



**GEOLAB**

Laboratoire de Géographie Physique et Environnementale



Etablissement public  
du Marais poitevin



## **Caractérisation des conditions environnementales dans les 11 zones d'études**

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

**Avril 2020**

Auteurs :

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

## Citation de ce rapport sous la forme suivante :

Gore Olivier, Bergerot Benjamin, Mauchamp André, Paillisson Jean-Marc et Anne Bonis, 2020, Caractérisation des conditions environnementales dans les 11 zones d'étude – Programme d'étude sur l'évolution de la biodiversité en lien avec la gestion de l'eau dans le Marais poitevin. Rapport UMRs ECOBIO & GEOLAB, CNRS-Universités Rennes I & Clermont Auvergne, EPMP, 53 p.

## Table des matières

I. Analyse bibliographique : quelles métriques pour décrire les conditions environnementales en marais .....	5
1. Classification des variables environnementales dans la littérature récente .....	5
2. Métriques utilisées pour décrire le régime hydrique en marais .....	8
3. Métriques utilisées pour décrire les variables autre que le régime hydrique .....	10
II. Méthodes et données utilisées pour caractériser les conditions environnementales dans les zones d'étude .....	11
1. Sources de données et échelles spatiales .....	11
2. Méthode d'acquisition des données .....	14
III. Caractérisation des conditions environnementales dans les habitats de type canaux des 11 zones d'étude .....	23
1. Nature et intensité des impacts anthropiques.....	23
2. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des canaux .....	23
3. Caractéristiques paysagères autour des canaux .....	27
4. Caractéristiques du régime hydrique dans les canaux.....	33
IV. Caractérisation des conditions environnementales dans les habitats « prairies humides » des 11 zones d'étude dans le Marais poitevin.....	36
1. Nature et intensité des impacts anthropiques.....	36
2. Caractéristiques physico-chimiques du sol .....	37
3. Caractéristiques paysagères autour des stations 'prairies' .....	37
4. Caractéristiques du régime hydrique au niveau des stations 'prairies' et le long de la toposéquence.....	38
V. Analyse multicritères des données environnementales dans les 11 zones d'étude .....	45
1. Méthode d'analyse multicritères des données environnementales .....	45
2. Analyse des données de qualité physico-chimique de l'eau des canaux.....	47
3. Analyse des données paysagères autour des canaux .....	50
4. Analyse des données relatives au régime hydrique (RH) dans les canaux.....	52
5. Analyse des données de régime hydrique des prairies.....	54
6. Approche par des variables caractérisant différentes composantes de l'environnement (différentes familles de variables).....	56
VI. Conclusions & perspectives.....	58

L'équipe chargée de cette étude est constituée de chercheurs et ingénieurs qui travaillent dans deux unités de recherche : l'UMR ECOBIO et l'UMR GEOLAB. Cette équipe est chargée plus globalement de la conduite du programme de recherche portant sur « 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 lesquelles les mesures et suivis sont effectués (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 pour la Protection des Oiseaux, l'association Obios, Ouest Aménagement, l'UNIMA), les partenaires de l'Observatoire du Patrimoine Naturel, les partenaires institutionnels (syndicats de marais, syndicats mixtes), le Forum des Marais Atlantiques pour les ressources fournies (bibliographie entre autres), ainsi que tous les partenaires avec lesquels des discussions ont eu lieu sur ce projet.

Le projet a bénéficié de l'aide de Françoise le Moal, Ingénieure d'étude au CNRS (ECOBIO), pour la mise en place de la Base de Données et la fourniture des données météorologiques. Guillaume Bouger (AI CNRS, UMS S3O OSUR) et Olivier Jambon (IE CNRS, UMR EcoBio) ont contribué à l'installation des sondes piézométriques de suivi des niveaux d'eau sur le terrain et ont apporté leur aide pour la gestion des données.

## Introduction

Ce rapport s'inscrit dans un programme de recherche conduit par l'UMR ECOBIO (CNR-Université Rennes I) et l'UMR GEOLAB (CNRS-Université Clermont Auvergne) depuis 2014 à la demande et avec le soutien de l'Etablissement Public du Marais Poitevin et de l'Agence de l'eau Loire Bretagne. Ce programme vise à mieux comprendre les liens entre différentes facettes caractérisant la biodiversité animale et végétale de la zone humide du Marais poitevin et les conditions environnementales, avec un intérêt particulier pour les niveaux d'eau dans les canaux et la durée d'inondation dans les prairies.

La présence de l'eau dans l'espace et dans le temps, ou **régime hydrique (RH)** des canaux et prairies est d'une caractérisation complexe. Une première partie de ce rapport consiste en un bilan synthétique de la façon dont la littérature scientifique récente rend compte des paramètres caractérisant l'environnement en système de marais, et du régime hydrique en particulier. Les effets majeurs connus dans la littérature en matière de liens entre le régime hydrique et la biodiversité sont également présentés.

La seconde partie de ce rapport présente les données d'environnement qui caractérisent les 11 zones d'étude de la biodiversité, qui ont été choisies dans le Marais poitevin par l'EPMP en 2014 (voir figure 1 page 12). L'acquisition des données permettant cette caractérisation environnementale a été conduite par différents fournisseurs de données (voir partie II.1).

Ce travail de caractérisation des conditions environnementales a été conduit pour décrire le régime hydrique et également un large panel de paramètres environnementaux susceptibles d'influencer l'expression de la biodiversité : qualité de l'eau dans les canaux, degré d'ombrage par des haies, type de sol en prairies, etc.

Les variables environnementales influencent très généralement la 'biodiversité' par leurs actions 'combinées'. nous avons cherché à approcher cette dimension multi-paramètres dans la caractérisation de chacune des 11 zones d'étude en conduisant des analyses multicritères pour chacune des grandes familles de variables environnementales soit le paysage ; l'impact anthropique ; la physique et chimie du substrat; le régime hydrique des habitats d'étude.

## I. Analyse bibliographique : quelles métriques pour décrire les conditions environnementales en marais

### 1. Classification des variables environnementales dans la littérature récente

**Les variables environnementales (VE)** doivent décrire l'environnement de la façon la plus pertinente possible pour permettre d'en apprécier les effets sur les différentes dimensions de la biodiversité étudiées. Cette analyse bibliographique a été ciblée sur les écosystèmes de marais ou des zones humides comparables avec une circulation d'eau de type « lentique ».

Nous avons conduit **une première analyse d'articles scientifiques parus entre 1974 et septembre 2018** (annexe V). L'analyse porte sur 27 articles bien représentatifs de cette littérature (listés en annexe III), qui croisent des informations sur l'environnement et la biodiversité des habitats prairiaux et aquatiques. Les variables environnementales renseignées peuvent être classées en 5 familles, chacune étant ensuite déclinée en plusieurs sous familles.

Les 5 familles de variables environnementales sont :

- Impact anthropique ;
- Physique et chimie du substrat ;
- Paysage ;
- Régime hydrique ;
- Environnement biotique.

Cette approche bibliographique vise à pouvoir situer le jeu de variables environnementales (appelées « VE » par la suite) caractérisant les 11 zones d'études du Marais poitevin dans cette classification. Le tableau 1 classe les variables renseignées dans le projet 'Marais poitevin' dans les familles et sous familles des VE répertoriées dans la littérature. Ce tableau précise également les échelles de temps et les échelles spatiales qui caractérisent ces travaux ainsi que la faisabilité de l'acquisition de ces données.

**Une seconde analyse des articles a été réalisée portant sur les publications parues entre 2000 et 2019 (annexe VI) et est focalisée spécifiquement sur la caractérisation du régime hydrique (RH** par la suite) en zone de marais : les articles retenus portent tous sur les liens entre les caractéristiques du régime hydrique (RH) et les patrons de biodiversité (voir paragraphe II.1). Cette analyse porte sur 82 articles (listés en annexe IV) et permet de compléter la 1ère analyse bibliographique en matière de classification des variables de la famille régime hydrique (Tableau 1, 2ième page).

Certaines sous familles de VE ont été considérées comme non pertinentes pour le travail sur le Marais poitevin et n'ont pas été renseignées. Il s'agit : 1- de la sous famille « accidents », dans la famille « impact anthropique » (l'occurrence, dans la littérature, de feux de prairies, ce qui n'est pas approprié dans le cas des prairies du Marais poitevin) ; 2- des sous familles « débits » et « volume de l'inondation » dans la famille « régime hydrique » qui concernent davantage les milieux lotiques que ceux lentiques.

La famille des métriques 'environnement biotique' n'est pas à proprement parlé une famille de variables environnementales au sens général : elle dépend entièrement des jeux de données « biodiversité » à analyser et si ces paramètres sont bien pris en compte dans les analyses sur la biodiversité, ces métriques ne sont pas présentées dans ce rapport.

**Tableau 1 : classification des variables environnementales disponibles pour le projet sur le Marais poitevin, selon les familles et sous familles identifiées à partir d'une synthèse de la littérature scientifique publiée entre 1974 et 2018 (première analyse bibliographique) et entre 2000 et 2019 pour la famille régime hydrique (deuxième analyse bibliographique). Voir annexe III pour la liste des articles consultés.**

<b>Familles et sous-familles de variables</b>	<b>Exemple de variables mesurées</b>	<b>Méthode d'acquisition des données</b>	<b>Échelles spatiales</b>	<b>Fréquence mesure</b>	<b>Disponibilité des données sur le territoire et mode d'acquisition</b>
<b>Impact anthropique</b>					
<b>Agriculture</b>	Type de gestion agricole (pâturage, fauche, etc.)	Enquête terrain / RPG	Station 'prairies'	Pluri annuelle	Possibilité d'acquisition par enquête.
<b>Entretien - gestion</b>	Date de curage approchée par la hauteur de vase. Date du dernier curage s'il est récent	Mesure terrain / Enquête terrain	Station canaux	Annuelle	Possibilité d'acquisition par enquête.
<b>Physique et chimie du substrat</b>					
<b>Physique et chimie du sol</b>	Épaisseur de l'horizon organique, la conductivité de la nappe d'eau superficielle dans le sol	Etude pédologique	Zone d'étude, prairie	Pluri annuelle	Acquisition difficile, requière une étude pédologique.
<b>Physique et chimie de l'eau</b>	Température, conductivité, pH, saturation en oxygène, turbidité, COD, teneur nutriments, chlorophylle a	Mesure de terrain	Station canaux	Tous les deux mois ou au moment du suivi	Certains paramètres très accessibles (sondes multiparamètres), d'autres nécessitent des analyses en laboratoire.
<b>Topographie</b>	Altitude du site (moy, min, max), altitude des groupements de végétation le long de la toposéquence	Lidar + relevés GPS topographiques	Zone d'étude, station prairies, groupements végétaux	Pluri annuelle	Lidar insuffisamment précis, complément nécessaire par mesures topographiques complémentaires.
<b>Paysage</b>					
<b>Connectivité</b>	Linéaires de canaux, linéaires de canaux connectés, distance au canal primaire le plus proche	Analyse par SIG à partir de données cartographiques	Zone d'étude, stations canaux et prairies, zones tampons de différentes tailles autour des stations	Pluri annuelle	Possible via analyse SIG sur toute la ZH
<b>Occupation des sols</b>	Proportion de chaque type d'habitat (bois/prairies/cultures) ; indice de fragmentation, de diversité, d'hétérogénéité des paysages...	SIG, logiciel Fragstat, relevés de terrain (haies)	Zone d'étude, stations, zones tampons	Pluri annuelle	Possible via analyse SIG sur toute la ZH pour certaines sources SIG (cartographie par télédétection & RPG).
<b>Autres caractéristiques du paysage</b>	Largeur canal, largeur*hauteur d'eau; proportion et importance des haies	Relevé de terrain	Station canal	Annuelle	Nécessite des mesures de terrain.

**Tableau 1 (page 2) : classification des variables environnementales disponibles pour le projet sur le Marais poitevin, selon les familles et sous familles identifiées à partir d'une synthèse de la littérature scientifique publiée entre 1974 et 2018 (première analyse bibliographique) et entre 2000 et 2019 pour la famille régime hydrique (deuxième analyse bibliographique). Voir annexe VI pour la liste des articles consultés.**

<b>Familles et sous familles de variables</b>	<b>Synthèse variables disponibles</b>	<b>Source</b>	<b>Échelles spatiales</b>	<b>Fréquence mesure</b>	<b>Disponibilité des données sur le territoire et mode d'acquisition</b>
<b>Régime hydrique</b>					
<b>Amplitude des fluctuations de niveaux d'eau</b>	Coefficients de variation sur différentes périodes	Limnigraphe	Zone d'étude, station canal	Mensuelle, annuelle, saison	Possible si limnigraphe en place.
<b>Durée inondation/assec</b>	Durée d'assec d'un canal, durée d'inondation en zone prairiale	Limnigraphe, piézomètre, MNT	Station canal, groupement VP	Mensuelle, annuelle, saison, année n-1	Possible si limnigraphe et/ou piézomètre en place.
<b>Hauteur d'eau inondation/plan d'eau</b>	Hauteur d'eau, hauteur moyenne, intensité d'inondation (FLOOD type SEV)	Limnigraphe, piézomètre, MNT	Zone d'étude, Station canal, groupement VP	Instantanée, mensuelle, annuelle, saison, année n-2	Nécessite la pose d'un piézomètre dans la prairie et des relevés topographiques.
<b>Intensité d'inondation/sécheresse, humidité du sol</b>	Intensité des stress hydrique et anoxique (par engorgement du sol) pour les plantes et sols (SEV)	Type de sol, piézomètre, MNT	Groupement VP	Mensuelle, saison	Nécessite la pose d'un piézomètre dans la prairie et des relevés topographiques.
<b>Pluviométrie/évaporation</b>	Pluviométrie, Evapotranspiration	Météo France	Zone d'étude	Mensuelle, saison, année n-1	Oui si acquisition données Météo France.
<b>Période/occurrence d'un évènement inondation/assec etc.</b>	Durée depuis le dernier assec, probabilité d'assèchement	Limnigraphe, MNT	Station canal	Annuelle	Possible si limnigraphe en place.
<b>Surface en eau</b>	Surface inondée	MNT, limnigraphe, données RADAR	Zone d'étude	Annuelle, mensuelle	Données RADAR disponibles sur la ZH, difficile à traiter.
<b>Type de gestion - perturbation</b>	Type de canal (primaire, tertiaire etc.) + voir catégorie impact anthropique	SIG, enquête terrain	Station canal	Pluri annuelle	Possible via SIG sur toute la ZH
<b>Débits</b>	Débits des fleuves en amont du marais	Débitmètres	Non utilisé	Non utilisé	Pour les fleuves Vendée, Sèvre Niortaise et Lay

## 2. Métriques utilisées pour décrire le régime hydrique en marais

Parmi les nombreux facteurs qui influencent l'état de la biodiversité dans les zones humides, ceux liés aux niveaux d'eau et à la répartition de l'eau dans l'espace et dans le temps, tiennent une place primordiale. Cette famille de variables environnementales 'régime hydrique' est une clé d'interprétation centrale de nos travaux et a donc fait l'objet d'une attention particulière.

