	%	1 x an	zone d'étude
Hauteur d'eau dans les canaux	poho	Hauteur d'eau à la date de la pêche électrique, mesurée sur le terrain.	m	1 x an	st PO
Potentiel d'assèchement des canaux	assec	Indice* risque d'assèchement entre 0 (risque nul) et 6 (risque élevé) construite par estimation de l'altitude du fond du canal combinée à la hauteur d'eau mesurée par une sonde "eau de surface".	catégorie	R	st canal
Niveau d'eau zone	ho12;ho34... ho1112	Niveaux d'eau superficielle moyens par rapport à l'altitude moyenne de la zone d'étude, calculée par la combinaison de données topographiques et de hauteur d'eau mesurée par sonde piézométrique.	m	bimestrielle	zone d'étude
	cvar12;...cvar1112	Coefficient de variation (écart type/moyenne) du niveau d'eau superficielle à partir de données topographie et des niveaux d'eau des canaux.	-	bimestrielle	zone d'étude
Pluviométrie	pl12;pl34... pl1112 pl9mois	Cumul des précipitations, mesurées par différentes stations météo France.	mm	bimestrielle 1 x an	zone d'étude

\*rayon = 0à100m et 0à500m ; \*\*durx = avec x = 0, 5, 10 ou 15cm.

## 2. Caractérisation des sites étudiés

Les nombreuses variables environnementales mesurées ou calculées permettent de mettre en évidence des contrastes environnementaux et de gestion à différentes échelles : entre grands secteurs de marais (exemple Est versus Ouest), entre zones d'études, au sein des zones d'études donc entre stations, et dans le temps (entre année, et en intra-année).

Ces contrastes sont présentés ci-dessous via l'exploration des données des principales variables.

### 2.1 Gestion agricole

« **usage** » 1 variable (catégorie) à l'échelle station VP (végétation prairiale) répliquée chaque année.

Chacune des 10 stations VP de chaque zone d'étude a été caractérisée par une des 4 modalités de « Gestion agricole » (tableau 10). Ces données sont relatives à la parcelle. Le choix initial des stations VP étaient de ne choisir que des prairies exclusivement pâturées. C'est le cas pour 7 sur les 11 zones. Les zones 4, 6 et 11 (30 stations) sont de grandes parcelles communales en pâturage collectif avec des bovins et des équins. 61 stations sont en pâturage bovin seulement.

*Tableau 10 : Nombre de station VP par pratique - pâturage exclusif ; pâturage exclusif avec mixité équin/bovin (gestion des communaux, bovin toujours majoritaires) ; fauche et pâturage ; fauche.*

Zone d'étude	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Pâturage (p)	10	10	7		10		5	10	3	6	
Pâturage avec chevaux (pe)				10		10					10
Fauche et pâturage (fp)			3				5		7		
Fauche (f)										4	

La zone 10 présente 4 stations avec fauche dominante. Les zones 3, 7 et 9 ont à la fois des parcelles pâturées et d'autres pâturées avec une fauche régulièrement pratiquées avant ou après la mise à l'herbe.

### 2.2 Paysage

#### Occupation du sol

L'assolement est réparti en 4 classes (bois, eau libre, culture, prairie) et calculé à plusieurs échelles spatiales. Sont développées ci-après les répartitions des assolements bois, culture et prairie aux différentes échelles.

Les surfaces en eau libre (calculées par télédétection, voir paragraphe 1.3) sont marginales, non présentées ci-après. Les valeurs les plus importantes se trouvent dans les zones 1 et 3, avec respectivement 1.22% et 1.12%. Une autre métrique est présentée ci-dessous pour rendre compte de la surface des mares de chasse par zone d'étude.

## Surface des mares de chasse

« mares » 1 variable (ha) à l'échelle zone d'étude répliquée chaque année.

Cet habitat est présent dans 3 des 11 zones d'étude, la zone 1 (0.75 ha), la zone 3 (0.16 ha) et la zone 5 (0.08 ha).

## Occupation du sol à l'échelle de la zone d'étude

« bois », « prairie », « culture » et « eau » (% de surface) 4 variables à l'échelle zone d'étude répliquée chaque année. « eau » non présenté

On observe sur la figure 5 une nette variation des proportions de % de bois, cultures et de prairie entre les 11 zones d'étude.

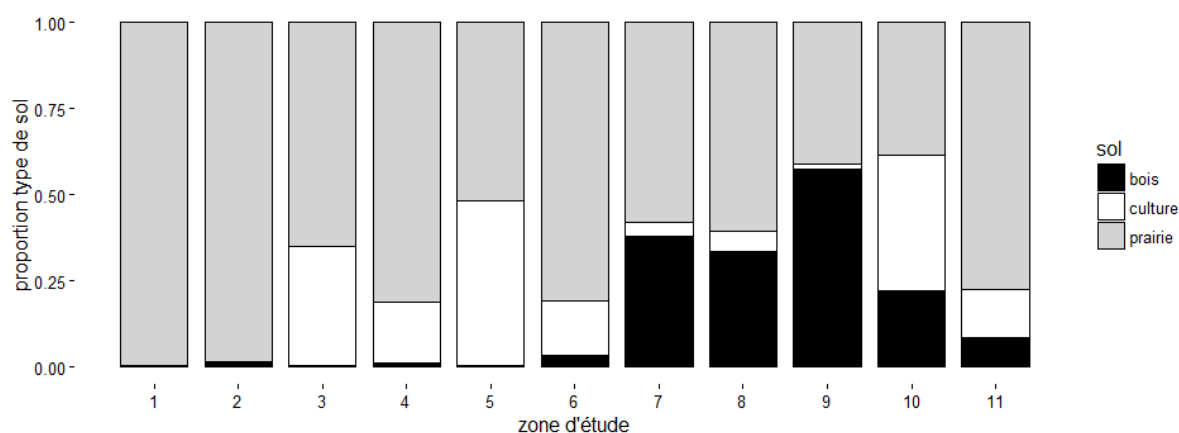


Figure 5 : Proportion des principaux types d'assolements pour les 11 zones d'étude.

Les zones d'étude 1 et 2 sont presque exclusivement occupées par des prairies. Les zones d'étude 3, 4, 6 et 11 intègrent aux prairies une part de culture, respectivement environ 34%, 18%, 16% et 14%. Les zones d'étude 5 et 10 sont les plus cultivées avec 47% et 39% de surface. Les zones d'étude 7, 8 et 9 présentent un assolement partagé principalement entre prairies et boisements, cette dernière catégorie inclue la forte densité de haies bordant les canaux et la présence de peupleraies. La part de boisement de la zone 10 correspond principalement à la ripisylve d'un méandre fluvial qui traverse la zone, par ailleurs moyennement fourni en haies.

## Assolement aux échelles des surfaces tampon autour des stations canaux

« Bois\_rayon\* », « prairie\_rayon\* », « culture\_rayon\* » et « eau\_rayon\* », 8 variables (\*rayon = calculs sur 2 surfaces tampon de rayon 100 et 500 mètres autour des stations) répliquée chaque année. « eau\_rayon » non présenté.

La figure 6 permet de rendre compte des contrastes plus ou moins important des proportions d'assolements au sein des zones d'étude, donc entre stations, et pour des échelles spatiales différentes (zones d'étude et surfaces tampon autour des stations canaux de rayons 100 et 500 mètres).

Les zones d'étude 1 et 2 sont les plus homogènes avec près de 100% de prairies à l'échelle de la zone d'étude et quelle que soit la taille du tampon.

La situation est également relativement homogène entre surfaces tampon sur les zones 3 et 6 malgré quelques stations qui présentent plus de boisements ou de cultures. La zone d'étude 3 présente une répartition hétérogène de la surface en culture entre les différentes stations (n=10). Sur la zone d'étude 6, certaines stations montrent une proportion de

boisement plus importante sur la surface tampon de 100 mètres, et quelle que soit la surface tampon, on ne retrouve pas la part de culture observée à l'échelle de la zone d'étude à une échelle plus locale de la station et ses abords.

Les autres zones présentent plus d'hétérogénéité entre stations, au moins à une échelle de surface tampon (4, 10, 11) ou présentent des assolements globalement plus contrastées entre les « surface tampon » et l'échelle « zone d'étude ».

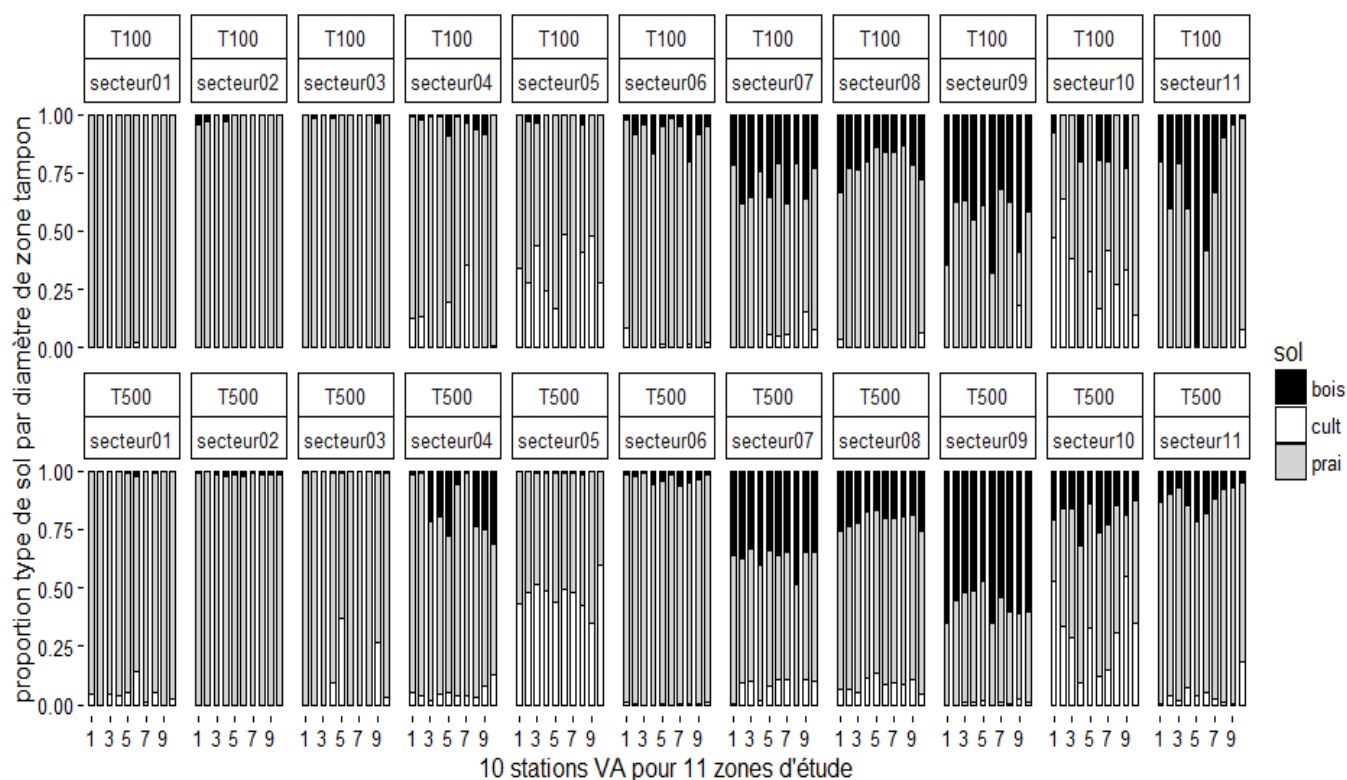


Figure 6 : Proportion des principaux types d'assolements pour les 11 zones pour 2 surfaces tampon 0 à 100 et 0 à 500 autour des stations aquatiques. Voir annexe VI, In Mauchamp et al. 2018.

### Densité du réseau de canaux

Les linéaires de canaux primaires, secondaires et tertiaires ont été ramenés à l'hectare à l'échelle de la zone d'étude (3 métriques), et exprimées en mètres aux échelles des surfaces tampon 100 et 500 mètres (6 métriques). Cette métrique est considérée comme stable dans le temps sur la durée du projet de suivi.