Une étude de la bibliographie a permis de recenser et de décrire les variables de « type régime hydrique » et d'observer leurs effets, seuls ou en combinaisons, dans les analyses sur la biodiversité des zones humides. Cette analyse bibliographique met tout d'abord en évidence la diversité des termes utilisés pour décrire le régime hydrique. Elle met également en évidence la diversité des situations : les zones humides regroupent une diversité de situations plus ou moins permanentes, anthropisées, tourbeuses, sous influence marine, sous influence de cours d'eau, à différentes altitudes ou latitudes, etc.. En lien avec cette diversité terminologique et de situations, on retrouve dans la bibliographie une grande diversité d'intitulés et de natures des variables utilisées pour décrire les caractéristiques de leurs régimes hydriques. Cette diversité de métriques traduit à la fois une diversité de type de variables, une diversité de modes de construction ou de calculs de variables combinant différentes données. Elle reflète aussi l'hétérogénéité des données sources disponibles, des échelles spatio-temporelles, et des problématiques traitées. Le résultat est qu'il est très difficile de comparer les caractéristiques de régimes hydriques d'une étude à l'autre, comme leurs effets sur la biodiversité et qu'une caractérisation plus homogène et systématique est à souhaiter pour permettre le développement des connaissances.

L'étude des intitulés des unités de mesures ou du sens donné à ces métriques de régime hydrique (ou RH) a permis d'établir une classification détaillée des sous familles qui est présentée dans le tableau 2. Ces sous familles sont les suivantes :

**Durée inondation/ durée d'assec (nombre d'études concernées : n=103)** : Il s'agit de décrire la dimension temporelle d'un événement ou d'une condition. Ces variables décrivent la durée d'un événement hydrique telle qu'une inondation (n=88), une exondation (n=1), un assec (n=9), un flux (n=5). Les résultats sont exprimés en nombre de jours, ou par classes d'intensité d'évènements : durée d'un flux d'eau ou d'une inondation de niveau qualifiée de « faible », « moyenne » ou « forte ».

**Période/occurrence d'inondation/assec (n=56)** : Cette sous famille regroupe essentiellement des variables de type : nombre d'inondations par an, nombre d'évènements tels que des débits élevés, date d'une inondation (par classes) etc.

**Hauteur d'eau inondation/plan d'eau (n=82)** : Le régime hydrique est caractérisé par la hauteur d'eau ou la profondeur de la colonne d'eau. En général exprimée en mètre ou centimètres, la hauteur prise en compte peut être la hauteur maximale, moyenne, médiane, minimale sur un pas de temps souvent annuel (41%), mensuel (25%), journalier (16%) et plus rarement par saison, par semaine ou toutes les deux semaines.

**Débit (n=2)** : Cette sous famille très homogène concerne les milieux plus lotiques et regroupe des variables exprimées le plus souvent en  $m^3.s^{-1}$  pour caractériser un débit maximum, minimum, moyen sur différents pas de temps. Peu d'études sur les écosystèmes de marais ou les canaux utilisent le débit comme caractéristique de RH.

**Volume de l'inondation (n=8)** : Le volume des inondations est renseigné sur l'année, la saison ou sur la durée de l'évènement (pic de l'inondation par exemple).

**Surface en eau (n=20)** : La surface en eau est mesurée sur des pas de temps annuels, saisonniers, mensuels ou sur la durée d'un évènement d'inondation.

**Humidité du sol (n=9)** : Différentes mesures rendent compte de l'humidité dans le sol comme la surface saturée en eau, du volume d'eau dans le sol, de la somme des écarts du niveau d'eau dans le sol par rapport à un seuil qui correspond à la limite de profondeur du sol prospectée par les racines des plantes (*SEV dry* pour la sécheresse, *SEV flood* pour l'excès d'humidité).

**Amplitude des fluctuations (n=28)** : Le type de fluctuations pris en compte diffère entre les articles concernés : amplitudes de variations de niveaux d'eau, des écarts interquartiles, des coefficients de variations des pentes de courbes de niveaux, des taux de récession etc.

**Connectivité (n=6)** : La connectivité à une source d'eau permanente (rivière, canal) est mesurée par la durée de connexion, ou par la distance à la source, et parfois seulement caractérisée de façon qualitative par la taille du canal, l'existence d'une connexion ou non.

**Situation/localisation de la zone d'étude dans la ZH (n=6)** : Distance par rapport à la marge de la zone humide, distance par rapport à l'eau permanente, type de milieu (berge, canal) composent cette sous famille.

**Type de gestion ou perturbation (n=12)** : ces variables sont exprimées en catégories : perturbés ou non, drainés ou non, catégories de gestion etc.

**Pluviométrie/évaporation (n=7)** : Apparaissant dans une seule publication, l'évaporation et la pluviométrie est cumulée au mois, au bimestriel, à la saison ou à l'année. Toutefois, des données météorologiques sont fréquemment utilisées dans les études. Elles peuvent être présentées, pour préciser le contexte, ou utilisées pour calculer des variables RH, par exemple, un cumul de précipitation peut être utilisé pour approcher un volume d'eau présent dans la zone humide.

**Métrique composite (n=20)** : Cette sous famille regroupe des métriques multicritères mobilisant différentes sous familles (par exemples, classification de zones en fonction de risque d'inondation et de distance à une source d'eau ; des modèles débits/volumes etc.).

**Tableau 2 : Sous familles de la famille de métriques relatives au régime hydrique d'après une seconde analyse bibliographique sur 82 articles publiés entre 2000 et juin 2019**

Sous famille	Nombre de tests	Proportion de tests (%) pour lesquels des liens sont obtenus parmi tous les tests présentés dans les articles (nombre entre parenthèses)						
		Macrofaune aquatique (24)	Amphibiens (17)	Poissons (71)	Oiseaux (66)	Mousses (25)	Végétation aquatique (19)	Végétation prairiale (157)
Amplitude des fluctuations	(28)	0% (1)		100% (2)	25% (4)	89% (9)		33% (12)
Connectivité	(6)			100% (6)				
Débit	(26)			0% (1)	13% (8)			41% (17)
Durée inondation/assec	(103)	67% (6)	78% (9)	91% (33)	45% (11)	67% (3)	100% (4)	73% (37)
Hauteur d'eau/inondation	(80)	33% (6)	100% (1)	83% (12)	92% (13)	92% (13)	100% (5)	70% (30)
Humidité du sol	(9)							100% (9)
Métrique composite	(20)	100% (3)	100% (3)	100% (1)	67% (9)		100% (4)	
Période/occurrence d'inondation/assec	(56)		100% (1)	89% (9)	11% (9)		100% (2)	45% (33)
Pluviométrie/évaporation	(7)							0% (7)
Situation/localisation dans la ZH	(6)		0% (3)				100% (1)	100% (2)
Surface en eau	(20)			80% (5)	43% (7)		100% (3)	60% (5)
Type de mangement - perturbation	(12)	100% (8)		100% (1)				100% (3)

### 3. Métriques utilisées pour décrire les variables autre que le régime hydrique

Parmi les 27 articles retenus à partir de la première analyse bibliographique, 209 variables décrivant l'environnement ont été identifiées. Ces variables sont celles prises en compte dans des modèles cherchant à expliquer des états de biodiversité observés. Les tableaux 2 et 3 montrent ces familles de métriques environnementales et précisent pour chacune :

- le nombre de fois où leur effet sur la biodiversité a été testé,
- la proportion d'études où un effet significatif sur la biodiversité a été trouvé, par habitat (tableau 3) ou par groupe taxonomique (tableau 4).

Ces résultats bibliographiques conduisent aux constats suivants :

- La prise en compte de l'**impact anthropique** est dominée par la dimension agricole (fertilisation, type de pratique, drainage ou intensité de pâturage), surtout pour l'habitat prairie. La gestion concerne une publication via l'effet du curage des canaux, testé sur les larves d'odonates, de trichoptères et d'amphibiens. Dans cet article, aucun effet n'a été noté sur les odonates. La sous famille « accident » rend compte de l'action du feu sur certaines prairies.

- Pour décrire le **paysage**, l'occupation du sol n'est utilisée que dans 5 articles sur les 27 étudiés. Cette sous famille est retenue comme significative dans 67% sur des modèles relatifs à l'avifaune, 2 fois sur 2 pour les plantes et 1 fois sur 1 pour une étude sur les invertébrés aquatiques. Le paysage est décrit essentiellement par la proportion de prairies, de boisement ou la densité de plans d'eau. La connectivité (distance au canal, isolation hydrologique etc..) est utilisée pour les organismes aquatiques (invertébrés aquatiques et poissons). Elle est rarement associée aux taxons invertébrés (10%), mais bien plus avec les poissons (50%), par l'intermédiaire de variables de richesse spécifique (n=3), de biomasse ou abondance (n=3 ou de densité (n=2).

- La famille « physique et chimie » se décline pour les substrats sol (physique, chimie et topographie) et eau (physique et chimie). La chimie du sol (teneur en azote, en phosphore, et en matière organique) caractérise les habitats prairiaux et leurs effets sont testés sur la végétation. L'effet de la physique du sol (proportion d'argile, de sables, etc.) est analysé sur la végétation des prairies et des canaux (type de substrat, granulométrie, profondeur de vase) et pour la macrofaune aquatique. La chimie de l'eau (conductivité, oxygène, azote, matière organique, chlorophylle, etc.) est surtout utilisée dans les analyses sur la macrofaune aquatique sur laquelle elle a souvent un effet significatif. La physique de l'eau (température, turbidité) est rarement retenue comme significative dans les analyses de biodiversité. La topographie est utilisée pour caractériser les prairies et la végétation prairiale.

**Tableau 3 : Nombre de tests et rapports testés / retenus des variables environnementales par habitat**

Familles	Sous familles	Nombre de tests	Proportion de tests (%) pour lesquels des liens sont obtenus parmi tous les tests présentés dans les articles (nombre entre parenthèses)	
			Habitat aquatique	Habitat prairie
<b>Impact anthropique</b>	Accidents	2		50% (2)
	Agriculture	45	33% (3)	69% (42)
	Maintenance	3	67% (3)	
<b>Paysage</b>	Connectivité	18	25% (18)	
	Occupation des sols	12		75% (12)
<b>Physique et Chimie du substrat</b>	Chimie du sol	15		80% (15)
	Chimie de l'eau	29	67% (18)	36% (11)

Physique du sol	20	67% (9)	10% (11)
Topographie	5		100% (5)
Physique de l'eau	14	22% (9)	20% (5)

**Tableau 4 : Nombre de tests et rapports testés / retenus des variables environnementales par taxon**

Familles	Sous familles	Nombre de tests	Proportion de tests (%) pour lesquels des liens sont obtenus parmi tous les tests présentés dans les articles (nombre entre parenthèses)			
			Végétation	Invertébrés aquatiques	Oiseaux	Poissons
<b>Impact anthropique</b>	Accidents	2	50% (2)			
	Agriculture	45	91% (23)	50% (4)	39% (18)	
	Maintenance	3		67% (3)		
<b>Paysage</b>	Connectivité	18		10% (10)		50% (8)
	Occupation des sols	12	100% (2)	100% (1)	67% (9)	
<b>Physique</b>	<b>et</b> Chimie du sol	15	80% (15)			
<b>Chimie</b>	<b>du</b> Chimie de l'eau	29	33% (6)	56% (18)		60% (5)
<b>substrat</b>	Physique du sol	20	18% (11)	57% (9)		
	Topographie	5	100% (20)			
	Physique de l'eau	14		22% (9)		20% (5)

## II. Méthodes et données utilisées pour caractériser les conditions environnementales dans les zones d'étude

### 1. Sources de données et échelles spatiales

Toutes les familles de variables environnementales identifiées dans les analyses bibliographiques réalisées (voir partie I) ont été renseignées dans ce projet sur le Marais poitevin. En outre, la majorité des sous familles sont également représentées dans le jeu de données « variables environnementales » acquis dans le projet (voir Annexe II).

Plusieurs sources d'informations ont permis d'élaborer les variables environnementales pour caractériser les conditions environnementales des zones d'étude. Dans le cadre de ce travail qui porte sur le Marais poitevin, les sources principales d'information sont les suivantes :

- Les jeux de données émanant de l'EPMP : en tant que porteur de projet, l'EPMP est le principal pourvoyeur de données. Des données de base ont été récoltées spécifiquement pour cette étude dans le cadre du marché publique faisant intervenir différents opérateurs de terrain (Obios, AQUASCOP) ou dans le cadre du contrat de coopération avec le laboratoire ECOBIO.
- Sources ECOBIO – EPMP : pour les données relatives à l'occupation du sol, une cartographie par télédétection commandée par l'EPMP au laboratoire ECOBIO a été utilisée (Rapinel et al. 2015<sup>1</sup>).
- Données Université de Poitiers-EPMP : 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'étude (Dudoignon et al. 2016<sup>2</sup>).

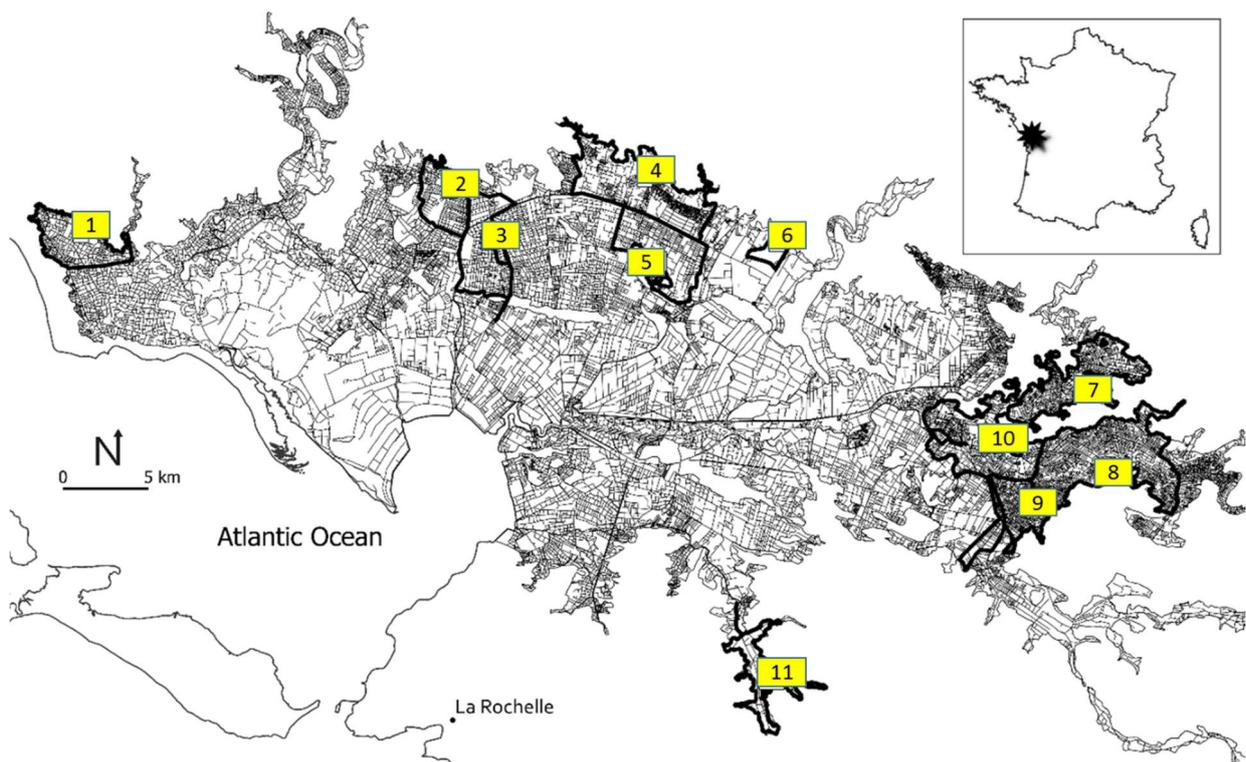
<sup>1</sup> Rapinel, S. & Bonis, A. & Oszwald, J. & Taureau, F. & Mansons, J. & Bouzillé, J-B. (2015). Cartographie des végétations herbacées des marais littoraux à partir de données topographiques LiDAR. Revue Française de Photogrammétrie et de Teledetection. 210. 17-21.

<sup>2</sup> 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.

- Données UNIMA – FMA-Université de la Rochelle-EPMP : issues d'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 la qualité de l'eau sur les 11 zones d'étude et de les situer avec des données d'autres marais de la façade Atlantique.
- Données IGN : des données de références (BD topo, Litto3D®) rendues accessibles par l'EPMP 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 à proximité du 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.

La localisation des zones d'étude et la dimension spatiale des données sur l'environnement :

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, sachant que certaines unités sont plus similaires que d'autres sur ce point précis. En 2013, l'EPMP en a sélectionné 11 et c'est au sein de ces 11 secteurs hydrauliques qu'ont été choisies les 11 zones de suivi de la biodiversité et de caractérisation environnementale (figure 1).



**Figure 1 : Localisation des secteurs hydrauliques étudiés. 1 = Longeville sur mer ; 2 = Luçon ; 3 = Champagné les marais ; 4 = Nalliers ; 5 = Chaillé les marais ; 6 = Le Poiré sur Velluire ; 7 = Sainte Christine ; 8 = Le Mazeau ; 9 = Saint Hilaire la Palud ; 10 = La Ronde ; 11 = cuvette de Nuillé.**

Les 11 **zones d'étude** d'environ 330 hectares correspondent aux parties des secteurs de plus faible altitude et donc les plus susceptibles d'être inondées. Ces zones d'étude, périmètre du suivi limicole (LI), accueillent toutes les autres **stations d'étude**. Pour chaque zone d'étude, les stations de suivi 'biodiversité' suivantes ont été mises en place dès 2014 :

- Les stations du suivi de la végétation prairiale (VP), n=10 transects dans dix prairies,

- Les stations de suivi de la végétation aquatique (VA), n=10 portions de canaux
- Les stations de suivi de la macrofaune aquatique (AM), n=5 portions de canaux (mutualisation avec VA),
- Les stations de suivi des odonates (OD), 2 portions de canaux + prairie (mutualisation avec VA),
- Les stations de suivi des écrevisses (EC), 1 portion de canal (mutualisation avec VA),
- Les stations de suivi des poissons (PO), 1 portion de canal.

La figure 2<sup>3</sup> présente leur répartition sur la zone d'étude 3. La localisation des différents suivis est chaque fois que possible identique ou très proche.

Afin de rendre compte au mieux des conditions environnementales, **plusieurs échelles spatiales** sont considérées : elles varient en fonction du groupe taxonomique, du paramètre environnemental considéré ou de la question posée.

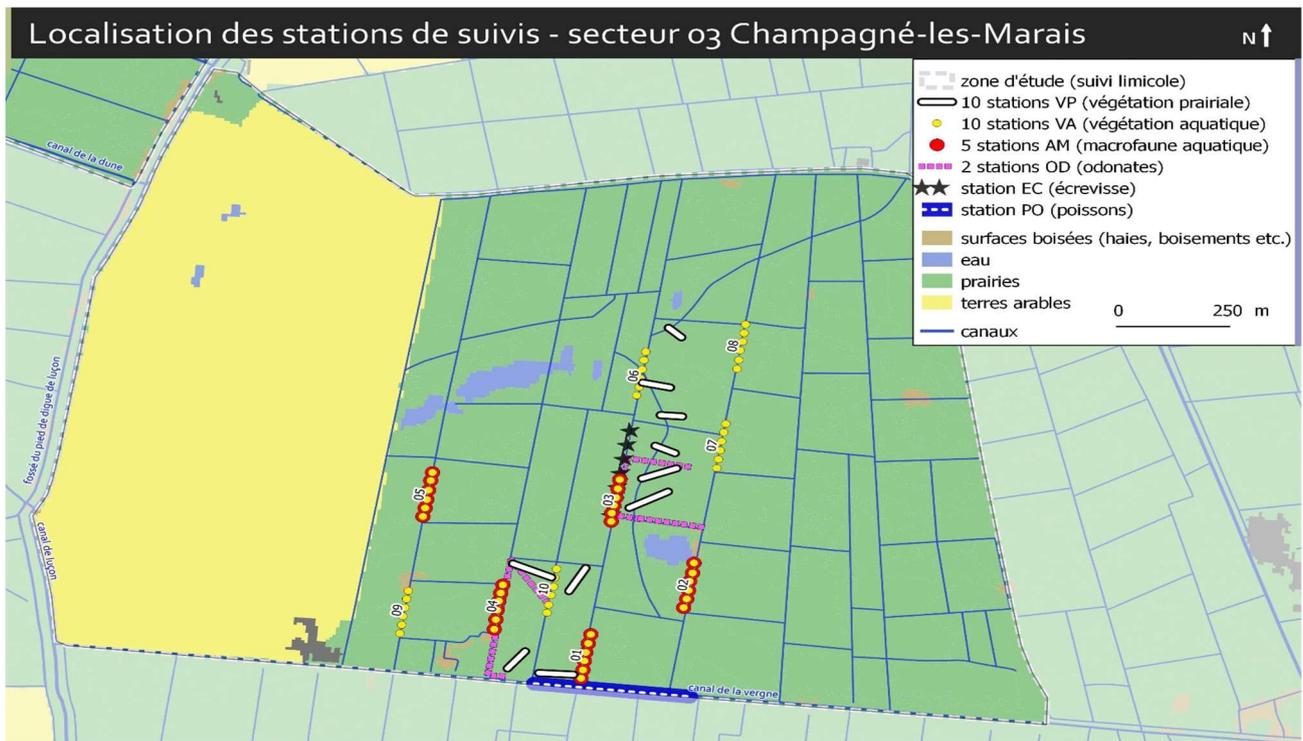
#### Différentes échelles spatiales utilisées pour caractériser une zone d'étude :

- Echelle locale : au niveau de la station de suivi ;
- Infra station : Groupement de végétation prairiale homogène (à l'unité d'échantillonnage) ;
- Différents polygones, tracés autour des stations correspondant à des surfaces définies par différents rayons « r » de 50 mètres, 100 mètres, 250 mètres ou 500 mètres. On parle de tampon quand l'espace considéré est situé entre la station d'étude et le périmètre de rayon « r » (par exemple T500 = ce qui est situé à 500 mètres autour de la station). On parle d'anneaux quand l'espace considéré exclue un rayon concentrique de rang inférieur (par exemple A50-250 = ce qui est situé entre les rayons 50 et 250 mètres. (figure 3) ;
- Tampon de 2km de rayon à partir du centre des zones d'études.

---

<sup>3</sup> Voir l'annexe cartographique du document : Gore O., Mauchamp A., Bergerot B., Paillisson J.-M. et A. Bonis, 2018, Caractérisation des stations et des zones de suivi sur le plan environnemental, Rapport de l'UMR ECOBIO CNRS- Université Rennes I –EPMP

[http://www.epmp-marais-poitevin.fr/wordpress/wp-content/uploads/2018-03\\_atlas\\_carto\\_suivi\\_biodiv.pdf](http://www.epmp-marais-poitevin.fr/wordpress/wp-content/uploads/2018-03_atlas_carto_suivi_biodiv.pdf)



Sources : IGN BD Topo, ECOBIO-EPMP / Conception et réalisation : EPMP et ECOBIO, octobre 2017

Figure 2 : Zone d'étude de Champagné les marais et stations d'application des protocoles. VP = Végétation Prairiale ; VA = Végétation Aquatique ; AM = Macrofaune Aquatique ; OD = Odonates ; EC = écrevisses ; PO = poissons.



Figure 3 : Rayons autour du tronçon odonate (station OD) n°2 sur la zone de Champagné-les-Marais.

## 2. Méthode d'acquisition des données

### a) Caractérisation de l'impact anthropique

- **Agriculture :**

Sources de données : enquête de terrain

Echelle spatiale : Zone d'étude et habitats prairiaux

Variabes : modalités d'exploitation

Les suivis 'VP' (végétation prairiale) sont réalisés dans des parcelles de prairies inondables, sélectionnées en 2014 par l'équipe de recherche. Ces parcelles ont été choisies pour être les plus représentatives possible des prairies et des pratiques agricoles de chaque casier (ou unité) hydraulique. Les critères de choix des

stations de suivi VP ont été les suivants : i) ne choisir que des prairies qui étaient gérées par le pâturage (uniformité du mode de gestion par conséquent), ii) parcelles non contiguës les unes des autres, iii) consentement des exploitants.

En ce qui concerne les pratiques de gestion, les enquêtes réalisées auprès des exploitants agricoles depuis le démarrage du projet montrent que des pratiques de fauche peuvent également avoir lieu en complément de la pratique de pâturage, qui reste tout de même largement dominante. Par ailleurs, ces enquêtes permettent de récolter des informations précises sur les pratiques appliquées à chaque parcelle : usage dominant, chargement en bétail, date de mise à l'herbe etc. La prairie est ainsi caractérisée par la pratique dominante : pâturage par bovins ou bovins/équins, fauche/pâturage ou encore fauche.

**1 variable = le type de gestion agricole.**

- **'Maintenance' (curage) :**

Sources de données : enquête de terrain et mesures de terrain

Echelle spatiale : station canal

Variables : calcul du nombre d'années depuis le dernier curage (si récent) et rapport hauteur de vase / (hauteur d'eau + hauteur de vase)

En tant que zone humide aménagée et entretenue par l'homme, le Marais poitevin est caractérisé par un réseau de canaux plus ou moins denses (voir figure 1) totalisant un linéaire de 8000 km. Ces canaux sont entretenus régulièrement par des structures collectives (la plupart des canaux primaires et secondaires) mais moins régulièrement et moins fréquemment quand ils sont de statut privé, ce qui est le cas de la plupart du réseau tertiaire. Les enquêtes de terrain concernant les modalités de gestion des canaux tertiaires avant 2010 ne permettent pas de fournir des données fiables sur cette période. Depuis cette date, les visites de terrain permettent de déterminer précisément les canaux faisant l'objet d'opérations de curage, celles-ci ont porté sur 23 des 121 stations « canaux » étudiées (110 pour le suivi VA et 11 pour le suivi PO). L'information relative aux curages de tous les autres canaux ne peut être qu'indirecte et nous avons ainsi mesuré les hauteurs de vase : elles sont élevées dans les 101 autres stations, ce qui permet de conclure que ces canaux n'ont pas été curés après 2010, leurs curages datant donc d'au moins 5 ans avant le début de l'étude.

**2 variables = nombre d'années depuis le dernier curage et le taux d'envasement.  
(Le taux d'envasement est aussi un paramètre rattaché à la famille « physique du substrat »).**

b) Caractériser les conditions physiques et chimiques du substrat

- **Physique et chimie du sol :**

Sources de données : étude pédologique de Dudoignon et *al.* (2016).

Echelle spatiale : zone d'étude station VP

Variables : mesures physico-chimiques.