### Densité de canaux à l'échelle de la zone limicole

« **prim** », « **sec** », « **ter** », 3 variables (m/ha) à l'échelle zone d'étude répliquée chaque année.

La figure 7 présente la longueur cumulée de linéaire de canaux par hectare pour chaque zone pour le réseau primaire, secondaire, tertiaire.

Les zones d'étude 7, 8 et 9 présentent des linéaires tertiaires (III) plus importants que les autres zones. Les zones 4, 6 et 11, principalement constituées de grandes parcelles communales présentent à l'inverse les linéaires les plus faibles, notamment concernant les canaux tertiaires et avec un linéaire de primaire inexistant pour la zone d'étude 6.

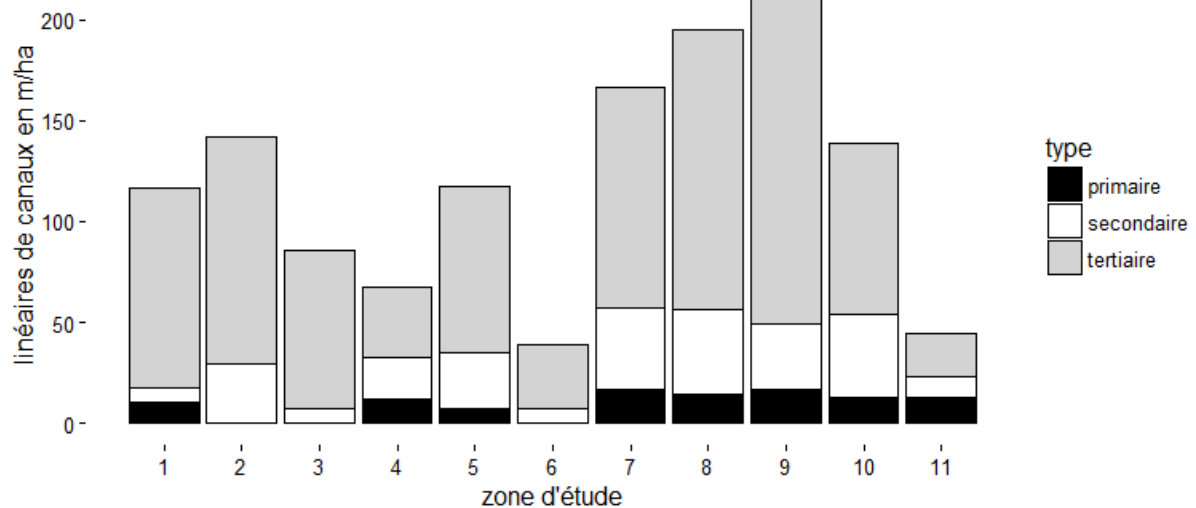


Figure 7 : Linéaire de canaux par hectare pour les 11 zones d'étude et % de chaque type de canaux.

#### Densité de canaux aux échelles des surfaces tampon autour des stations canaux

« I\_rayon\* », « II\_rayon\* », « III\_rayon\* », 6 variables (m) (\*rayon = calculs sur 2 surfaces tampon de rayon 100 et 500 mètres autour des stations) **répliquée chaque année.**

La figure 8 présente la répartition des linéaires de canaux, en mètres, pour les 11 zones d'étude, sur les tampons 0 à 100 et 0 à 500 autour des stations de suivi « canaux ».

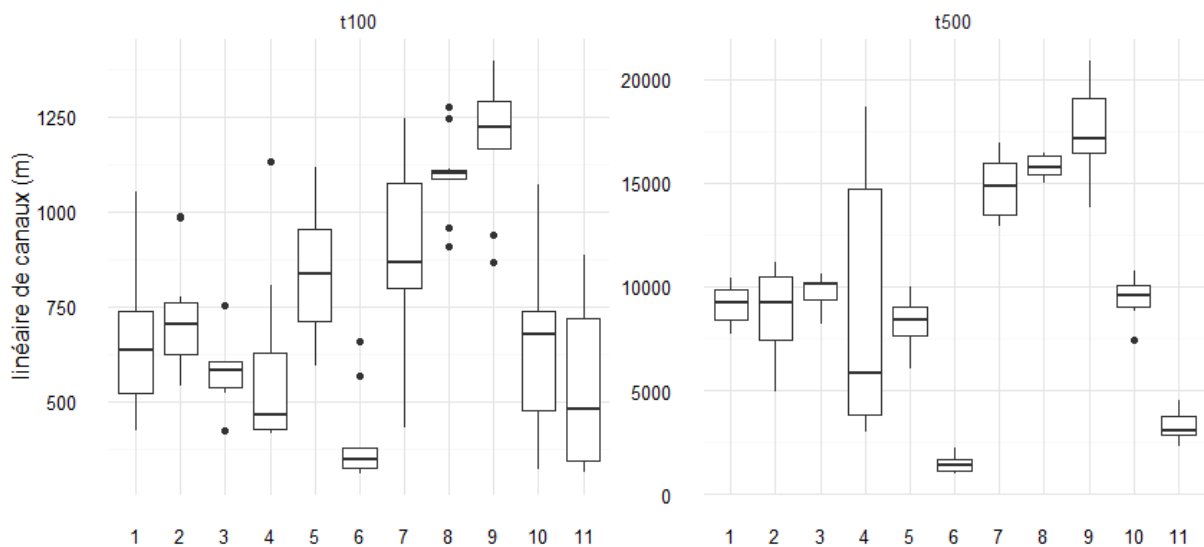


Figure 8 : Linéaires (m) de canaux par zone d'étude au sein de 2 surfaces tampon, 0 à 100m et 0 à 500m.

Les zones d'étude 1, 2, 3, 5 et 10 sont comparables, surtout pour la surface tampon de rayon 500 mètres autour de la station. Ces zones présentent des linéaires d'importances intermédiaires. Les zones 6 et 11 présentent les linéaires les plus faibles, les zones 7 à 9 les plus longs. La zone d'étude 4 est plus hétérogène avec des stations riches ou pauvres en linéaires de canaux, une hétérogénéité surtout visible sur la surface tampon 0-500 mètres.

## Haies

« **haie3D** », 1 variable (score) à l'échelle station VA répliquée chaque année.

L'indice présenté ci-dessous (figure 9) approche le volume qu'occupent les haies le long des canaux des stations VA.

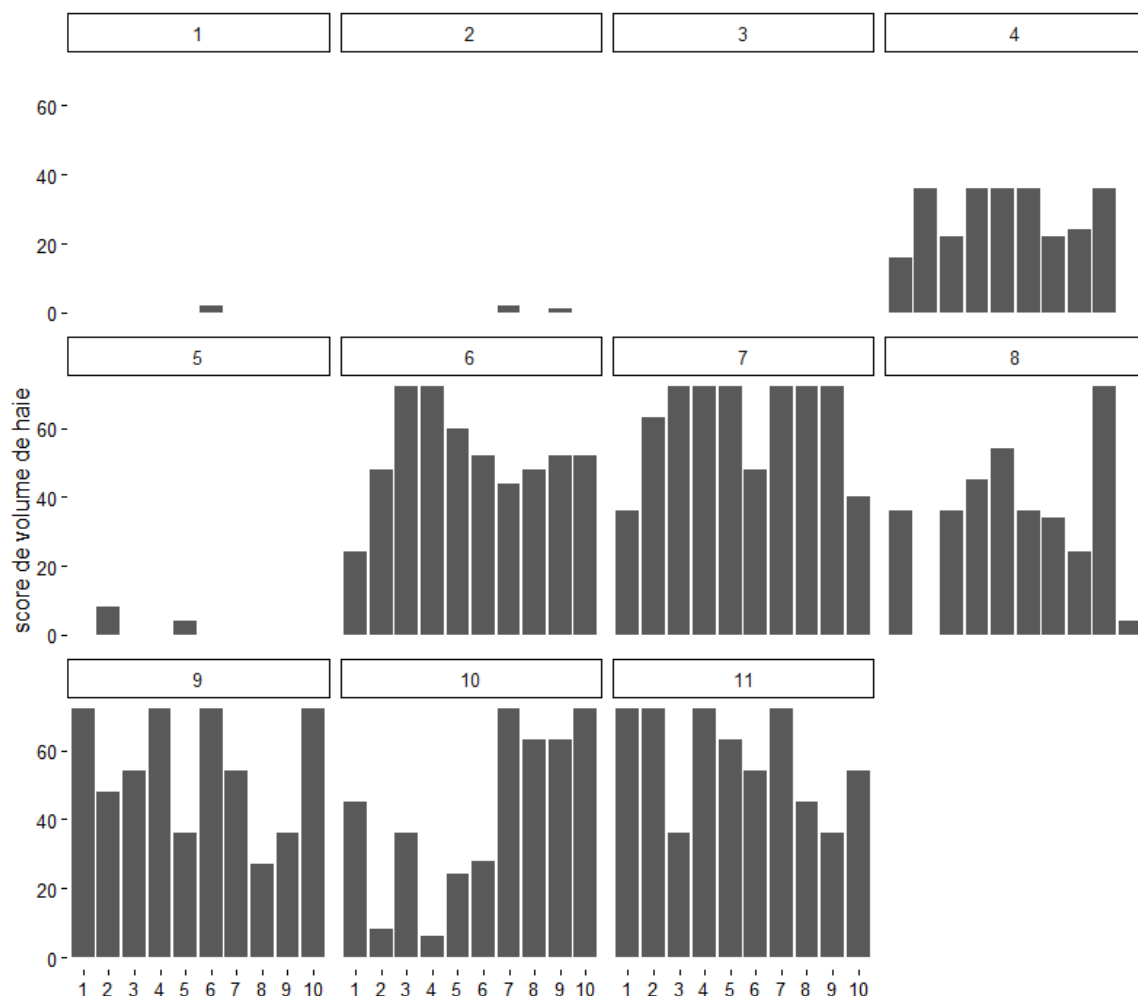


Figure 9 : Indice d'importance des haies, 10 stations aquatiques par zone d'étude.

On remarque qu'à l'ouest, les zones d'étude 1, 2, 3 et 5 présentent au moins 9 stations sur 10 sans arbres ou avec très peu d'arbre ou arbuste. La zone 4 est intermédiaire, avec des berges moyennement boisées. Les zones 8 et 10 sont hétérogènes, avec des stations parfois très boisées, et d'autres très peu boisées. Les autres zones (6, 7, 9 et 11) sont globalement bien boisées.

A noter que les peupliers bordant les canaux de la zone d'étude 6 ont été abattus en 2015 : ce paramètre a donc évolué sur cette zone (concernant les stations 2 à 8).

## Salinité des nappes et type de sol

- « **nappe** » 1 variable salinité (catégories) à l'échelle zone d'étude répliquée chaque année.
- « **sol** » 1 variable type de sol (catégories) à l'échelle zone d'étude répliquée chaque année.

Correspondant à un ancien golf marin, la zone humide du Marais poitevin hérite d'une salinité résiduelle plus ou moins marquée suivant les zones : cette salinité résiduelle de la nappe et localement des sols concerne seulement la partie la plus occidentale du marais. Le tableau ci-dessous (Tableau 11) présente pour chaque zone d'étude, le type de salinité des nappes superficielles et la nature du sol superficiel (30 premiers centimètres), d'après Dudoignon et al. 2016)

*Tableau 11: Répartition des zones d'étude par type de salinité de(s) nappe(s) superficielle(s) (en ligne) et type de sol : code lettre dans les cases : (A = horizon superficiel du sol argileux ; AT = horizon superficiel sol argilo-tourbeux ; T = tourbeux).*

	Zone d'étude										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 seule nappe de faible salinité (1-4 g/l)							T	T			AT
1 seule nappe de forte salinité (17-18 g/l)	A			A							
2 nappes à des profondeurs différentes: 9-13g/l en surface; 17-20 g/l en profondeur		A	A		A						
2 nappes de salinité moyenne: 7 g en surface et 13g/l pour nappe en profondeur						A			T	T	

#### Type de canal

- « **ctype** » 1 variable (catégories) à l'échelle des stations VA répliquée chaque année.
- « **ctype** » 1 variable (catégories) à l'échelle des stations PO répliquée chaque année.