En tant qu'ancien golf marin, la zone humide du Marais poitevin a hérité d'une nappe d'eau d'imbibition caractérisée par une salinité assez forte, conduisant localement à des sols de conductivité parfois bien marquée. Cette caractéristique varie suivant les zones ainsi que selon la profondeur du sol.

**Sous famille physique du sol : 1 variable = l'épaisseur de l'horizon organique ;  
Sous famille chimie du sol : 1 variable = la conductivité de la nappe de surface.**

- **Physique et chimie de l'eau :**

Sources de données : La source de données la plus complète et la plus utilisée provient de l'étude conduite par l'UNIMA, le FMA et l'Université de La Rochelle<sup>4</sup> sur le fonctionnement trophique des eaux de marais, sur différents marais Atlantiques dont le Marais poitevin. Les données ont été collectées dans chacune des 11 zones d'étude, tous les deux mois, depuis mars 2015. Deux autres jeux de données ont été acquis dans le cadre de ce programme de recherche : la conductivité et la turbidité de l'eau ont été mesurées lors des suivis sur les invertébrés aquatiques et les amphibiens (jeu de données « AM », 1 relevé sur 5 stations par an entre mi-mai et mi-juin) et les poissons (PO, un relevé sur une station par an fin juin). Un troisième jeu de données a été constitué en 2017 sur les 110 stations de suivi de la végétation aquatique au mois de mai (« aquascop2017 ») ; il comporte la mesure de pH, de conductivité et de saturation en oxygène de l'eau. Ces données permettent de disposer de données sur la variabilité intra-zones.

Echelle spatiale : zone d'étude et station VA

Variables : Données UNIMA : Une seule des 11 stations 'canaux' a été caractérisée sur le plan de la qualité de l'eau. Divers paramètres (voir ci-dessous) sont relevés tous les 2 mois depuis mars 2015. Les valeurs retenues ici sont leurs moyennes annuelles des trois relevés situés sur les périodes de suivi faune-flore, soit en mars, mai et juillet, pour chacun des paramètres mesurés. Les données de turbidité (jeu de données « AM », 5 par zone) sont moyennées pour renseigner l'échelle zone d'étude.

Les données « Aquascop » de 2017 sont utilisées pour observer la variabilité intra-zone.

**Sous famille physique de l'eau : 2 variables = la température et la turbidité ;**  
**Sous famille chimie de l'eau : 10 variables = 5 nutriments (NH<sub>4</sub>, NKj, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>), conductivité, carbone organique dissous, pH, saturation en oxygène et Chlorophylle a (ce dernier pourrait également intégrer la famille environnement biotique).**

- **Topographie :**

Sources de données : MNT litto 3D et relevées GPS topographique.

Echelle spatiale : zone d'étude, stations VP et groupements de végétation.

Variables : 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 justifiée par des relevés au GPS centimétrique. A l'échelle de la zone d'étude, est mesurée l'altitude moyenne. A l'échelle des stations VP, sont calculées les altitudes moyennes, minimales et maximales. A l'échelle des groupements de végétation, sont utilisées l'altitude dans le référentiel NGF, ou l'altitude relative (écart au point bas de chaque zone par exemple) permettant la comparaison entre zones.

**7 variables : altitude moyenne (zone d'étude, station VP) ; altitude max et amplitude topographique (station VP) ; altitude NGF et relative à l'altitude du groupement le plus bas de la zone d'étude (groupement de végétation).**

c) Caractériser l'environnement paysager des stations d'étude

- **Occupation du sol**

Sources de données : Trois sources de données potentielles ont été considérées :

- Cartographie NATURA 2000 : son intérêt est de présenter une multitude de modalités d'habitats, dont certains d'intérêt patrimoniaux qui intègrent des conditions environnementales et des cortèges faunistiques et floristiques particuliers (tourbières, coteau calcaire, etc.). Cette

---

<sup>4</sup> UNIMA-QUALYSE. Mise en place opérationnelle d'un suivi du niveau trophique des eaux superficielles du Marais poitevin. Bilan opérationnel 2019. 2020, 14p.

cartographie ne couvre cependant pas la totalité de la zone humide et ne permet pas d'accéder aux informations sur les 11 zones d'étude, elle n'a donc pas pu être utilisée.

- RPG de 2016 (figure 5) : cette couche SIG précise les assolements par type de cultures ou de prairies renseignés à la parcelle agricole. Elle couvre une très forte part de la superficie des zones d'étude (90.9% à 52.1% des zones tampons de 2 km, respectivement) et la quasi-totalité des surfaces agricoles. Ces données ont été utilisées, et les usages classés en deux modalités : prairies ou cultures.
- Cartographie des grands types d'habitats par télédétection (Rapinel et al. 2018, figure 4) : cette cartographie couvre la totalité de la zone humide et ses bordures. Elle est basée sur l'analyse de données issues de la télédétection des grands types d'habitats par imagerie satellite. Cette source de données d'intérêt pour mesurer les boisements et les haies, non cartographiés par le RPG. En revanche, elle présente des faiblesses, comme la non détection des prairies lorsqu'elles sont situées à proximité des haies et boisement (effet de proximité).

Echelle spatiale : zone d'étude, stations canaux (diverses distances ou anneaux autour des stations).

Variables : Les différentes données sont corrélées entre elles. Une variable particulièrement utilisée regroupe la proportion de prairies et de cultures issues du RPG et la proportion de couvert arboré issue de la télédétection. Le logiciel FRAGSTATS<sup>5</sup> a été utilisé pour calculer des métriques rendant compte de l'hétérogénéité du paysage à partir de 5 modalités d'assolement : bois, prairies, cultures, bâti et plans d'eau.

**Sous famille type d'assolement : 21 variables = proportions de boisement, cultures et prairies aux échelles zone d'étude, anneaux de 0-50 et 50-500 mètres autour des stations canaux, rayons de 100, 250 et 500 mètres autour des station canaux, rayons de 500 mètres autour des stations VP ;**  
**Sous famille indice FRAGSTATS : 4 variables = diversité de Shannon, diversité de Simpson, indice de configuration d'hétérogénéité paysagère, nombre de modalités d'occupation des sols.**

---

<sup>5</sup> McGarigal, K., Cushman S.A., Ene E. 2012. FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at the following web site:

<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>

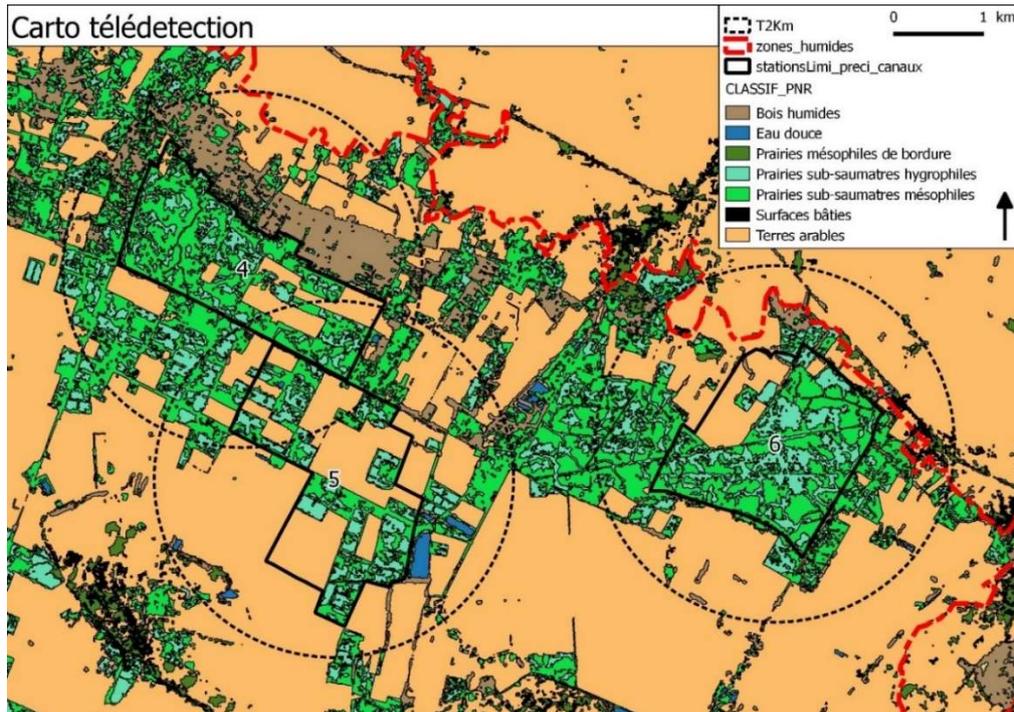


Figure 4 : Occupation des sols des zones 4 à 6 sur la base de la cartographie par télédetection (Rapinel et al. 2015).

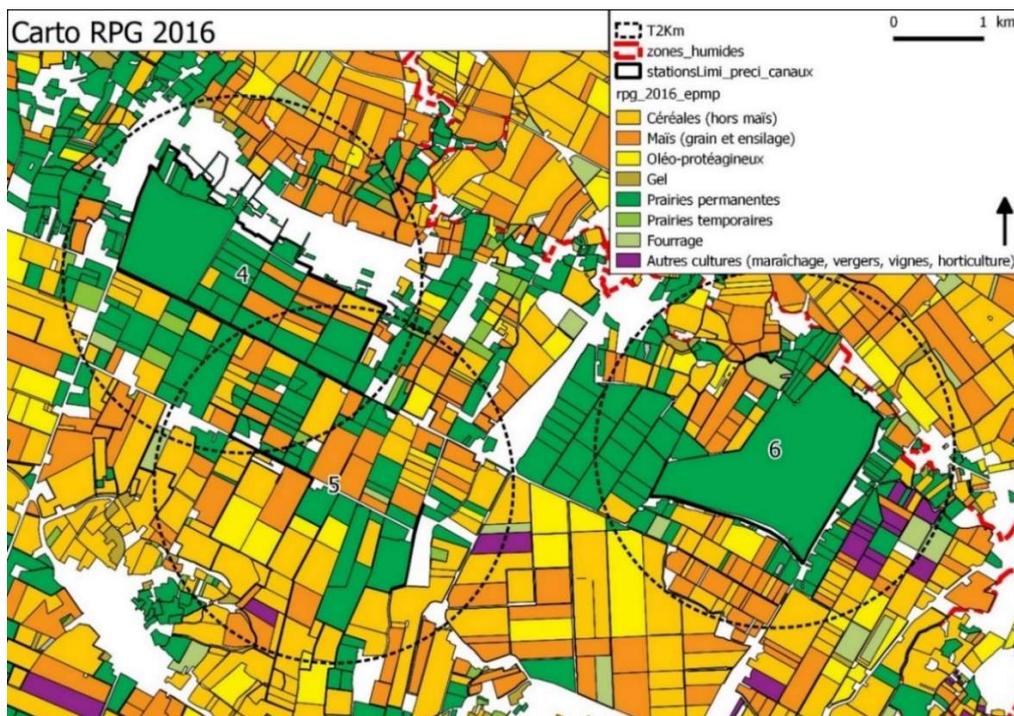


Figure 5 : Occupation des sols des zones 4 à 6 suivant le RPG de 2016.

- **Réseau de canaux (hydraulique)**

Sources de données : couche SIG de référence de linéaires de canaux et vérification de terrain de leur connectivité potentielle (cf seuils ou batardeaux).

Echelle spatiale : zone d'étude, distances tampons autour de stations.

Variables : La couche cartographique disponible classe les linéaires en 3 catégories de canaux (I, II, III). Ces mesures de linéaires (longueurs) ont été calculées en combinant les canaux primaires et secondaires et en conservant isolément les canaux tertiaires ou bien en regroupant les trois types de canaux. Les canaux situés 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. La densité du réseau hydraulique est mesurée aux différentes échelles en cumulant les linéaires de canaux disponibles. Par contre, le « linéaire connecté » comptabilise seulement les portions de canaux réellement connectés aux stations. Les linéaires ont été vérifiés sur le terrain, ce qui a pu amener à utiliser des données corrigées, légèrement différentes de celles issues de la couche SIG de référence.

**Sous famille densité du réseau hydraulique : 12 variables = linéaire des canaux primaires + secondaires, linéaires des canaux tertiaires, linéaire total aux échelles zone d'étude et dans des rayons de 100, 250 et 500 mètres autour des stations canaux ;**

**Sous famille connectivité : 3 variables = linéaires de canaux connectés aux échelles 100 et 250 mètres de rayon autour des stations canaux et distance au canal secondaire ou primaire le plus proche (0 si la station est un canal secondaire).**

- **Autres caractéristiques du paysage : gabarit du canal et des haies**

Sources de données : mesure de terrain (équipe de recherche)

Echelle spatiale : station canal

Variables : Le gabarit du canal est estimé par la largeur du canal (mesurée au télémètre) multiplié par la hauteur de la colonne d'eau (mesurée à la perche graduée). La présence de haies, qui peuvent ombrager tout ou partie du canal, est notée pour chaque canal par visite de terrain. Sur chaque tronçon étudié, une note est attribuée à chaque tronçon de canal étudiée (station « Canaux ») en multipliant des scores de longueur de haie, de hauteur moyenne du houppier et de largeur moyenne du houppier. La prise en compte de la hauteur et de la largeur des houppiers dans les calculs permet de nuancer par exemple l'impact des haies taillées par rapport à d'autres plus fournies. La description initiale des haies a été réalisée en 2014. Depuis, les haies riveraines des canaux des zones d'étude n'ont pas fait l'objet de taille à l'exception de la zone 6 (coupe de peupliers et réduction du nombre de frênes entre 2016 et 2017).

**3 variables mesurées : largeur du canal, section du canal (hauteur d'eau \* largeur du canal) et boisement des haies.**

d) **Caractériser le régime hydrique dans les canaux et les prairies**

- **Hauteur d'eau inondation (canaux et prairies)**

Sources de données : limnigraphe ou piézomètre et modèle numérique terrestre

Echelle spatiale : zones d'étude, station canal, groupements de végétation

Variables :

**Canaux** : La hauteur d'eau dans les canaux est mesurée à des fréquences mensuelles et saisonnières. La mesure directe est obtenue sur le terrain grâce à une perche graduée positionnée à la surface de la couche de vase.

**Prairies** : La hauteur, mesurée en NGF, est également rapportée à d'autres référentiels relatifs pour chaque zone d'étude : altitude moyenne ou altitude du premier décile (points bas) par exemple.

**Sous famille hauteur d'eau :**

**15 variables de hauteurs d'eau : mensuels (n=12) ; et saisonniers (n=3, hiver, printemps, été)**

**15 variables de niveaux d'eau, mensuels (n=12) ; et saisonniers (n=3, hiver, printemps, été)**

- **Intensité d'inondation, de sécheresse ou humidité du sol (prairies)**

Sources de données : piézomètre et modèle numérique terrestre

Echelle spatiale : groupement de végétation

Variables :

**Prairies** : La hauteur d'eau et la durée d'inondation est calculée pour chaque groupement de végétation homogène à partir de leurs altitudes moyennes (obtenue à la fois par des mesures terrain au GPS et via les données LIDAR) et des données de hauteur d'eau fournies par des sondes piézométriques quotidiennement et tout au long de l'année. L'intensité d'un stress hydrique peut être approchée en calculant les sommes des valeurs excédantes (*Sum Exceedance Values*) entre un seuil de -42 cm et un niveau piézométrique éventuellement plus profond sur une période du 01 juillet au 31 mai (*SEV dry* selon Gowing et al. 1998, Merlin et al. 2015). Le calcul est également effectué sur un pas de temps mensuel. L'intensité d'une inondation au niveau des groupements de végétation est approchée en calculant les sommes des valeurs excédantes entre un niveau d'eau seuil de +10 cm et un niveau éventuellement plus élevé. Il s'agit d'un stress des plantes par anoxie (*SEVa*, Gowing et al. 1998)

**Sous famille stress hydrique : 13 variables = SEV dry mensuel (n=12) sur la période de septembre de l'année n-1 à mai de l'année n;**

**Sous famille intensité d'inondation : 13 variables = SEV flood mensuel (n=12) sur la période de septembre de l'année n-1 à mai de l'année n.**

- **Amplitude des fluctuations (canaux et prairies)**

Sources de données : limnigraphe ou piézomètre

Echelle spatiale : zones d'étude, station canal

Variables :

**Canaux et prairies** : le coefficient de variation est le rapport écart type/moyenne calculée mensuellement à partir des chroniques de niveaux d'eau obtenues en continu par les sondes.

**14 variables mesurées pour les eaux de surface : Coefficient de variation des niveaux d'eau quotidien pour chaque mois, et deux saisonniers, celui de l'hiver (décembre à février) et du printemps (mars à mai)**  
**5 variables mesurées sur le niveau d'eau dans le sol des prairies par le biais de piézomètres : Coefficient de variation mensuels pour les mois de mars à juillet.**

*Remarque : d'autres variables ont été testées telles que les distances interquartiles ou l'écart type. Les différents calculs donnent des résultats proches.*

- **Durée inondation/assec (canaux et prairies)**

Sources de données : limnigraphe ou piézomètre et modèle numérique de terrain (MNT) sur la base des données LIDAR

Echelle spatiale : zones d'étude, station canal, groupement de végétation

Variables :

**Canaux** : La durée d'assec d'un canal est estimée sur la base de l'altitude du fond du canal (altitude du fil d'eau à l'instant t - hauteur d'eau à l'instant t) et des moyennes journalières des niveaux d'eau de surface. La durée d'inondation est la valeur complémentaire.

**Prairies** : A l'échelle des zones d'étude, on calcul pour les altitudes de différents quantiles topo (par exemple Q5% = altitude pour laquelle 5% des pixels sont sous cette altitude, 95% sont au-dessus) le nb de jours avec un niveau au moins égal à cette altitude pour définir la durée d'inondation de ce quantile.

A l'échelle des groupements de végétation, 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 fournies par la sonde piézométrique. Cette durée est exprimée en nombre de

jours cumulés sur différentes périodes (chaque mois et sur la période du 1er juillet au 15 mai) et pour différents seuils d'inondation (0, 5, 10 et 15 cm au-dessus du sol).

**Sous famille durée d'un assec : 1 variable = nb de jour d'assec du canal l'année précédant les suivis (juin de l'année n-1 à mai de l'année n).**

**Sous famille durée d'inondation : Zones d'étude : 8 variables mensuelles (novembre à juin) ; groupements : 13 variables par seuils d'inondation = durée de submersion mensuelle (n=12) et durée de submersion 8 mois avant les suivis.**

- **Période ou occurrence d'un évènement de type assec ou inondation (canaux)**

Sources de données : limnigraphe ou piézomètre et modèle numérique terrestre

Echelle spatiale : station canal

Variables :

**Canaux** : Un canal est considéré comme asséché quand le niveau d'eau est inférieur à 5 cm. L'indice de probabilité d'assèchement est construit à partir de l'altitude estimée du fond du canal et des chroniques de niveau d'eau. Sur la période choisie (1er juin 2015 au 31 mai 2016) l'indice en fonction du niveau d'eau minimum a été qualifié via 6 catégories qui correspondent aux patrons d'assec suivants : « 0 »=jamais moins de 50 cm ; 40 cm < « 1 » < 50 cm ; 30 cm < « 2 » < 40 cm ; 20 cm < « 3 » < 30 cm ; 10 cm < « 4 » < 20 cm ; « 5 » < 10 mais pas d'assec ; « 6 »= assec au moins une fois durant le cycle hydrologique

**2 variables : indice de probabilité d'assèchement, date du dernier assec.**

- **Pluviométrie et évapotranspiration (canaux et prairies)**

Sources de données : données Météo France de la station météorologique la plus proche de la zone d'étude:

Station de Sainte Gemme la Plaine : pour les secteurs 1 à 6 ;

Station de Niort : pour les secteurs 7 à 9 ;

Station de Marans : pour les secteurs 10 et 11.

Echelle spatiale : zones d'étude

Variables :

**Canaux et prairies** : Les cumuls mensuels des précipitations de la station météorologique la plus proche sont utilisés, ainsi que les cumuls sur les 9 mois précédents les relevés.

**Sous famille pluviométrie : 14 variables = pluviométrie mensuelle (n=12) et cumul des précipitations 4 et 9 mois avant les suivis 'biodiversité' (février à mai et octobre à mai) ;**

**Sous famille évapotranspiration : 3 variables = ETP des mois d'avril et de mai et ETP des 12 mois avant les suivis (juin de l'année n-1 à mai de l'année n).**

- **Type de gestion, perturbation (canaux)**

Sources de données : SIG

Echelle spatiale : station canal

Variables : typologie des canaux = primaires>secondaires>tertiaires. La typologie des canaux est ici rattachée à la gestion, les canaux primaires et secondaires étant publics, ils sont entretenus plus régulièrement, les canaux tertiaires, privés le sont moins.

**1 variable : type de canal.**

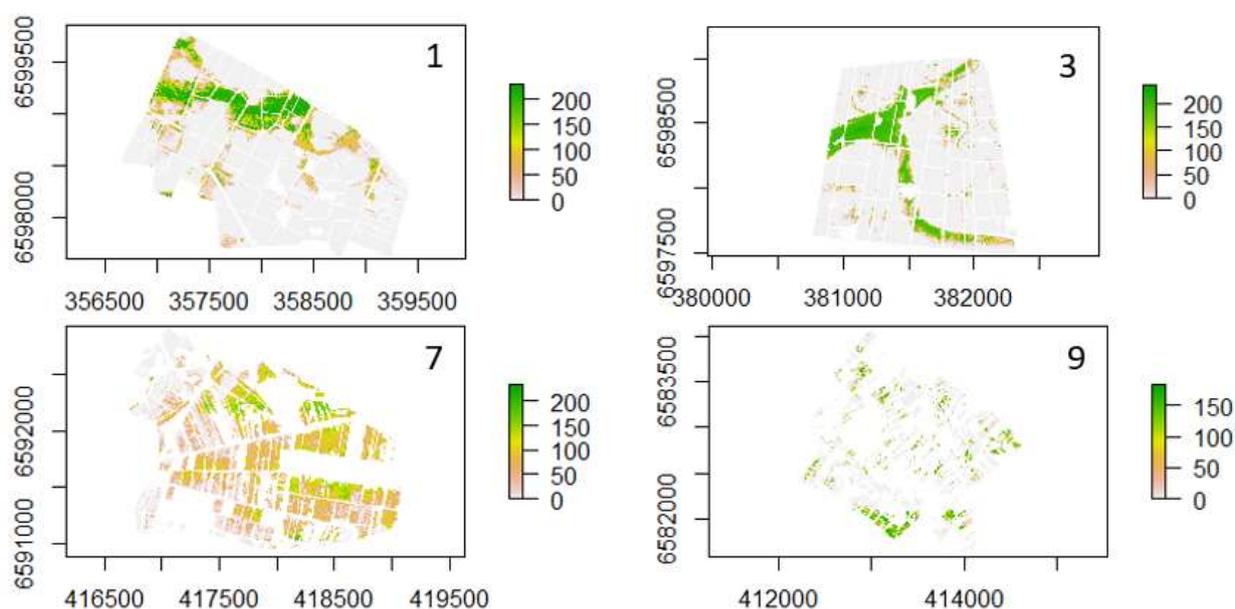
- **Surface en eau – (prairies)**

Sources de données : limnigraphe ou piézomètre et modèle numérique terrestre (Rapinel et al. 2018<sup>6</sup>), données RADAR (Cazals et al. 2016<sup>7</sup>)

Echelle spatiale : zones d'étude

Variables : les chroniques de niveaux d'eau superficielle et les données de niveaux altimétriques permettent d'estimer les surfaces inondées sur une zone donnée à n'importe quel moment et sur n'importe quel pas de temps. Des données satellitaires RADAR permettent de calculer sur la totalité de la zone humide des surfaces inondées pour chaque image disponible (tous les 7 jours environ) mais avec une précision spatiale plus limitée et une sous-détection des zones très faiblement inondées et recouvertes de végétation.

La figure 6 ci-dessous présente par exemple des cartographies des zones 1, 3, 7 et 9 avec les durées d'inondation par pixels de zones prairiales (1 pixel = 1m<sup>2</sup>) de novembre 2014 à juin 2015 (méthode MNT et piézomètres, Rapinel et al. 2018). Le tableau 5 présente des exemples de variables qui peuvent être calculées sur cette base : nombre de jours avec inondation de 5%, 10%, 15%, jusqu'à 50% des surfaces sur les zones considérées.



**Figure 6 : Cartographies des durées d'inondation superficielle des zones 1, 3, 7 et 9 sur la période novembre 2014 à juin 2015.**

**Tableau 5 : Durée d'inondation superficielle par centiles topographiques**

zone	max j	jq5%	jq10%	jq15%	jq20%	jq25%	jq50%
1	240j	204	128	77	23	10	0
3	240j	195	175	56	14	2	0
7	240j	145	127	113	105	94	50
9	240j	142	120	74	15	3	0

<sup>6</sup> S. Rapinel, N. Rossignol, O. Gore, O. Jambon, G. Bouger, J. Mansons et A. Bonis, 2018. Daily monitoring of shallow and fine-grained water patterns in wet grasslands combining aerial LiDAR data and *in situ* piezometric measurements. Sustainability, MDPI, 10, pp.708.

<sup>7</sup> C. Cazals, S. Rapinel, P-L. Frisson, A. Bonis, G. Mercier, C. Mallet, S. Corgne, J-P, Rudant, 2016. Mapping and Characterization of Hydrological Dynamics in a Coastal Marsh Using High Temporal Resolution Sentinel-1A Images. Remote Sensing 8, 570

### III. Caractérisation des conditions environnementales dans les habitats de type canaux des 11 zones d'étude

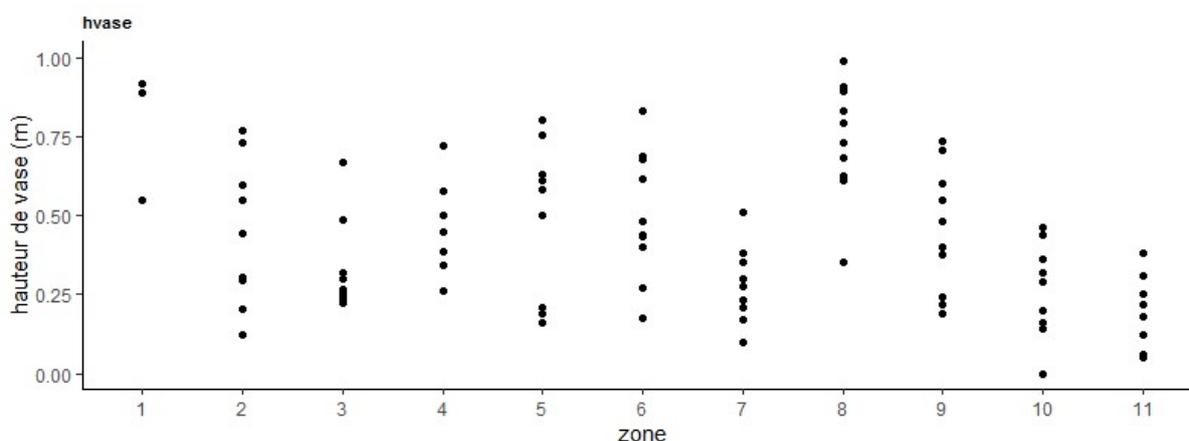
#### 1. Nature et intensité des impacts anthropiques

L'impact direct de l'homme sur l'habitat « canal » dans le marais poitevin se limite aux éventuels curages du fond et du bord des canaux, dont l'occurrence et l'ancienneté peuvent varier d'une station à l'autre.

Sur les 11 zones d'étude, 23 des 110 canaux ont été curés à une date postérieure à 2008 avec 8 canaux dont le curage a eu lieu en 2014 et 2019 dans des canaux des zones 1 et 6. Les années du curage des autres canaux ne sont pas connues.