Le tableau 12 montre le nombre de stations par zone d'étude aux deux échelles en fonction de leur situation : canaux primaire, canaux secondaire ou canaux tertiaire.

*Tableau 12: Nombre de station 'canaux' par type de canal et type de canal concerné par la station PO (cases bleues) par zone d'étude, .*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
primaire											
secondaire		2		5	2	4	3	3	1		3
tertiaire	10	8	10	5	8	6	7	7	9	10	7

#### Gabarit des canaux

- « **hvase** » 1 variable hauteur de vase (m) à l'échelle station PO 1x/an.
- « **lxho** » 1 variable hauteur d'eau x largeur (m2) à l'échelle station PO 1x/an. Non présenté.
- « **lxho** » 1 variable hauteur d'eau x largeur (m2) à l'échelle station VA 1x/an.

Le gabarit des canaux concerne les stations VA et les stations PO. La figure 10 montre la hauteur d'eau et la hauteur de vase des stations PO, mesurées chaque année lors des pêches électriques. On utilise une autre approche à l'échelle des stations VA en multipliant la largeur moyenne du canal par la hauteur d'eau moyenne sur la période mai/juin. Cette mesure est répétée chaque année, la figure 11 présente les valeurs obtenues en 2015.



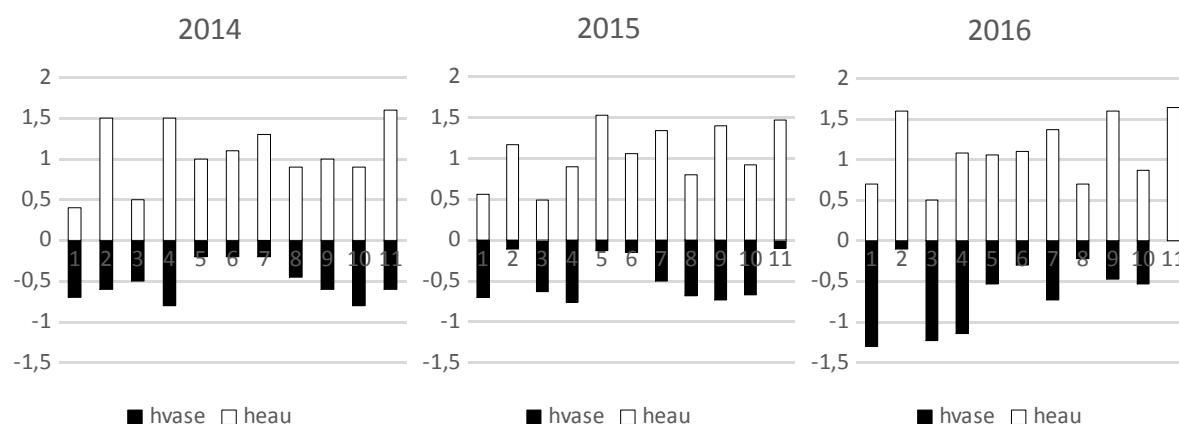


Figure 10 : Hauteur d'eau et hauteur de vase (mètre) sur les stations PO.

Les hauteurs d'eau et de vase varient dans le temps et dans l'espace. Les stations PO en canaux classés primaire (4, 5, 7, 9 et 11 voir tableau 10) ne sont pas nécessairement les plus profondes. Les stations des zones d'études 1, 3 et dans une moindre mesure 8 et 10 sont chaque année les moins profondes.

On observe sur les stations VA (figure 11) des lames d'eau globalement faibles des zones d'étude 5, 7 (sauf stations 2, 5 et 9) 9 (sauf station 4), 10 et 11. La zone 10 présente de plus 7 stations visiblement en assec. La zone 6 est la plus hétérogène. Certaines station ont des lames d'eau atypiques au sein des zones d'études (station 1 zone 2, station 4 zone 9, station 4 et 5 zone 8).

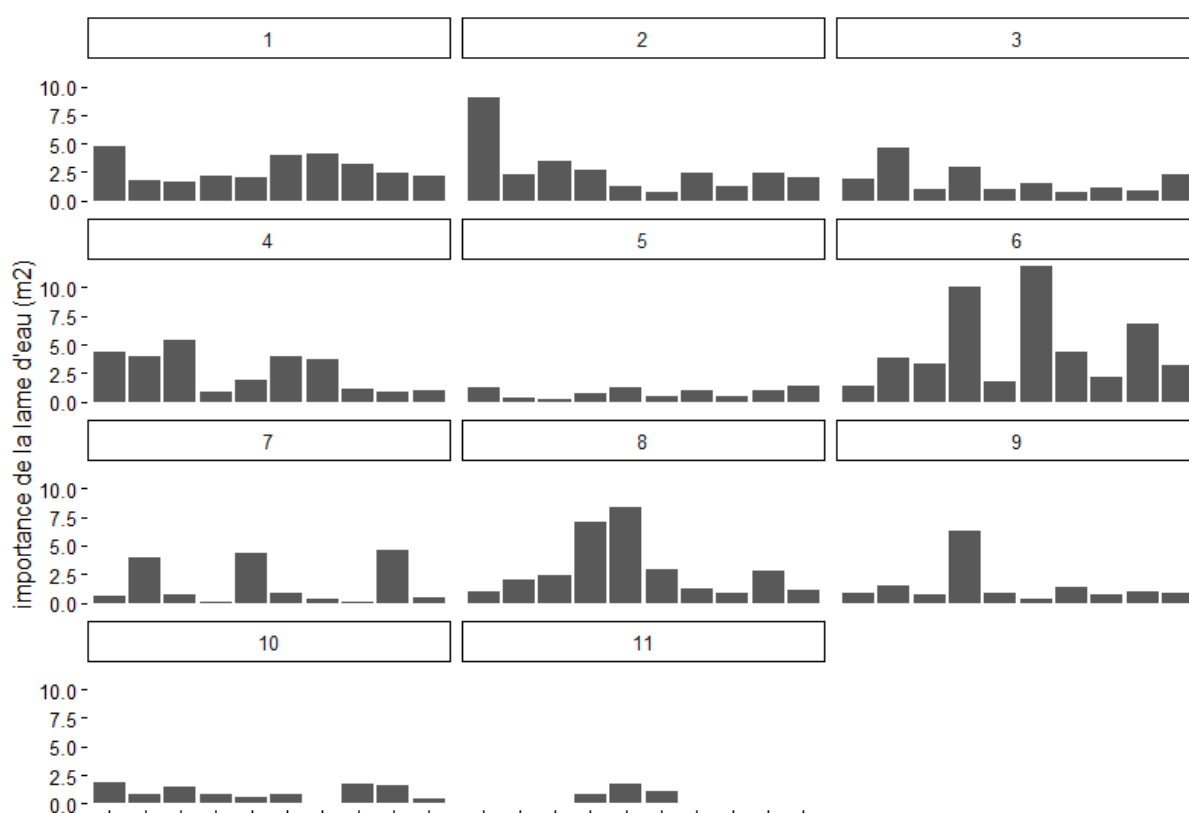


Figure 11 : Largeur moyenne\*hauteur d'eau moyenne (mai/juin 2015) pour les 10 stations VA de chaque zone d'étude.

## 2.3 Topographie (altitude)

- « **altcse** » 1 variable (m) à l'échelle des groupements VP répliquée chaque année.
- « **lialt** » 1 variable (m) à l'échelle des zones d'étude répliquée chaque année.

L'altitude, utilisée pour décrire la topographie d'un site ou d'une zone, est estimée à partir de la couche Litto3D de l'IGN, qui a été calibrée par des relevés au GPS centimétrique. A l'échelle de la zone d'étude, on mesure l'altitude moyenne. Les zones ont été choisies pour englober des zones basses et évitent dans certains cas les zones de bordure, plus hautes, sur lesquelles la gestion de l'eau aura vraisemblablement moins d'impact. Ainsi les zones ont des moyennes plus basses (de 22 à 61 cm) que les moyennes des casiers hydrauliques, sauf dans le cas des zones 5 et 11. En effet la moyenne de la zone limicole du secteur 5 n'est que 6 cm en dessous de la moyenne du casier hydraulique et le secteur 11 présente une moyenne de la zone limicole 121 cm plus basse que celle de son casier hydraulique. Ce dernier secteur, appelé « cuvette » s'approche d'une configuration de vallée inondable, et présente un dénivelé de près de 3 mètres entre le point bas et le point haut du casier hydraulique.

A l'échelle des stations de suivi « Végétation prairale » :

La figure 12 présente, toutes stations VP confondues, les altitudes relatives de chaque groupement de végétation homogène (groupement) dans chaque zone. L'altitude relative est l'écart d'altitude entre le point considéré et l'altitude du groupement le plus bas pour la zone d'étude dans lequel il se trouve. Le groupement le plus bas de chaque zone a pour altitude relative la valeur « 0 », e. Le triangle noir est l'altitude moyenne relative de la zone.

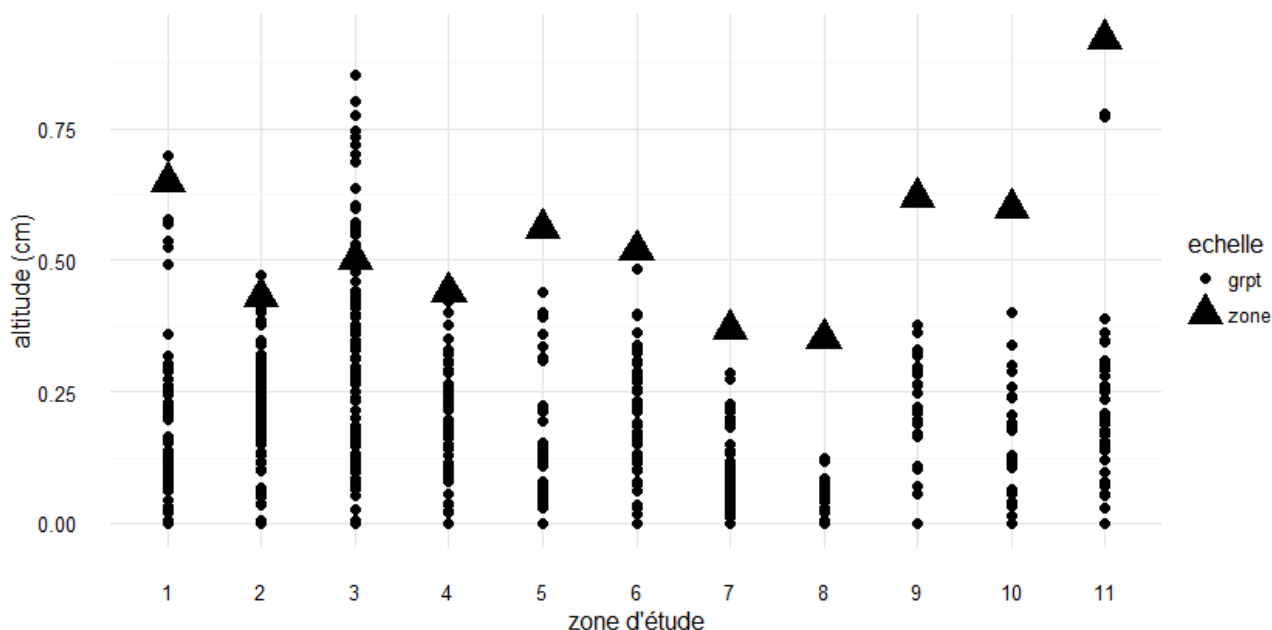


Figure 12 : Altitudes moyennes de la zone d'étude (zone) et des groupements (grpt) normées par rapport au groupement le plus bas de chaque zone (relevés VP 2014, 2015 et 2016).

Les zones à plus forte amplitude altitudinale entre le groupement le plus haut et le plus bas sont les zones 3 (85 cm), 11 (78 cm) et 1 (70 cm). La zone 8 présente de loin les amplitudes topographiques les plus faibles suivie par la zone 7.