#### 2. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des canaux

Envasement (figure 7) : la hauteur de vase varie assez fortement entre stations d'une même zone, sauf dans les zones 3 et 5, et ce en l'absence généralisé de curage depuis au moins 10 ans.

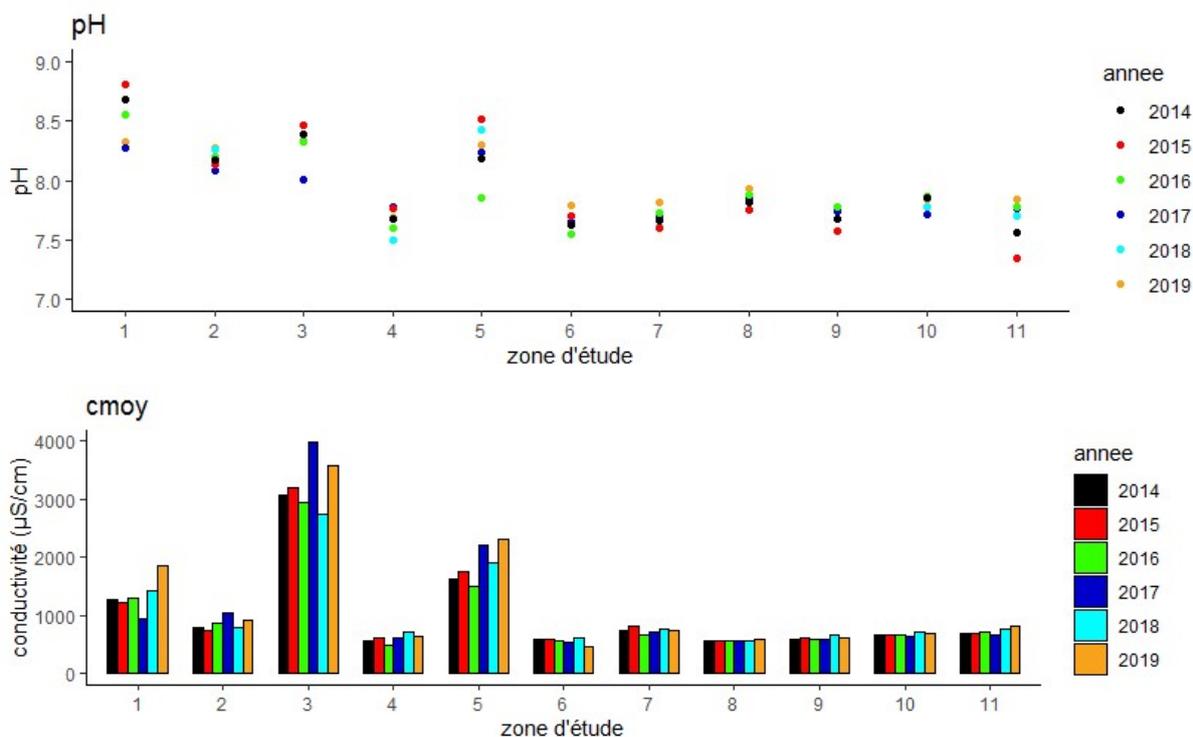


**Figure 7 : Hauteurs (m) de vase et taux d'envasement (%) des canaux VA (10 par zone d'étude)**

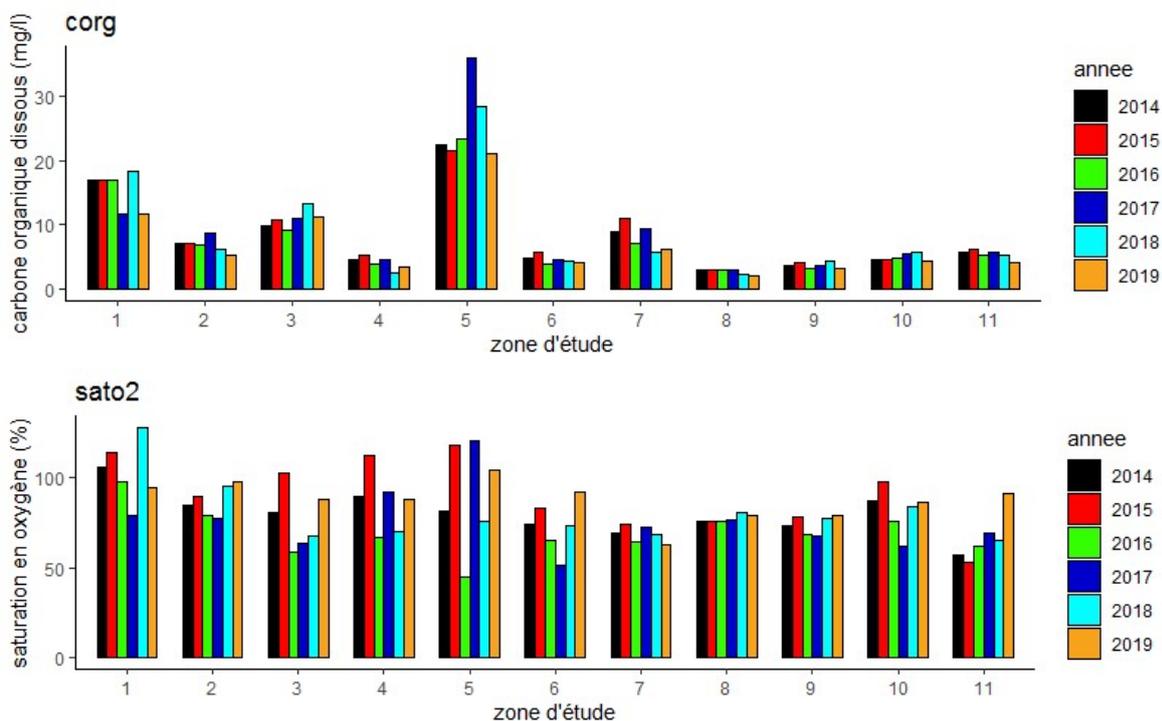
#### La qualité de l'eau :

Le jeu de données principalement utilisé correspond aux données UNIMA : il s'agit en particulier de données moyennes basées sur les mesures effectuées lors de 3 campagnes de mesure chaque année, en mars, mai et juillet, en un point (un canal) par zone. L'autre jeu de données mobilisé a été acquis en 2017 (jeu données 'aquascop' 2017) mais sur toutes les stations de suivi canaux de chacune des zones et avec un protocole de mesure plus standard (cf horaire). Le suivi 2017 porte en revanche sur un nombre réduit de paramètres.

Le pH est plus élevé dans les zones 1 à 3 et 5 et se distingue des autres zones alcalines (figure 8). La conductivité de l'eau des canaux des zones 1, 5 et surtout 3 est plus élevée que celle dans les autres zones. La conductivité de la zone 3 est importante et correspond à des salinités de l'ordre de 1,3 à 1,7 g/l. La conductivité est fluctuante entre les stations au sein de la zone 3 et le jeu de données complet, incluant des valeurs en automne et en hiver, indique des salinités encore plus élevées lors des automnes avec très peu de pluviosité. Les teneurs en carbone organique dissous (figure 9) sont plus importantes dans les zones 1, 3, 5 et dans une moindre mesure 7 puis 2 (indiquant en général des eaux moins renouvelées). La saturation en oxygène est globalement plus faible et plus stable entre années sur les zones de l'Est.



**Figure 8 : pH (unité) et conductivité de l'eau des canaux sur les 6 dernières années.**



**Figure 9 : Teneur en carbone organique dissous (%) et saturation en oxygène (mg/L) mesurées sur les 11 zones d'étude de 2014 à 2019 (moyenne des valeurs de mars, mai et juillet).**

Pour les nutriments (figure 10), la zone 5 se distingue des autres par des fortes valeurs en azote total (méthode de Kjeldahl) et en NH<sub>4</sub> (surtout en 2014, 2016 et 2019) ainsi qu'en orthophosphates (figure 11). Les zones 1, 3 et, dans une moindre mesure, la zone 2 présentent de plus faibles teneurs en azote minéral (NO<sub>3</sub> et NO<sub>2</sub>). L'eau des canaux de la zone 4 est la plus riche en azote minéral. Les zones 6 à 11 forment un groupe homogène avec beaucoup d'azote minéral (N<sub>2</sub> et NO<sub>3</sub>) qui représentent l'essentiel des formes d'azote présentes.

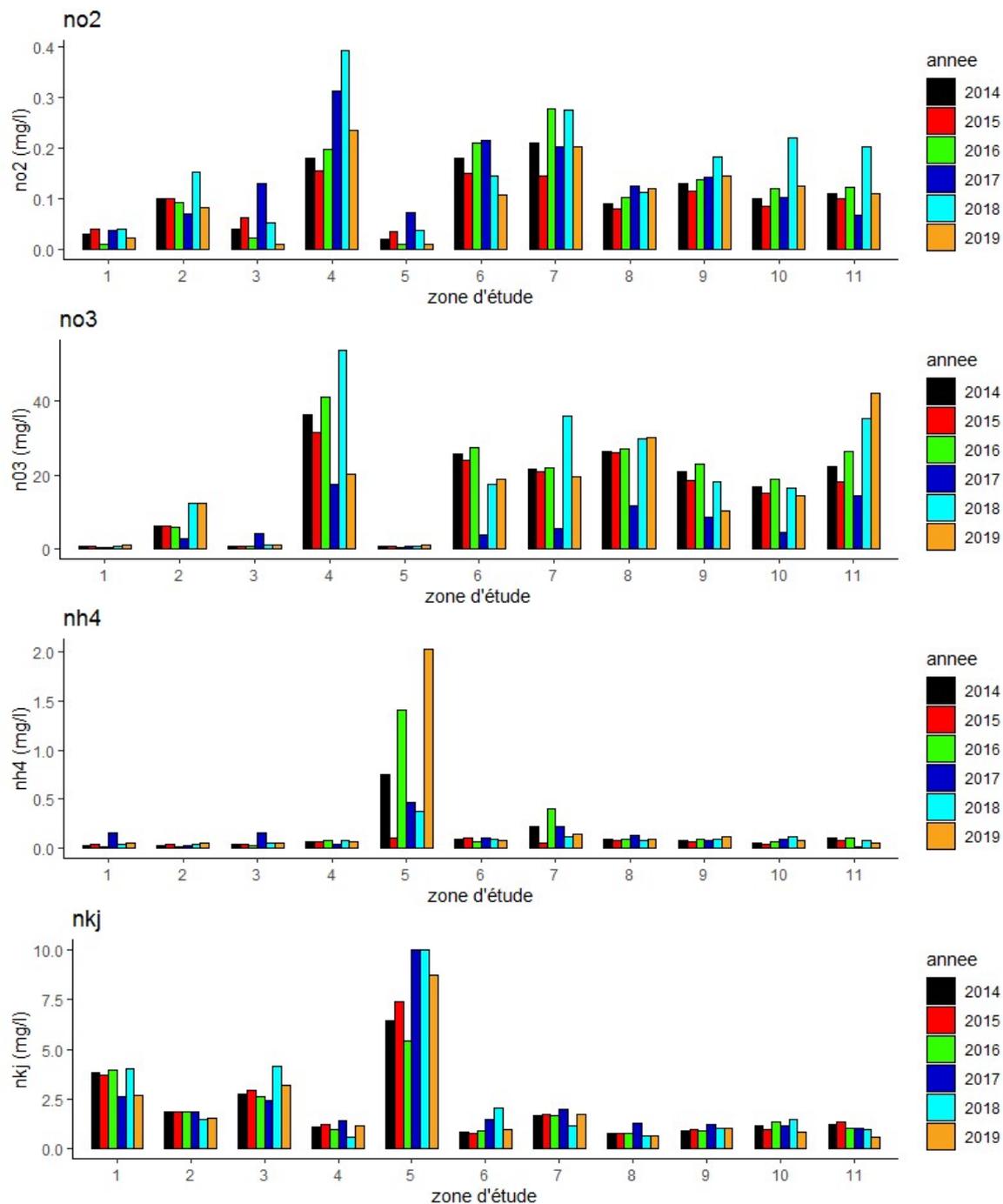
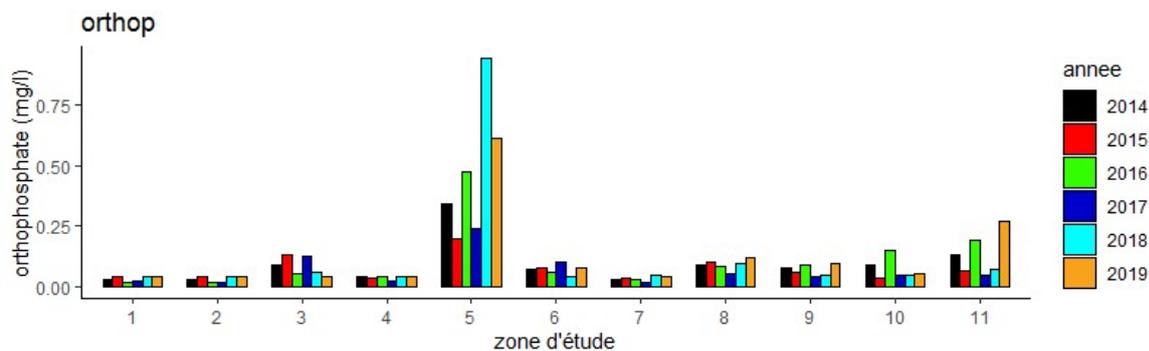
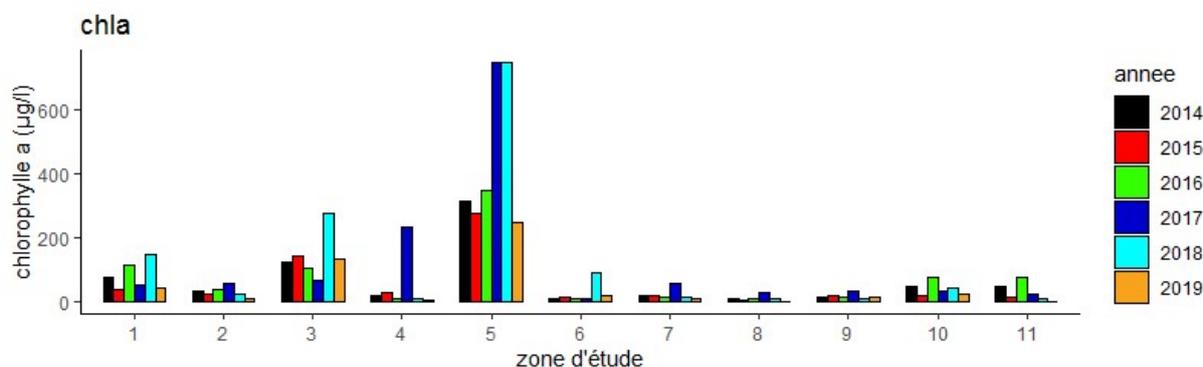


Figure 10 : teneur en azote (**NO<sub>2</sub>** : nitrites ; **NO<sub>3</sub>** : nitrates ; **NH<sub>4</sub>** : ammonium ; **NKJ** : azote total méthode Kjeldahl, en mg/l) mesurés sur les 11 zones d'étude de 2014 à 2019 (moyenne des valeurs de mars, mai et juillet). Echelle nkj plafonnée à 10 mg/l, valeurs pour la zone 5 en 2017 = 15.6 mg/l, pour 2018 = 17.2 mg/l.



**Figure 11 : Teneurs en orthophosphates (mg/l) mesurées sur les 11 zones d'étude de 2014 à 2019 (moyenne des valeurs de mars, mai et juillet).**

La teneur en chlorophylle a (figure 12) est beaucoup plus importante dans l'eau des canaux de la zone 5 que sur toutes les autres zones, particulièrement en 2017 et 2018. Ce sont les zones 3, 1 et 4 -en 2017- qui présentent ensuite les concentrations les plus élevées. La teneur de l'eau des canaux des zones 6 à 11 apparait par contraste remarquablement faible.



**Figure 12 : teneur en chlorophylle a (µg/l) sur les 11 zones d'étude de 2014 à 2019 (moyenne des valeurs de mars, mai et juillet). Echelle plafonnée à 750 µg/l, valeur pour la zone 5 en 2017 = 1871 µg/l, en 2018 = 1800 µg/l.**

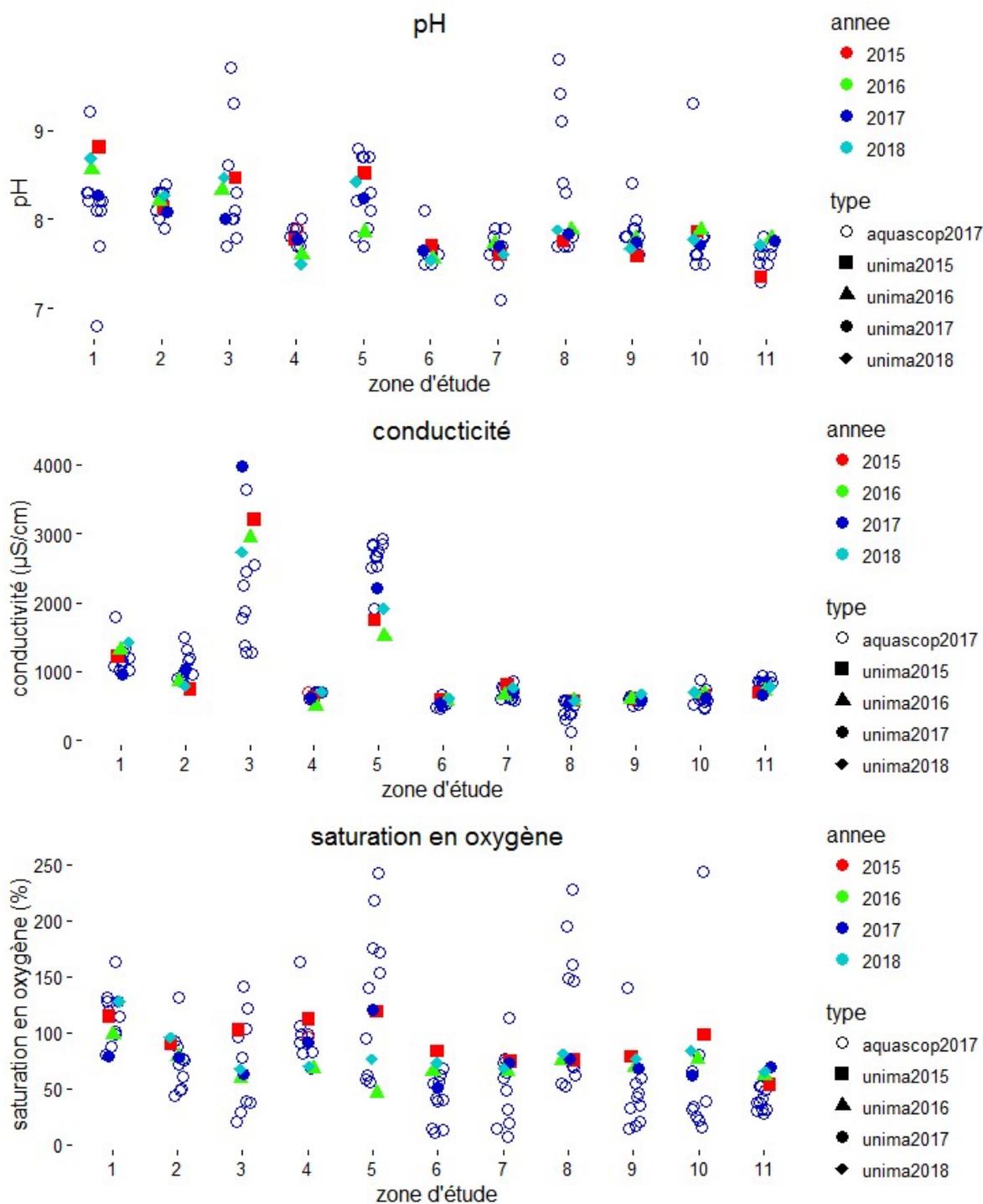
Certains paramètres varient parfois fortement entre années (NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, chlorophylle a) et entre zones.

#### Variabilité intra-zone :

Une campagne d'analyse d'échantillons d'eau a été réalisée au printemps 2017 (« aquascop2017 ») et a permis de mettre en évidence une variabilité intra-zone pour certains paramètres. Chacun des 10 canaux utilisés pour le suivi VA dans chaque zone d'étude a été échantillonné entre 8h et 11h du matin fin mai 2017 et les paramètres physico-chimiques de base ont été mesurés *in situ*. La figure 13 montre les valeurs des 3 paramètres mesurés dans les canaux VA avec cette méthode et permet de les comparer aux valeurs moyennes annuelles du jeu de données UNIMA de 2015 à 2018 par zone d'étude.

Les valeurs de pH de l'UNIMA coïncident globalement bien avec les données de pH relevées à chaque station VA par Aquascop en 2017. Certaines stations plus alcalines se démarquent sur les zones 3 et 8 mais on retrouve globalement le groupe des zones 1, 2, 3 et 4 plus alcalins que les autres zones. Les données de conductivité sont homogènes tant temporellement que spatialement. Seule la zone 3, la plus salée, présente une hétérogénéité spatiotemporelle marquée. Cette hétérogénéité peut être expliquée par le caractère très lentique de cette zone qui présente plus des canaux envasés et qui de plus est réalimentée par pompage de l'eau de la nappe qui est salée. Il n'est pas impossible que des entrées d'eau d'origine marines aient lieu de manière accidentelle. Il a en effet été constaté une salinité très élevée en novembre 2017 (23,1 g/l). De même que pour le pH, les zones 3, 5 et 8 se caractérisent par des valeurs de saturation

en oxygène plus hétérogènes entre les stations d'une même zone qu'ailleurs, mais relativement stables entre années. Les données UNIMA ne peuvent rendre compte d'une telle hétérogénéité intra-zone puisqu'elles sont basées sur un seul point de mesure par zone.

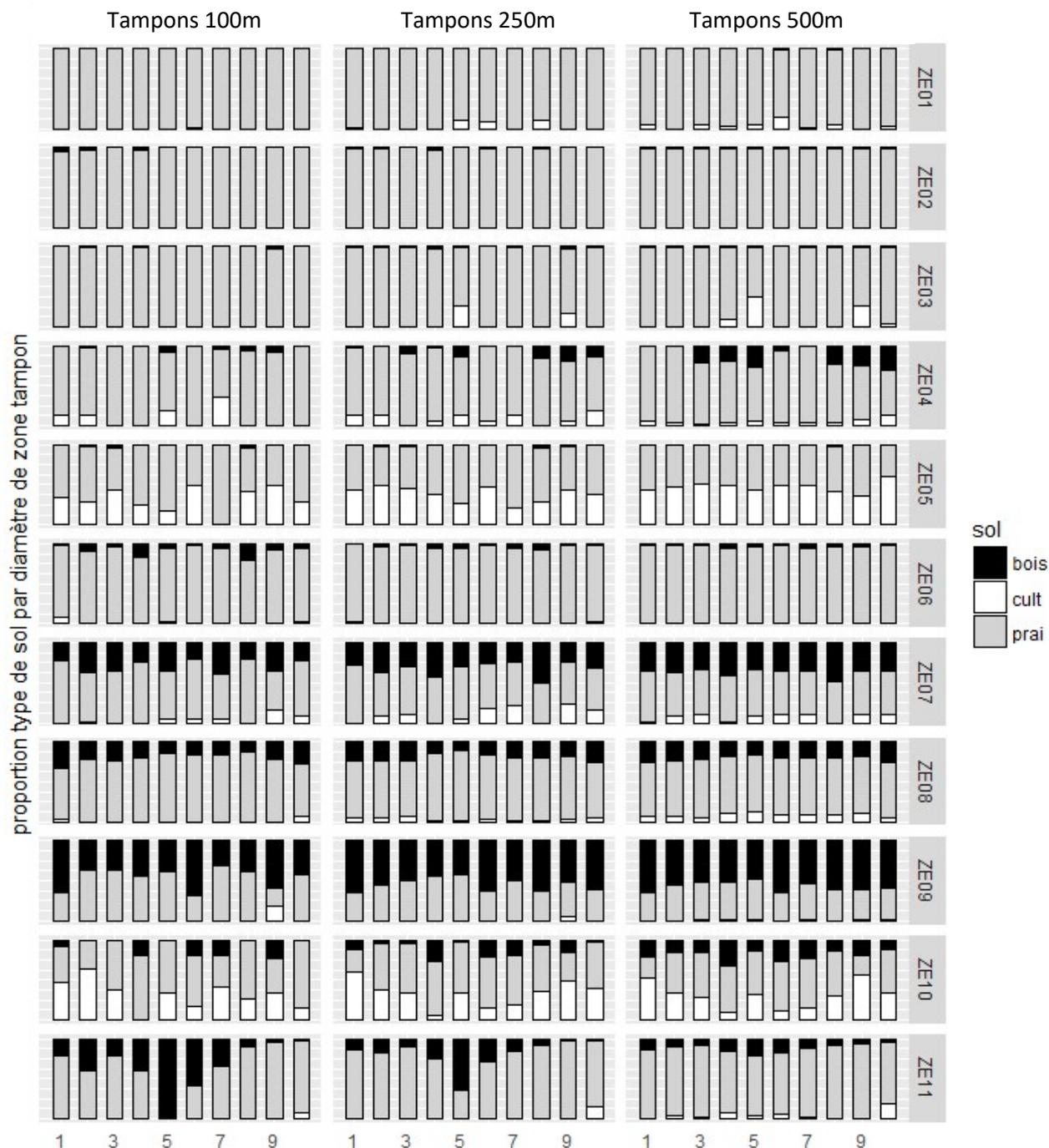


**Figure 13 : pH, conductivité (µS/cm) et saturation en oxygène (%) mesurés de 2015 à 2018 par l'UNIMA (symboles pleins, moyennes de 3 passages mars/mai/juillet) en un point par zone d'étude et en 2017 (données Aquascope : cercles vides) en 10 points par zone d'étude (10 stations VA)**

### 3. Caractéristiques paysagères autour des canaux

Assolement : l'assolement est considéré à différentes distances des canaux. Différentes échelles de calcul (zones d'étude, et, tampons de 50, 100, 250, 500 ou 2000 m) peuvent permettre de répondre aux

différentes questions écologiques abordées. La figure 14 permet de comparer les proportions de boisement, cultures et prairies calculées dans des zones-tampons de différents rayons autour des stations VA. Les contrastes intra-zones sont particulièrement nets lorsqu'un rayon de 100m est pris en compte et ils s'atténuent en augmentant le rayon de la zone tampon.