## 2.4 Qualité eau

On considère la qualité de l'eau via deux sources de données distinctes :

- 1- La source de données la plus importante provient de l'étude conduite par l'UNIMA sur le fonctionnement trophique, déployée en parallèle aux suivis biodiversité de l'EPMP. Les données brutes sont récoltées en un point sur chacune des 11 zones d'étude, tous les deux mois, depuis mars 2015. Dans notre travail, nous avons utilisé les moyennes des valeurs obtenues en 2015 et 2016 pour chaque zone étudiée. Elles sont présentées ci-après (losanges noirs des figures 13, 14, 15, 16, 18 et 19) accompagnées des données par bimestres pour appréhender leur variabilité.
- 2- Le second jeu de données provient de mesures de conductivité et de turbidité effectués lors des suivis sur les invertébrés aquatiques & amphibien (AM) et poissons (PO).

### Composés azotés et phosphatés

- « no2 », « no3 », « nkj », « nh4 », « orthp », 5 variables (mg/l) à l'échelle des zones d'études répliquées chaque année

Les composés azotés sont les nitrates et nitrites (figure 13), l'ammonium et l'azote de Kjeldahl (figure 14). Le composé phosphaté est l'orthophosphate (figure 15).

Nitrates et nitrites (figure 13) ont des teneurs les moins importantes et les moins variables sur les zones d'étude 1, 2, 3 et 5. La zone 4 présente les plus fortes amplitudes.

La zone d'étude 5 se démarque par ses teneurs en ammonium plus élevées sur certains relevés avec des pics très élevés en 2016 (figure 14). L'eau de cette zone présente également la teneur moyenne la plus élevée en azote de Kjeldahl. Pour ce dernier paramètre, les zones 1, 2, 3 et 5 montrent les teneurs les plus fortes.



Figure 13 : Teneur en nitrates et nitrites (mg/l) sur les 11 zones d'étude (5 valeurs en 2015 et 6 en 2016) et leurs moyennes (losange noir).

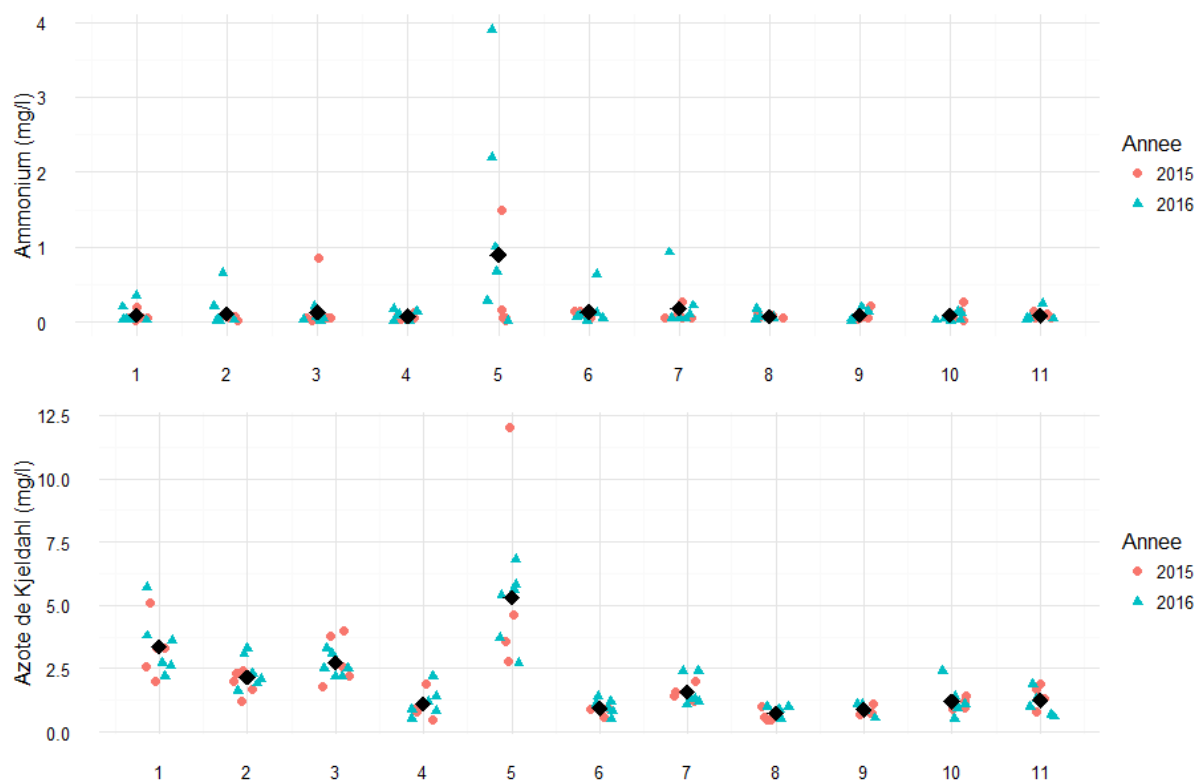


Figure 14 : Teneur en ammonium (mg/l) et en azote total (Kjeldahl) sur les 11 zones d'étude (5 valeurs en 2015 et 6 en 2016) et leurs moyennes (losange noir).

Les teneurs en phosphate montrent quelques pics (figure 15), surtout sur les zones 2, 3 et 5. Ces pics sont plus élevés pour l'année 2016.

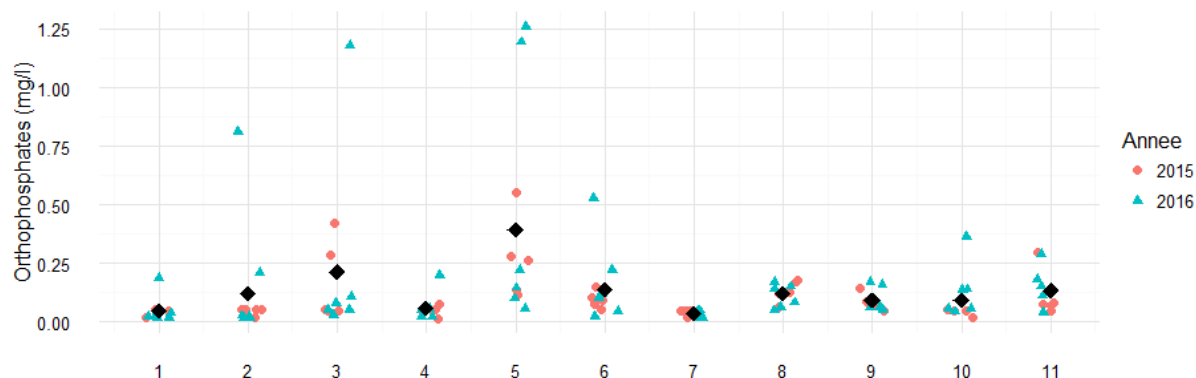


Figure 15 : Teneur en orthophosphates (mg/l) sur les 11 zones d'étude (5 valeurs en 2015 et 6 en 2016) et leurs moyennes (losange noir).

### Conductivité de l'eau des canaux

- « **cmoy** », « **cmax** », 2 variables, moyenne et valeur max ( $\mu\text{S/cm}$ ) à l'échelle des zones d'études répliquées chaque année
- « **pocond** », 1 variable ( $\mu\text{S/cm}$ ) à l'échelle des stations PO mesurée chaque année

S'agissant d'un ancien estuaire et en raison de la proximité de la mer, le sel est présent dans les sols (Amiaud et al. 1998) et les nappes, entre 1 et 20 g/l pour ces dernières

(Dudoignon et al. 2016). Cela apporte une salinité dans les canaux qui peut varier dans le temps et en fonction du secteur.

La zone d'étude 3 (figure 16) présente une forte moyenne (3650  $\mu\text{S/cm}$ ) avec notamment des pics de forte conductivité. Cette zone présente la particularité d'être réalimenté en été par de l'eau pompée dans les nappes salées. Les zones 1, 2 et 5 montrent également une conductivité élevée, en moyenne au-dessus de 1000  $\mu\text{S/cm}$ . Toutes les autres zones présentent des valeurs stables avec des moyennes entre 545 et 751  $\mu\text{S/cm}$ .

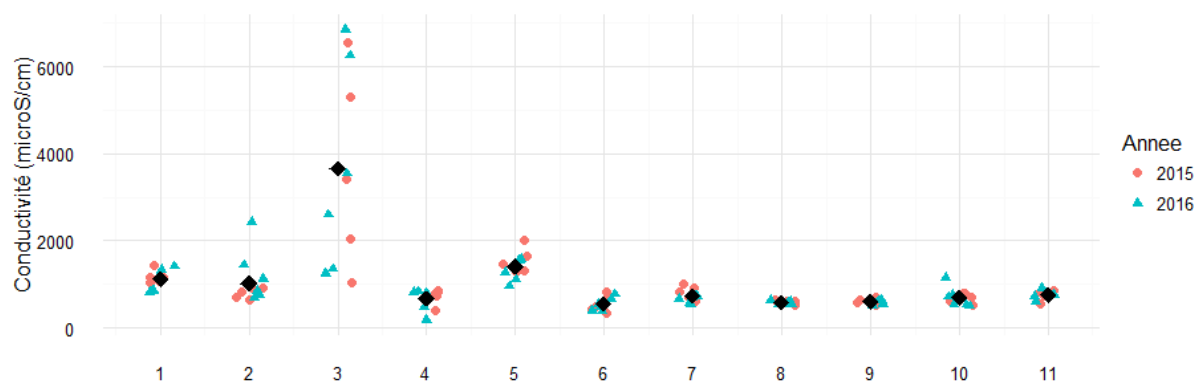


Figure 16 : Conductivité ( $\mu\text{S/cm}$ ) sur les 11 zones d'étude (5 valeurs en 2015 et 6 en 2016) et leurs moyennes (losange noir).

Comme sur les relevés réalisés par l'UNIMA, la conductivité relevée en juin lors des pêches électriques (figure 17) est plus élevée sur les zones 1 et 3. Les valeurs varient peu dans le temps, sauf sur la zone 3. En 2014, la mesure a dû être faite avant le pic de salinité lié à la réalimentation de la zone par pompage dans la nappe salée.



Figure 17 : Conductivité ( $\mu\text{S/cm}$ ) mesurée sur les stations PO lors des pêches électriques.

### Carbone organique dissous

« **corg** », 1 variable (mg/l) à l'échelle des zones d'études répliquées chaque année

Les zones 4, 6, 8, 9, 10 et 11 présentent des teneurs en carbone organique dissous plutôt stables et aux alentours de 5 mg/l (figure 18). Les autres zones présentent des valeurs souvent

plus élevées et plus variables dans le temps. Leurs moyennes sont comprises entre 8,7  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (zone 2) et 21,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (zone 5).

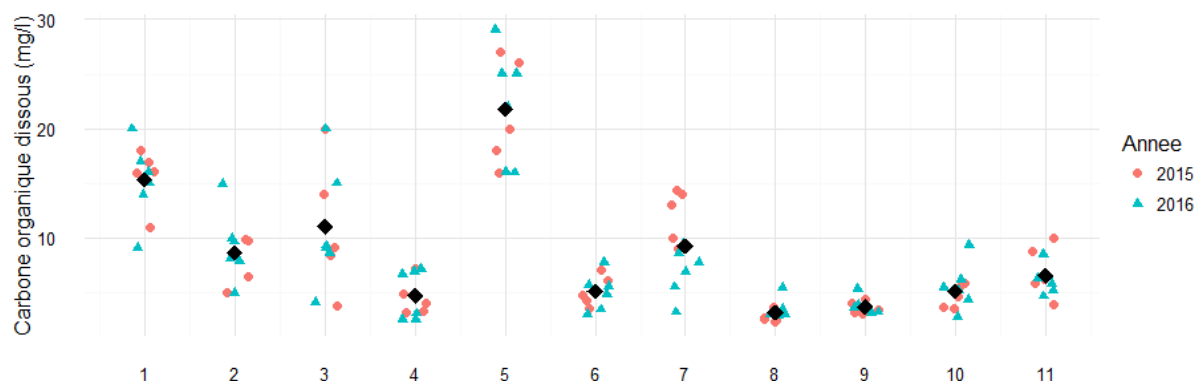


Figure 18 : Teneur en carbone organique dissous (mg/l) sur les 11 zones d'étude avec 5 valeurs en 2015 et 6 en 2016 (fréquence d'acquisition des données bimestrielle) et moyenne (losange noir).

### Saturation en oxygène

« satO2 », 1 variable (mg/l) à l'échelle des zones d'études répliquées chaque année

La saturation en oxygène dissous de l'eau des canaux dans les stations « VA » présente des valeurs stables pour les zones 1, 2, 8, 9 et 11 (figure 19). Les valeurs mesurées sur les autres zones sont plus hétérogènes incluant des valeurs très basses et très élevées.

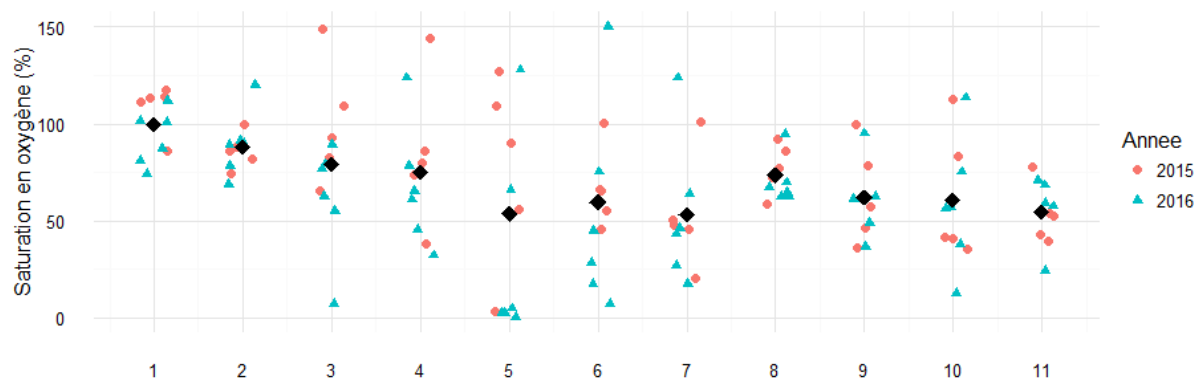


Figure 19 : Saturation en oxygène (%) sur les 11 zones d'étude avec 5 valeurs en 2015 et 6 en 2016 (fréquence d'acquisition des données bimestrielle) et moyenne (losange noir).

### Turbidité

« turb », 1 variable (sans unité) à l'échelle des stations AM 1x/an

La turbidité est mesurée une fois par an sur 5 stations de mesures par zone (stations AM). La figure 20 présente les valeurs de turbidité par zone, toutes années confondues (5 valeurs x 3 années = 15 valeurs par zone).

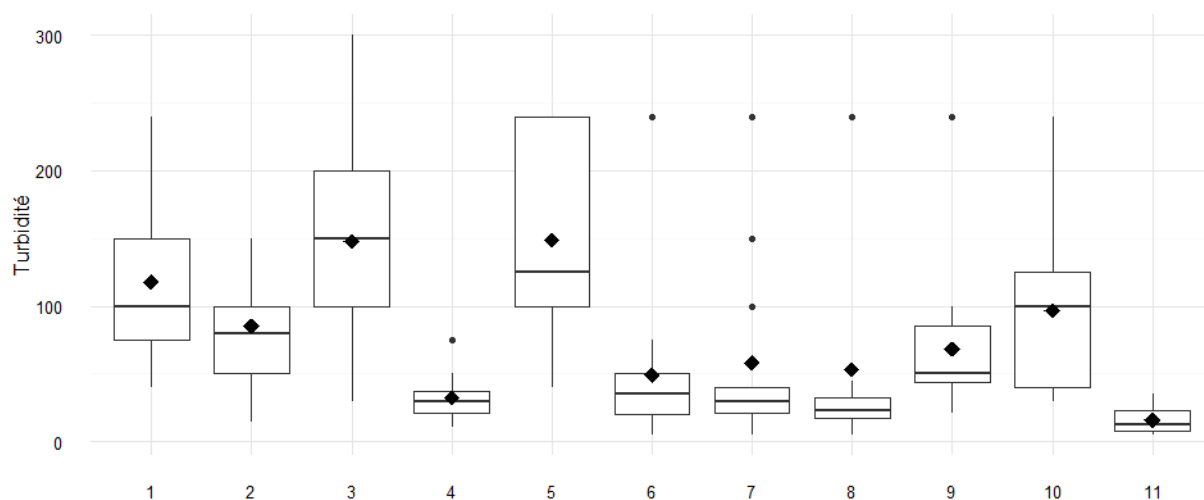


Figure 20 : Boxplot des mesures de turbidité au disque de secchi (profondeur de Secchi) et moyenne (losange noir) sur les 11 zones, années 2014 à 2015 confondues.

On observe que sur cette période de 3 ans, les zones 4, 6, 7, 8 et 11 ont les valeurs globalement les plus basses, hormis certaines valeurs hautes qui concernent quelques stations en 2014 et 2015, ce qui traduit une hétérogénéité intra zone et inter annuelle. Les zones 1, 3, 5 et 10 sont les plus turbides.

## 2.5 Quantité Eau

La quantité d'eau présente dans les casiers hydrauliques varie dans le temps. A un instant  $t$ , elle dépend de la balance entre les arrivées par l'amont et les précipitations, et les sorties du casier par évacuation vers l'aval et par évapotranspiration.

La quantité d'eau dans la zone peut être approchée dans les canaux par la hauteur d'eau et dans les prairies par la surface inondée, avec leurs patrons temporels (durée, variation, etc) respectifs.

Dans ce travail, elle est prise en compte à différentes échelles temporelles et spatiales via des métriques variées. Ce rapport en présente certaines. Le travail pour identifier les métriques les plus pertinentes au regard des différents composants de la biodiversité reste encore largement à conduire.

### Durée d'inondation des groupements de végétation

- « **durx12** »; « **durx\*\*34** »... « **durx\*\*1112** » : 6 variables (nombre de jours par bi-mestre) à l'échelle des groupements VP x 4 seuils d'inondation ( $\geq 0\text{cm}$ ,  $\geq 5\text{cm}$ ,  $\geq 10\text{cm}$  et  $\geq 15\text{cm}$ ). Non présenté. \*\* avec  $x = 0, 5, 10$  ou  $15\text{cm}$ .
- « **dur0p** »; « **dur5p** »; « **dur10p** »; « **dur15p** » : 1 variable (jours 10.5 mois avant les suivis) à l'échelle des groupements VP x 4 seuils d'inondation ( $\geq 0\text{cm}$ ,  $\geq 5\text{cm}$ ,  $\geq 10\text{cm}$  et  $\geq 15\text{cm}$ ). Non présenté.

La durée d'inondation est calculée à l'échelle des groupements homogènes de végétation (voir Mauchamp et al. 2018) sur différents pas de temps : tous les deux mois, et sur la période juillet à mi-mai (soit sur la période de 10.5 mois avant les relevés de végétation prairiale pendant laquelle la durée d'inondation peut varier d'une parcelle à l'autre). Sur ces périodes, les durées d'inondation sont calculées en considérant 4 hauteurs seuils d'eau différentes au-dessus du sol : nombre de jours avec un niveau d'eau supérieur ou égal à 0 cm, à 5 cm, à 10 cm et à 15 cm au-dessus du sol.

Par souci de concision, les données bimestrielles ne sont pas présentées dans ce document. La figure 21 présente, pour chaque zone d'étude, la durée d'inondation maximale pour chaque station VP (soit celle du groupement le plus bas) sur les 10.5 mois qui ont précédé la période de relevés de terrain, au seuil d'inondation de 0 cm. Les différents points représentent la variabilité entre stations au sein de chaque zone croisée avec la variabilité interannuelle.

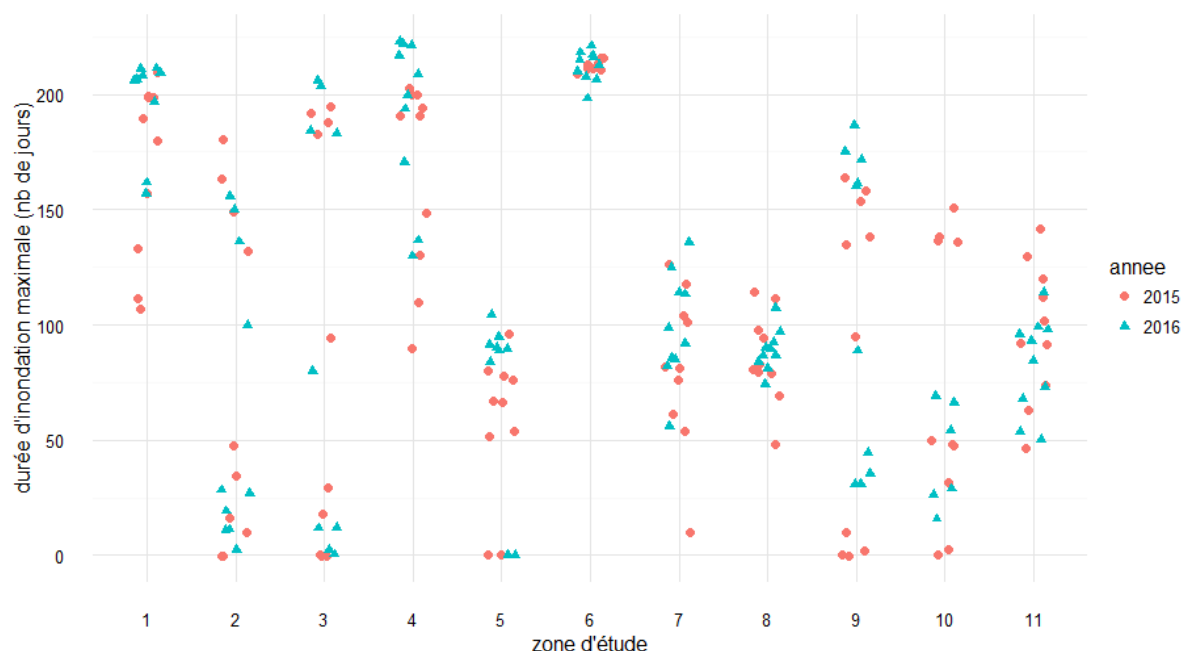


Figure 21 : Nombre de jours d'inondation pour les groupements bas des stations VP (10 par zone d'étude et par année) un 10.5 mois avant les suivis (juillet à mi-mai).

Parmi les différences les plus frappantes entre zones, on observe que la zone 6 présente des groupements bas tous inondés très longtemps (200 j et +) les deux années de suivi par sonde (2015 et 2016). La zone 1 présente des groupements bas systématiquement inondés + de 100 j (en 2015), et même tous inondés plus de 150 j en 2016. Les zones d'étude 2, 3 et 9 présentent quant à eux les plus grandes hétérogénéités entre stations, avec certains groupements bas qui ne sont jamais inondés et d'autres inondés plus de 150 jours. Cela peut se traduire à la fois par une topographie marquée et l'impossibilité de couvrir systématiquement l'intégralité de cette variance topographique (petites parcelles, parcelles hautes vs parcelles basses etc.).

#### Stress hydrique des groupements de végétation

- « **dursevp** » : 1 variable (nombre de jours) à l'échelle des groupements VP 10,5 mois avant les suivis (juillet à mi-mai) eau < à -42 cm. Non présenté
- « **sevdry** » : 1 variable (jours) à l'échelle des groupements VP 11 mois avant les suivis (juillet à mi-mai) eau < à -42 cm

Les piézomètres installés dans les zones d'étude permettent de calculer la profondeur de la nappe superficielle. La figure 22 présente les nombres de jours maximaux par station VP (groupements les plus hauts) ou le niveau d'eau est sous les 42 premiers centimètres de sol (Merlin et al. 2015) sur une période de 11 mois, du 1<sup>er</sup> juillet au 31 mai.



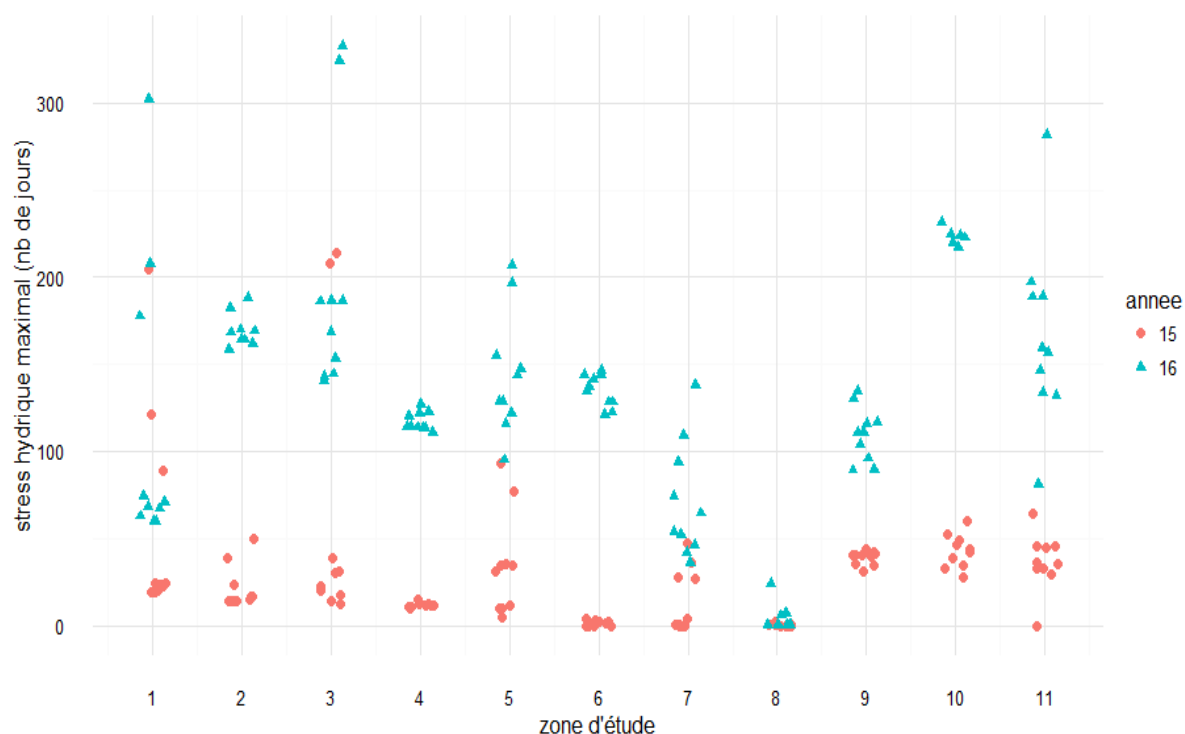


Figure 22 : Nombre de jours de stress hydrique des groupements hauts des stations VP (10 par zone d'étude et par année) un 11 mois avant les suivis (juillet à mi-mai).

Cet indicateur de stress hydrique varie entre années, il a été plus important sur toutes les zones d'étude en 2016. Les zones 1, 3, 7 et 11 présentent la plus forte hétérogénéité entre stations.

#### Surface de prairie inondée au printemps

- « **ppi10av** » ; « **ppi120av** » ; « **ppi30av** » ; « **ppi10mai** » : 4 variables ( % de surface de prairie en eau) à l'échelle des zones d'étude (si suivi limicole) à 4 dates : 10 avril, 20 avril, 30 avril, 10 mai

Cette métrique calculée sur les zones d'études accueillant les suivis limicole (surface en herbe = retrait des cultures, des boisements et des zones d'eau permanente) permet d'appréhender l'importance des inondations subies par les aléas climatiques et/ou encouragés/évités par la gestion anthropique. Les figures 23 et 24 montrent, que pour 2015 comme pour 2016, les zones 5 et 11 ont peu de surface d'herbe inondée. Les zones 4 et 6 ont les valeurs les plus élevées particulièrement début avril où 25 à 45 % des superficies en herbe sont inondées. Sur ces communaux où les canaux ne débordent plus que très rarement sur les parcelles, des ouvrages y retiennent l'eau pour conserver le caractère humide des prairies. Sur ces zones, le ressuyage progressif au cours du mois d'avril est bien visible et a été perturbé début mai 2015 par une crue printanière. Globalement, le printemps 2016 présente des proportions inondées plus importante que le printemps 2015. Pour toutes les zones, 2015 présente un déficit en eau début avril, par rapport à avril 2016.

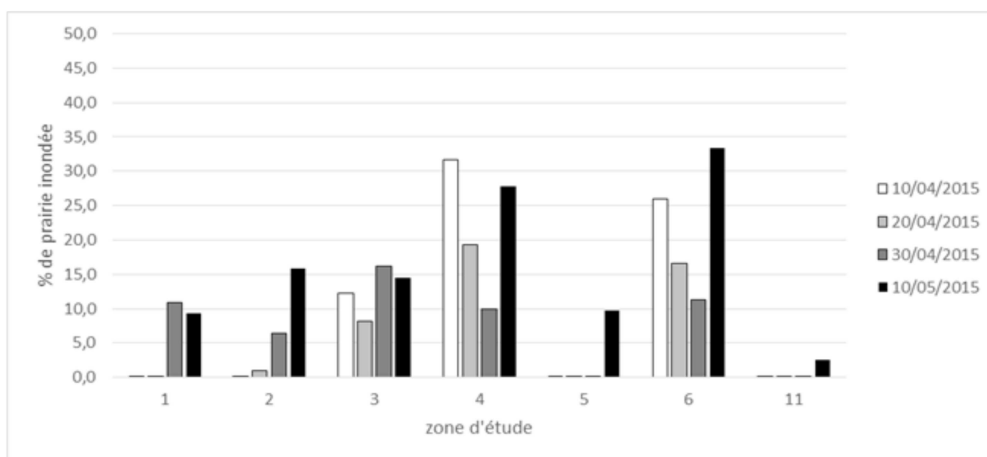


Figure 23 : % de surface en herbe inondée en 2015 à 4 dates par zone d'étude.

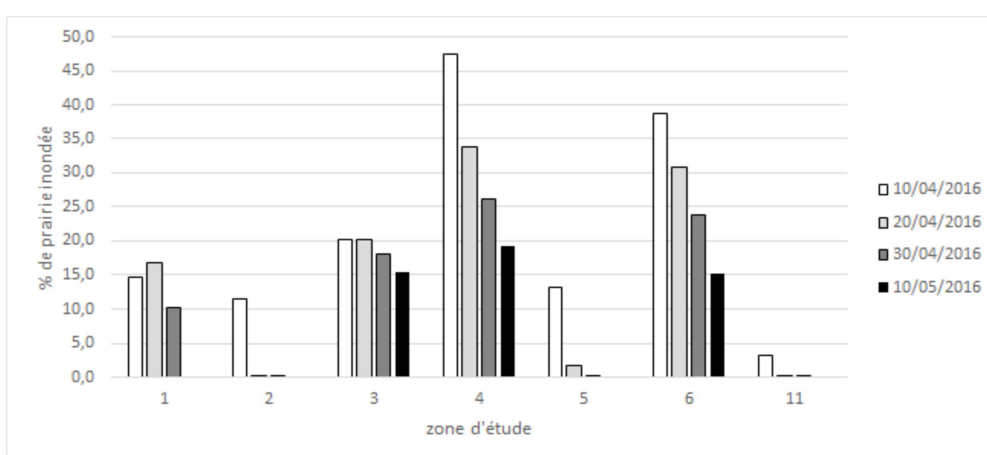


Figure 24 : % de surface en herbe inondée en 2016 à 4 dates par zone d'étude.

### Hauteur d'eau dans les canaux

- « **poho1** » hauteur d'eau (m) mesurée une fois\*/an à l'échelle stations PO. Présenté figure 10 page 25.

Les métriques de ce type sont construites à partir de la hauteur de la colonne d'eau. Cette hauteur est mesurée 1. ponctuellement sur le terrain, et 2. en continu via des capteurs de pression (sonde SOLINST) qui permettent d'accéder à des chroniques de niveau de l'eau superficielle, ramenée au niveau du fond du canal (estimation via la limite supérieur de la vase).

### Potentiel d'assèchement des canaux

« **assec** » : 1 variable (catégorie) à l'échelle des stations VA répliquée chaque année

Sur la base des observations de terrain, une note (de 1 à 6) a pu être attribuée aux différents canaux des stations VA selon le niveau d'eau atteint sur la période du 1er juin 2015 au 31 mai 2016 :

Note de « 0 » = niveau d'eau qui n'est jamais inférieur à 50cm ; 1 = < 50cm mais jamais < à 40cm ; 3 = moins de 40cm mais jamais moins de 30cm ; 4 = moins de 30 mais jamais moins de 20cm ; 5 = moins de 20 mais jamais moins de 10cm ; 6 = assec au moins une fois (assec = moins de 5cm).

Le tableau 13 présente les nombres de stations par zone d'étude selon leurs scores de potentiel d'assèchement.

Tableau 13: Nombre de station par score d'assèchement pour les 11 zones d'étude.

	score de risque d'assèchement						
	0	1	2	3	4	5	6
Zone d'étude	1	1	1	1	3	1	3
	2	3	1	2	2	1	
	3		1	3	1	2	3
	4	5	1	1	3		
	5			1	3	1	5
	6	4	2	3	1		
	7	3		1	1	2	3
	8	3	1	2	3		
	9	1	4	4			1
	10		2	3	2	2	1
	11	1	1	2	2	2	2

Les canaux des zones 1, 2 et 11 présentent une forte hétérogénéité entre les 10 stations VA sur le plan du risque d'assèchement. Les zones 4 et 9 ont des canaux dans 4 classes de risque d'assèchement tandis que la majorité des canaux de la zone 5 présente un score élevé. Les zones 4, 6 et 8 ont des scores de 4 au maximum, donc un risque d'assèchement plus faible.

#### Niveau d'eau par zone d'étude et pluviométrie

- « **ho12** », « **ho34** »... « **ho1112** » : hauteur d'eau moyenne (m) par bimestre à l'échelle zones d'étude.
- « **cvar12** » ; « **cvar34** »... « **cvar1112** » coefficient de variation (sans unité) de la hauteur d'eau par bimestre à l'échelle des zones d'étude.
- « **pl12** », « **pl34** »... « **pl1112** » : pluviométrie (mm) cumulée par bimestre.
- « **pl9mois** » : pluviométrie cumulée sur les 9 mois précédant les suivis.

Le niveau d'eau est calculé à partir des chroniques de niveau d'eau superficiel exprimé en NGF (nivellement général de France). D'un point de vu topographique, les zones d'études ne sont pas toutes réparties le long des mêmes gradients d'altitudes. Il est donc difficile avec ce référentiel de comparer les niveaux d'eau entre zones. C'est pourquoi nous avons normé les niveaux d'eau NGF par rapport à l'altitude moyenne de chaque zone (niveau NGF-altitude moyenne de la zone). Ainsi sur une zone, si la courbe de niveau d'eau présentée atteint la valeur « 0 », le niveau d'eau atteint l'altitude de 50% de la surface de la zone, à -1 mètre, l'eau est 1 mètre sous l'altitude moyenne de la zone *etc.*

Le niveau d'eau est présenté chaque année (figure 25) en considérant la moyenne des hauteurs d'eau tous les deux mois, normées par rapport à l'altitude moyenne des zones d'étude.

Sur cette figure, on remarque que la zone d'étude 11 est atypique. Cette zone présente la plus forte amplitude altitudinale et peut de plus subir de forte variation de niveau d'eau (amplitudes de l'ordre de 2 mètres). Doté d'une bonne capacité d'évacuation des crues, il est néanmoins rare que la moyenne des niveaux d'eau sur un bimestre atteigne la moyenne

altitudinale des zones d'étude. La courbe est plutôt centrée autour d'un mètre sous sa moyenne altitudinale. Sur les autres zones, les courbes oscillent entre -50cm et 0cm (l'altitude moyenne des zones d'étude).

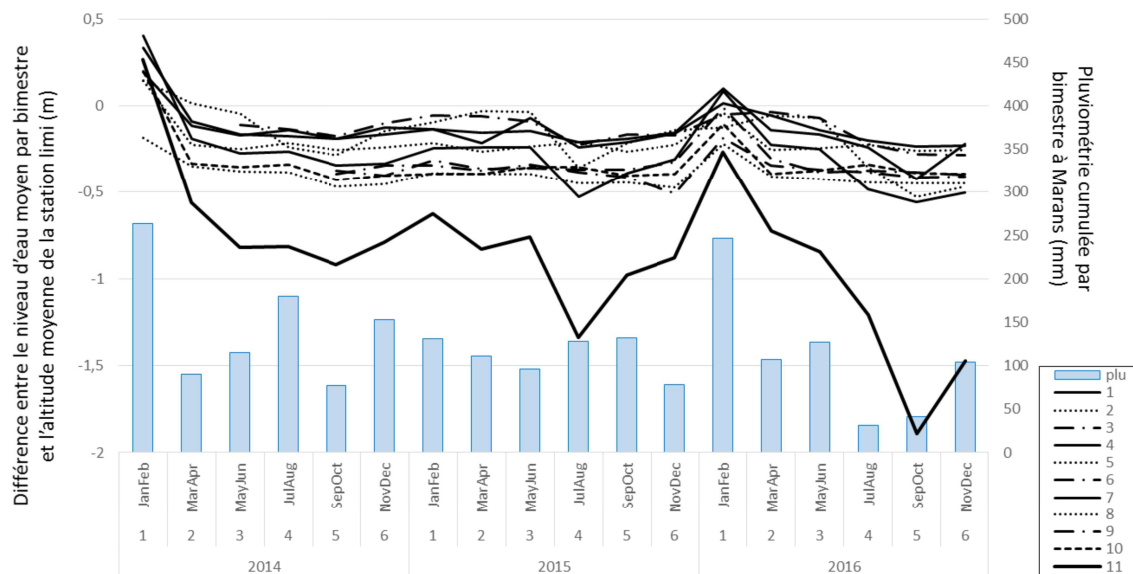


Figure 25 : Hauteurs d'eau centrées sur l'altitude moyenne de chacune des 11 zones, par périodes de deux mois (courbes) et pluviométrie de 2014 à 2016 (histogrammes).

Les histogrammes de la pluviométrie cumulée par bimestres informent sur le contexte météorologique global. Les pics de janvier/février 2014 et 2016 correspondent à deux crues hivernales, il n'y en a d'ailleurs pas eu d'importante l'hiver 2014/2015. Les mois de juillet et août 2014 cumulent une forte pluviométrie, ce qui a retardé la baisse des niveaux d'eau sur la plupart des zones. Un autre événement particulier survient au mois de mai 2015, de fortes précipitations (concentrées en quelques jours) provoquent une crue printanière qui fait monter les niveaux sur le bimestre mai/juin de cette année. L'été 2016 est marquée par un fort déficit de pluviométrie, qui se sont traduits sur certaines zones par des assècs précoces et prolongés sans possibilité de recharge automnale voir hivernale.

La figure 26 présente les cumuls de précipitations sur les périodes septembre à mai, soit 9 mois précédents les suivis de 2014, 2015 et 2016. On observe ici encore la pluviométrie plus importantes 9 mois avant les suivis de mai 2014, surtout pour les zones proche de la station météorologique de Niort (zones 7 à 9).

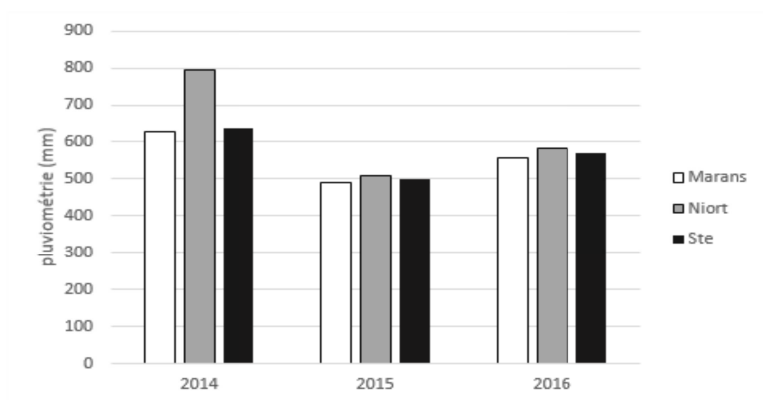


Figure 26: Pluviométrie cumulée 9 mois avant les suivis mesurée sur 3 stations météo France (Marans=zones 1 à 6 ; Niort=zones 7 à 9 ; Sainte-Gemme-la-Plaine=zones 10 et 11).

La figure 27 présente les mêmes courbes que sur la figure 25 décomposées zone par zone. Les histogrammes qui les accompagnent représentent cette fois-ci les coefficients de variations du niveau d'eau sur chaque bimestre.

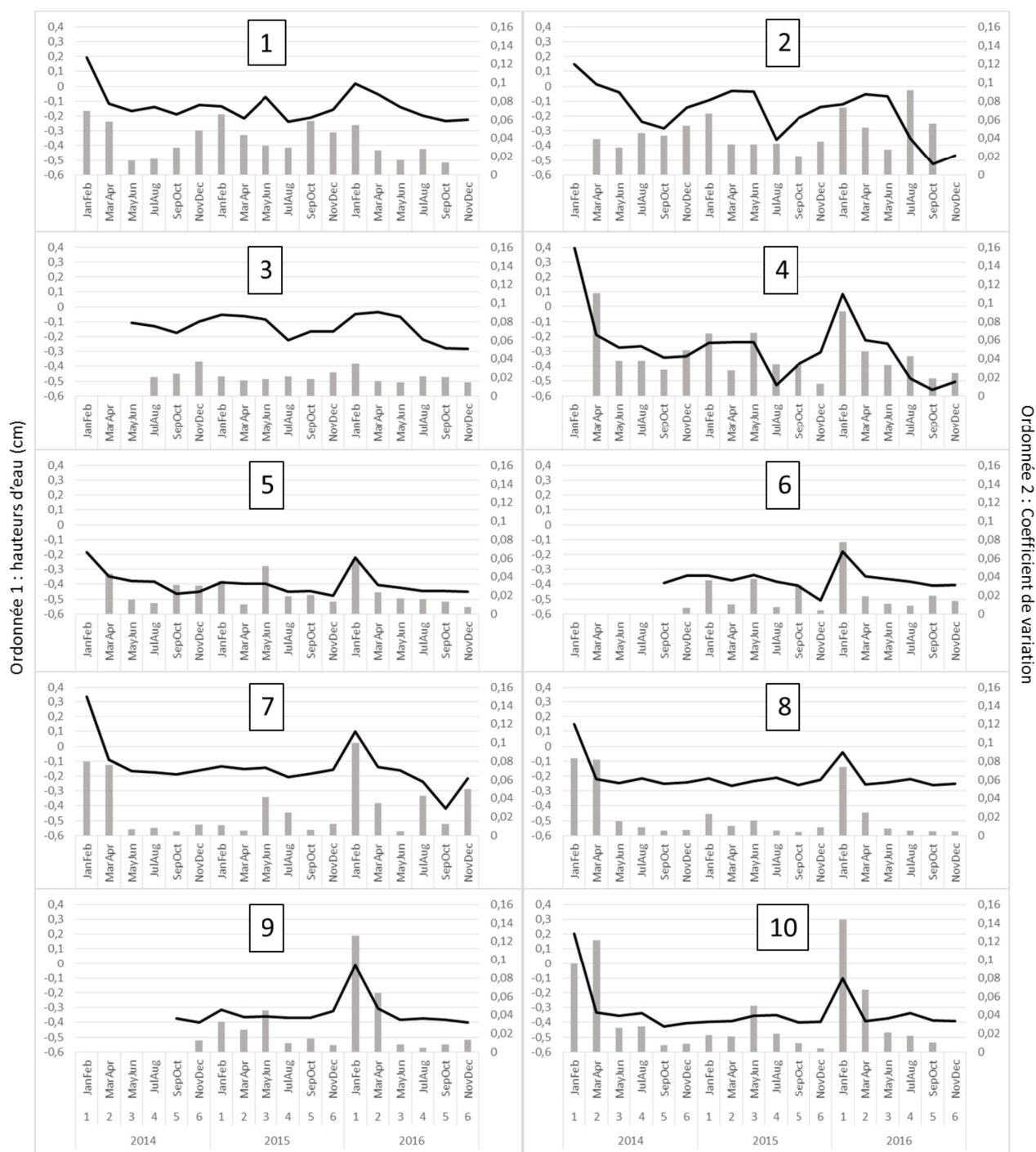


Figure 27 : Hauteurs d'eau centrées sur l'altitude moyenne de 10 zones, par périodes de deux mois (courbes) et coefficient de variation (histogrammes).

Les niveaux d'eau superficielle des zones d'étude 1 à 3 oscillent majoritairement entre l'altitude moyenne (0) et 20 cm sous cette moyenne. Elles présentent des courbes similaires, bien que la courbe de la zone 3 semble plus « douce ». Une différence apparaît début 2015 avec un niveau comparativement plus faible sur la zone 1. La courbe de la zone 2, elle, s'en

distingue surtout en été avec des niveaux d'eau qui descendent plus bas. La zone 3 présente des coefficients de variation plus faibles.

On remarque la similitude des courbes de niveau d'eau des zones 5 et 6 alors que la zone 5 est classée dans les marais desséchés et que la zone 6 est classée dans les marais mouillés.

La zone 4 a une allure assez proche de 5 et 6 mais avec plus de variabilité en particulier sur les périodes de crues hivernales et en période d'étiage.

Pour les autres zones à l'est du marais, les courbes sont assez semblables, avec des niveaux plus hauts sur les zones 7 puis 8. Toutes ces zones sont classées en marais mouillés : on remarque les effets des crues qui provoquent un pic dans la hauteur d'eau des canaux, jusqu'à atteindre l'altitude moyenne des zones. En dehors de ces « pics », l'eau est maintenue à un niveau constant, aidé par la présence de grands ouvrages et le débit estival de la Sèvre et de ses affluents. Les coefficients de variation y sont globalement faibles, mais très forts lors des crues.

### **3. Conclusion**

Les variables présentées dans ce rapport ont été intégrées aux analyses statistiques menées sur le jeu de données biotiques récoltées entre 2014 et 2016 (voir *Mauchamp et al. 2018*). L'abondance de variables environnementales, paysagères et de variables renseignant sur la gestion des niveaux d'eau, démultipliée par les nombreuses modalités de calculs, apportent une source de données considérable qu'il faut manipuler et interpréter avec prudence. Pour la suite des travaux à conduire pour ce projet, un travail d'analyse de la bibliographie scientifique sera poursuivi pour affiner la construction des futures variables. Un travail est en particulier attendu, en lien avec l'établissement public du Marais poitevin, pour préciser les métriques caractérisant la gestion de l'eau sur les différentes zones étudiées.

## 4. Références

- Amiaud, B., J.-B. Bouzille, T. Tournader et A. Bonis 1998. Spatial patterns of soil salinities in old embanked marshlands in western France. *Wetlands* 18:482-494.
- Amoros, C., G. Bornette et C.P. Henry 2000. A vegetation-based method for ecological diagnosis of riverine wetlands. *Environmental Management* 25:211-227.
- Baatrup-Pedersen, A., K. Szoszkiewicz, R. Nijboer, M. O'Hare et T. Ferreira 2006. Macrophyte communities in unimpacted European streams: variability in assemblage patterns, abundance and diversity. *Hydrobiologia* 566:179-196.
- Bornette, G. et S. Puijalon 2011. Response of aquatic plants to abiotic factors: a review. *Aquatic Sciences* 73:1-14.
- Bonis, A., B. Marion, C. Membrey et J.-M. Paillisson 2013. Propositions pour le suivi de la biodiversité dans le Marais Poitevin : suivi global et suivi en lien avec l'évolution de la gestion de l'eau. Université de Rennes1- Etablissement public du Marais Poitevin. 154 p.
- Dudoignon, P., L. Caner, R. Radimy et C. Boissard 2016. Caractérisation et évolution temporelle des structures des sols argileux à tourbeux des 11 sites témoins utilisés pour le suivi de la biodiversité du Marais Poitevin. ENSI, Université de Poitiers. 144 p.
- Grinberga, L. 2010. Environmental factors influencing the species diversity of macrophytes in middle-sized streams in Latvia. *Hydrobiologia* 656:233-241.
- Haury, J., M.C. Peltre, M. Tremolieres, J. Barbe, G. Thiebaut, I. Bernez, H. Daniel, P. Chatenet, G. Haan-Archipof, S. Muller, A. Dutartre, C. Laplace-Treyture, A. Cazaubon et E. Lambert-Servien 2006. A new method to assess water trophic and organic pollution -- the Macrophyte Biological Index for Rivers (IBMR): its application to different types of river and pollution. *Hydrobiologia* 570:153-158.
- Lehmann, A., E. Castella et J.-B. Lachavanne 1997. Morphological traits and spatial heterogeneity of aquatic plants along sediment and depth gradients, Lake Geneva, Switzerland. *Aquatic Botany* 55:281-299.
- Mauchamp Andre, Gore Olivier, Bergerot Benjamin, Paillisson Jean-Marc et Bonis Anne, 2018, Analyse des données « biodiversité » acquises en 2014-2015-2016 dans 11 zones du Marais poitevin : contrastes entre sites et premières explorations de leurs relations avec les conditions environnementales. Rapport de l'UMR ECOBIO CNRS-Université Rennes I – EPMP.
- Merlin, A., A. Bonis, C. Damgaard et F. Mesleard 2015. Competition is a strong driving factor in wetlands, peaking during drying out periods. *PLoS ONE* 10:e0130152.
- Paillisson, J.-M. et L. Marion 2006. Can small water level fluctuations affect the biomass of *Nymphaea alba* in large lakes?. *Aquatic Botany* 84:259 – 266.
- Rapinel, S., C. Cazals, P.-L. Frison, J.-B. Bouzille, N. Rossignol et A. Bonis 2015a. Cartographie 2014 des habitats naturels du Parc Naturel Régional du Marais poitevin par télédétection. ECOBIO, CNRS/Université de Rennes 1 et IGN, Université Paris est.
- Riis, T., K. Sand-Jensen et S.E. Larsen 2001. Plant distribution and abundance in relation to physical conditions and location within Danish stream systems. *Hydrobiologia* 448:217-228.
- UNIMA et Forum des Marais Atlantiques 2016. Élaboration d'un indicateur de fonctionnement trophique du compartiment aquatique des zones humides de l'arc atlantique - Bilan d'activité 2015. 96 p.



## Annexe I : Caractéristiques détaillées des variables environnementales

Type de variable	Descriptions des variables	Caractéristiques : donnée (unité), échelle spatiale, calcul et répétition temporelle	Code court	Répliquée "R" ou fréquences	Unité
Usage agricole	4 classes : fauche f, pâturage p, les 2 fp et pe pour pâturage avec chevaux	Classe d'usage par zone d'étude. Construite d'après enquête de terrain, répliquée sur les trois années.	usage	R	catégorie
Occupation du sol	Proportions d'assolement en bois, eau libre, cultures, prairies sur deux zones tampons de rayons 0à100, et 0à500.	Proportions (%) pour 4 types d'assolement sur deux zones tampons autour des stations VA, AM et OD. Construite via SIG, répliquées sur trois années.	bois_rayon;eau_rayon;cult_rayon;prai_rayon	R	%
	Proportions d'assolement en bois, eau libre (plans d'eau hors canaux), cultures, prairies sur zone d'étude	Proportions (%) pour 4 types d'assolement par zone d'étude. Construite via SIG, répliquées sur trois années.	bois;eau;cult;prai	R	%
	Surface des mares et plans d'eau	Surface (ha) par zone d'étude. Construite via SIG, répliquées sur trois années.	mares	R	ha
Densité de réseau de canaux	Linéaire des canaux calculées sur deux zones tampons de rayons 0à100 et 0à500 mètres	Longueur de trois types de canaux (m) sur deux zones tampons autour des stations VA, AM et OD. Construite via SIG, répliquées sur trois années.	I_rayon;II_rayon;III_rayon	R	m
	Linéaire des canaux primaires, secondaires et tertiaires sur la zone d'étude.	Longueur de trois types de canaux (m/ha) par zone d'étude. Construite via SIG, répliquées sur trois années.	prim;sec;ter	R	m/ha
Importance des haies	Score de linéaire de haies*score de largeur houppier*score de hauteur houppier	Score de haie par station VA et AM. Construite d'après relevé de terrain, répliquée sur trois années.	haie3D	R	score
Salinité des nappes superficielles	4 classes pour 1 à 2 nappes à salinité faible à forte (étude Poitiers) 1sfa à 2 sf	Classe de nappe par zone d'étude. Construite d'après relevé de terrain, répliquée sur trois années.	nappe	R	catégorie
Type de canal	3 classes : Primaire, secondaire ou tertiaire.	Classe de canal par zone d'étude. Construite via SIG, répliquée sur trois années.	ctype	R	catégorie
Type de sol	3 classes Argile, tourbe ou mixte (étude Poitiers)	Classe de sol par zone d'étude. Construite d'après relevé de terrain, répliquée sur trois années.	sol	R	catégorie
Gabarit canal	Hauteur de vase	Une valeur (m) par station PO. Mesurée sur le terrain au moment des suivis, une fois par an.	hvase	1*an	m
	Hauteur d'eau * largeur canal	Une valeur (m2) par station PO. Mesurée sur le terrain au moment des suivis, une fois par an.	lxho	1*an	m2
	Hauteur d'eau moyenne mai/juin * largeur canal	Une valeur (m2) par station VA et AM. Mesurée une fois par an à partir de relevés de terrain (largeur) et des sondes "eau de surface".	lxho	1*an	m2



Carbone organique dissous	Moyenne de 11 valeurs (une données tous les deux mois depuis mars 2015)	Une valeur par zone d'étude (mg/l). Moyenne calculée sur les données 2015/2016 des relevés UNIMA, répliquée chaque année.	corg	R	mg/l
Chlorophylle	Moyenne de 11 valeurs (une données tous les deux mois depuis mars 2015)	Une valeur par zone d'étude (µg/l). Moyenne calculée sur les données 2015/2016 des relevés UNIMA, répliquée chaque année.	chla	R	µg/l
Classification réseau trophique - coord ACP UNIMA	Coordonnées ACP issues des travaux UNIMA	Deux par zone d'étude. Coordonnées d'ACP issue du rapport UNIMA, répliquée chaque année.	uni1;uni2	R	-
Composés azotés	Moyennes de 11 valeurs de NO2, NO3 et NKj une données tous les deux mois depuis mars 2015	Trois paramètres par zone d'étude (mg/l). Moyennes calculées sur les données 2015/2016 des relevés UNIMA, répliquée chaque année.	no2;no3;nkj	R	mg/l
O2	Moyenne de 11 valeurs (une données tous les deux mois depuis mars 2015)	Une valeur par zone d'étude (%). Moyenne calculée sur les données 2015/2016 des relevés UNIMA, répliquée chaque année.	satO2	R	%
Orthophosphates	Moyenne de 11 valeurs (une données tous les deux mois depuis mars 2015)	Une valeur par zone d'étude (mg/l). Moyenne calculées sur les données 2015/2016 des relevés UNIMA, répliquée chaque année.	orthp	R	mg/l
Conductivité	Moyenne et max de 11 valeurs (une données tous les 2 mois depuis mars 2015)	Par zone d'étude, moyenne et maximum (µS/cm) calculés sur les données 2015/2016 des relevés UNIMA, répliquée chaque année.	cmoy;cmax	R	µS/cm
Conductivité pêche électrique	Sur le site de la pêche, à la date de la pêche, conductivité	Une valeur par station PO (µS/cm). Mesurée sur le terrain au moment des suivis, une fois par an.	pocond	1*an	µS/cm
Turbidité	Turbidité disque de secchi lors d'un passage AM	Une valeur par station AM (sans unité). Mesurée sur le terrain au moment des suivis, une fois par an.	turb	1*an	-
Altitude des groupements	Altitude relative à l'altitude du groupement le plus bas de la zone d'étude	Une valeur par groupement (m). Calculée par Lidar/GPS topographique, répliqué sur les trois années.	altcse	R	m
Altitude moyenne par zone	Altitude moyenne de la zone d'étude	Une valeur par zone d'étude (m). Calculée par Lidar/GPS topographique, répliqué sur les trois années.	alt	R	m

Durée d'inondation des groupements de végétation	Nombre de jours avec présence d'eau à deux seuils d'inondation ( $\geq 0$ cm et $\geq 10$ cm)	Une valeur par groupement (j). Calculée par la combinaison de données topographiques (cf altitude des groupements) et de hauteur d'eau mesurée par sonde piézométrique, un calcul tous les deux mois.	durx12;durx34.. durx1112	bimestrielle	jour
	Nombre de jours avec présence d'eau à deux seuils d'inondation ( $\geq 0$ cm et $\geq 10$ cm) 10,5 mois avant les relevés végétation (juillet 201x à 15 mai 201x+1)	Une valeur par groupement (j). Calculée par la combinaison de données topographiques (cf altitude des groupements) et de hauteur d'eau mesurée par sonde piézométrique, un calcul par an.	dur0p;dur5p;dur10p;dur15p	1*an	jour
	Stress hydrique. Nombre de jours avec niveau d'eau $< -42$ cm 10,5 mois avant les relevés végétation pour chaque groupement (juillet 201x à 15 mai 201x+1)	Une valeur par groupement (j). Calculée par la combinaison de données topographiques (cf altitude des groupements) et de hauteur d'eau mesurée par sonde piézométrique, un calcul par an.	dursevp	1*an	jour
	Stress hydrique. Nombre de jours avec niveau d'eau $< -42$ cm 10,5 mois avant les relevés végétation pour chaque groupement (juillet 201x à 15 mai 201x+1)	Idem par période de 2 mois	sevXY	bimestrielle	
Proportion de prairie inondée au printemps	Pour 4 dates sélectionnées (10, 20, 30 avril et 10 mai), les hauteurs d'eau piézométrique associées donnent les proportions de prairies inondées (zone d'étude à l'exclusion des espaces cultivées, des surfaces d'eau libre et des boisements).	Une valeur par zone d'étude (si suivi limicole) pour chacune des 4 dates. Calculée par combinaison des données topographiques et de hauteur d'eau mesurée par sonde piézométrique, un calcul par an.	ppi10av;pp120av;ppi30av;ppi10mai	1*an	%
Hauteur d'eau ds les canaux	Hauteur d'eau à la date de la pêche électrique	Une valeur (m) par station PO. Mesurée sur le terrain au moment des suivis, une fois par an.	poho	1*an	m
Potentiel d'assèchement des canaux	Indice* risque d'assèchement entre 0 (risque nul) et 6 (risque élevé)	Une valeur (indice) par canaux VA et AM. Construite par estimation de l'altitude du fond du canal combinée à la hauteur d'eau mesurée par une sonde "eau de surface", répliquée chaque année.	assec	R	catégorie
Niveau d'eau zone	Niveaux d'eau superficielle moyens par rapport à l'altitude moyenne de la zone d'étude	Une valeur (m) par zone d'étude. Calculée par la combinaison de données topographiques (cf altitude moyenne par zone) et de hauteur d'eau mesurée par sonde piézométrique, un calcul tous les deux mois.	ho12;ho34... ho1112	bimestrielle	m
	Coefficient de variation du niveau d'eau superficielle	Une valeur par zone d'étude. Ecart type divisé par la moyenne du niveau d'eau de la zone, tous les 2 mois.	cvar12;...cvar1112	bimestrielle	-
Pluviométrie	Cumul des précipitations	Une valeur (mm) par zone d'étude. Mesurée par différentes stations météo France, un calcul tous les deux mois.	pl12;pl34... pl1112 pl9mois	bimestrielle 1*an	mm