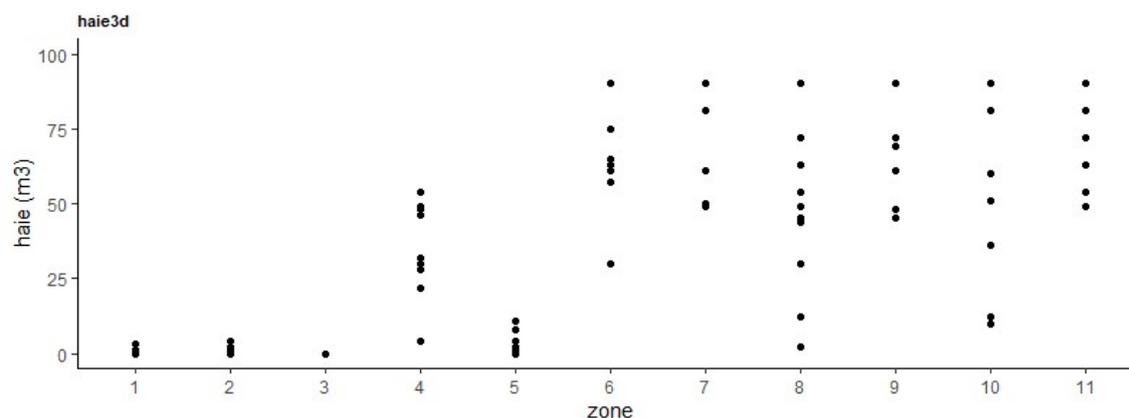
**Figure 14 : proportion d'occupation des sols par les boisements, les cultures et les prairies sur 3 rayons tampons (100 m : graphiques empilés à gauche, 250 m : graphiques du centre et 500 mètres : graphiques de droite) autour des stations VA (10 par zone d'étude). L'axe des x représente les 10 stations par zone tampon, les 11 zones se succèdent de haut en bas.**

Globalement, les zones 1 à 3 sont essentiellement entourées de prairies. Deux stations de la zone 3 présentent néanmoins une proportion notable de cultures pour des zones de rayons 250 et 500 m. La zone 5 est celle où la proportion de zones cultivées est la plus forte, suivie de la zone 10. Les zones 4 et 6, essentiellement occupées par des prairies, présentent un peu de cultures et de boisements, ces derniers traduisant la présence de haies (figure 15) et de boisements humides en bordure de marais (surtout sur la

zone 4) d'avantage visibles sur les plus grands rayons de zones tampons. Les zones 7 à 9, en Venise verte, présentent des proportions variables de boisement reflétant la présence plus ou moins importante de haies, de boisements humides et de peupleraies. La zone 11, essentiellement occupée par des prairies, présente certains canaux très boisés, liées à des peupleraies plantées entre le canal et la prairie communale, bien discernables par l'analyse sur un rayon de 100 m.

Il est important de prendre en compte ces contrastes à différentes échelles. L'occupation du sol impacte les communautés en termes de qualité d'habitat et peut également avoir des impacts indirects. Par exemple la présence de cultures, même à distance, peut impacter l'environnement en influant sur le régime hydrique. Ainsi, la zone 11 dont le paysage est dominé par des prairies à l'échelle du tampon de 500 m, est au-delà entourée de cultures (figure 27 page 36) : les zones cultivées dans la zone humide de cette zone 11 expliquent que la gestion de l'eau de la zone soit conduite de façon à aboutir à des niveaux d'eau bas au printemps. Par ailleurs, les cultures qui sont situées sur la plaine, hors zone humide, sont fortement irriguées et ces prélèvements d'eau dans la nappe phréatique conduit indirecte, à une moindre alimentation de la zone humide par la nappe phréatique.

Boisement des berges : Cet indice de volume de haies est d'un niveau variable parfois variable entre stations (zones 4, 8 et 10) mais montre l'importance des haies sur les zones 4, 6, et de 7 à 11. Les haies sont en revanche très peu fréquentes et abondantes en bordure des stations canaux des zones 1, 2, 3 et 5 (figure 15). Les valeurs de cette variable sont similaires depuis 2014, sauf pour la zone 6 qui a vu la disparition d'un important linéaire de haies le long de plusieurs stations depuis cette date.



**Figure 15 : boisement des berges approché par un indice de volume de haies (m³) sur les 10 stations VA par zone d'étude (indice = score de longueur \* score de largeur \* score de hauteur).**

Linéaires de canaux et connectivité:

A l'échelle des zones d'étude (figure 16), les linéaires de canaux sont les plus faibles dans les zones présentant de grandes parcelles communales (4, 6 et 11). Les linéaires les plus importants sont observés sur les zones 7 à 9 (Venise verte).

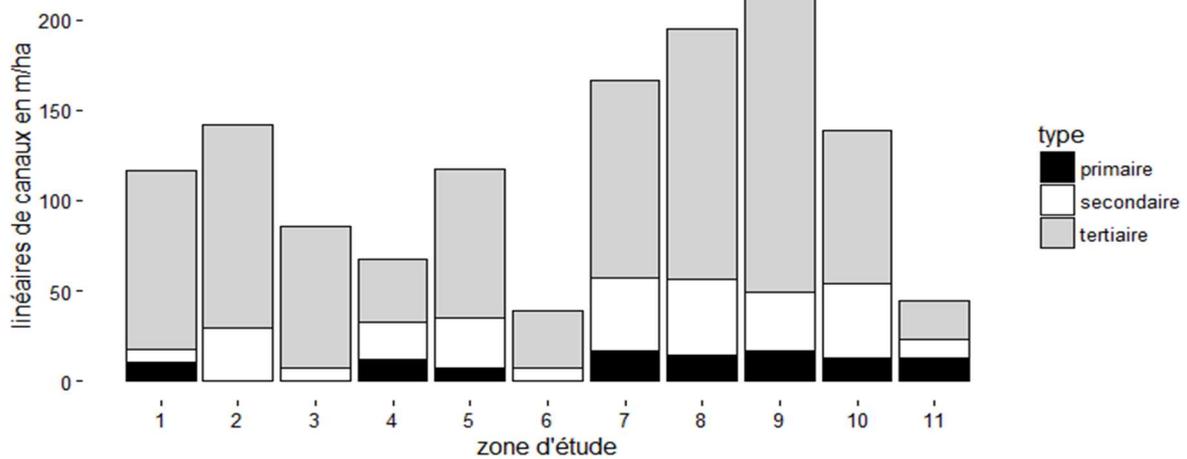


Figure 16 : Linéaire de canaux (m/ha) par classe de canaux (primaire>secondaire>tertiaire) sur les 11 zones d'étude.

La distance au canal de rang secondaire ou primaire le plus proche des stations (figure 17) varie de 0 (si le canal étudié est un secondaire) à 2 km. Les zones 1, 3 et 5 présentent des canaux tertiaires les plus éloignés des canaux secondaires ou primaires à l'inverse des zones 6, 7 et 9.

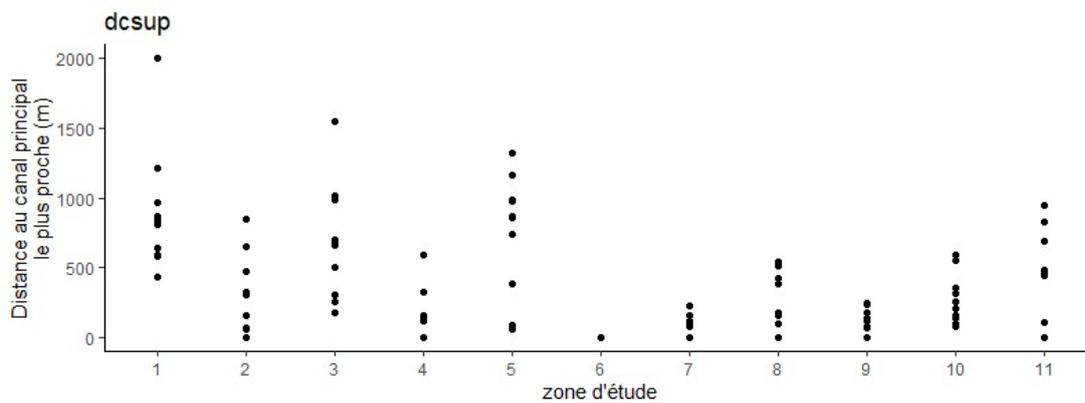
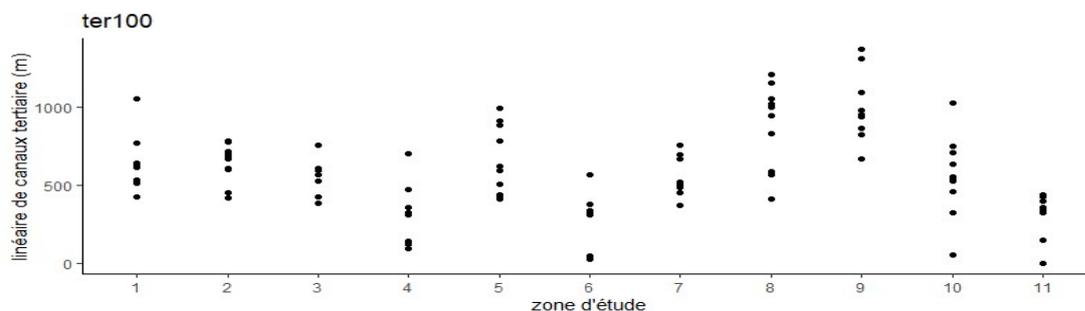
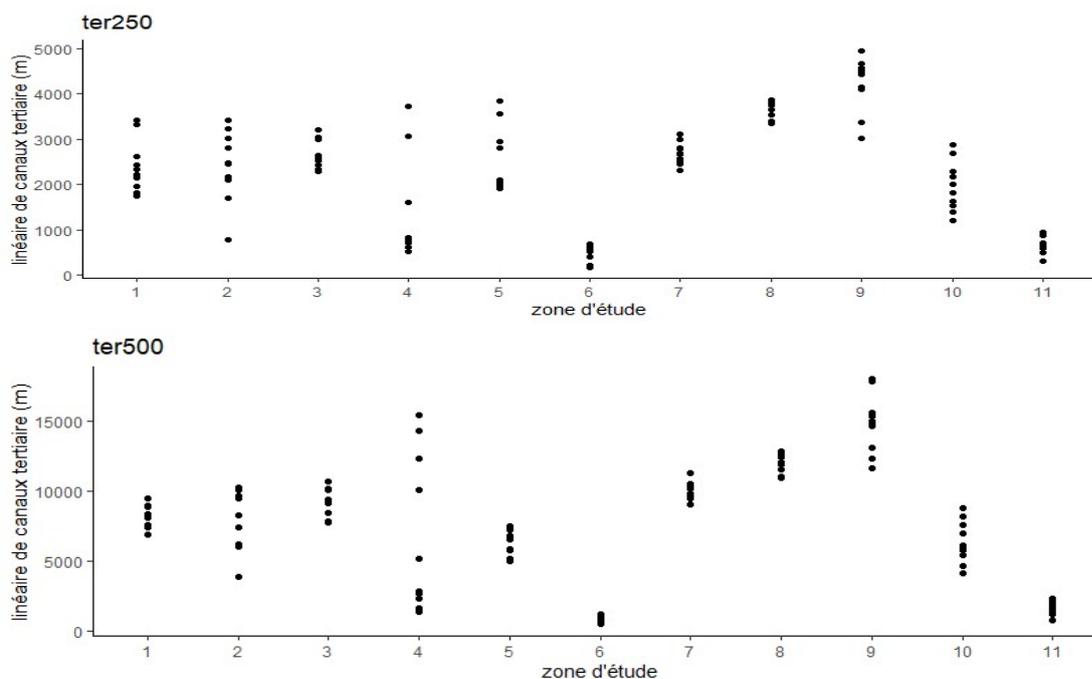


Figure 17 : Distance (m) au canal primaire ou secondaire le plus proche pour les 10 stations VA par zone d'étude.

Nous avons examiné spécifiquement les **linéaires de canaux tertiaires**, sur trois tailles de zone tampon autour des stations de type canaux (figures 18). Comme pour les linéaires des autres types de canaux, les zones 4, 6 et 11 présentent les plus courts linéaires de canaux tertiaires. A l'opposé, la zone 9 présente les linéaires de tertiaires les plus importants pour la plupart des stations. Les zones tampons de 100 m autour des canaux montrent plus d'hétérogénéité intra-zone, celles de 500 m distinguent plus nettement les zones entre elles.

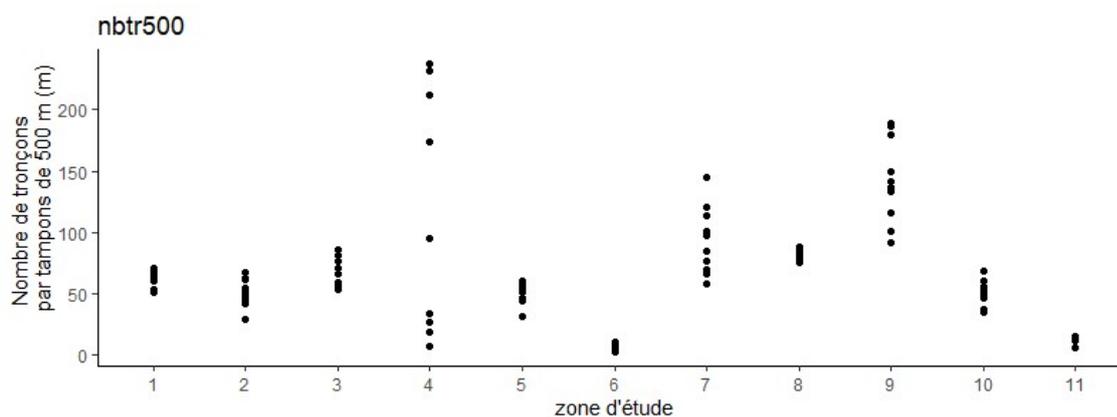




**Figure 18 : Linéaires de canaux (m) mesurés sur 3 rayons tampons (100, 250 et 500 m) autour des stations VA (10 par zone d'étude).**

La complexité du réseau hydraulique varie avec la taille des parcelles agricoles. Le caractère dense et fortement connecté des canaux peut être approché par le nombre de tronçons de canaux : on comptabilise un nouveau tronçon chaque fois qu'un canal coupe un autre canal et forme ainsi une intersection.

Le nombre de tronçons comptabilisés sur les tampons de rayons 500 m autour des stations montrent la même distribution (figure 19) que les linéaires de canaux tertiaires à la même échelle (ter500 figure 17). La zone 4 présente à la fois des stations avec peu de tronçons, au plus près de la grande parcelle communale, et des stations avec beaucoup de tronçons, en relation avec la zone de « terrée » de la réserve départementale (paysage de boisement taillé en têtard sur des parcelles étroites).



**Figure 19 : Nombre de tronçons de canaux comptabilisés sur les rayons tampons de 500 m autour des stations VA.**

Autres caractéristiques du paysage :

La largeur du canal (figure 20) est mesurée au télémètre (moyenne de 5 mesures). Les canaux étudiés sont des canaux tertiaires et secondaires. Les stations de pêche électrique (suivi PO) concernent des canaux secondaires et primaires qui ne sont pas caractérisées sur le plan environnemental dans ce rapport.

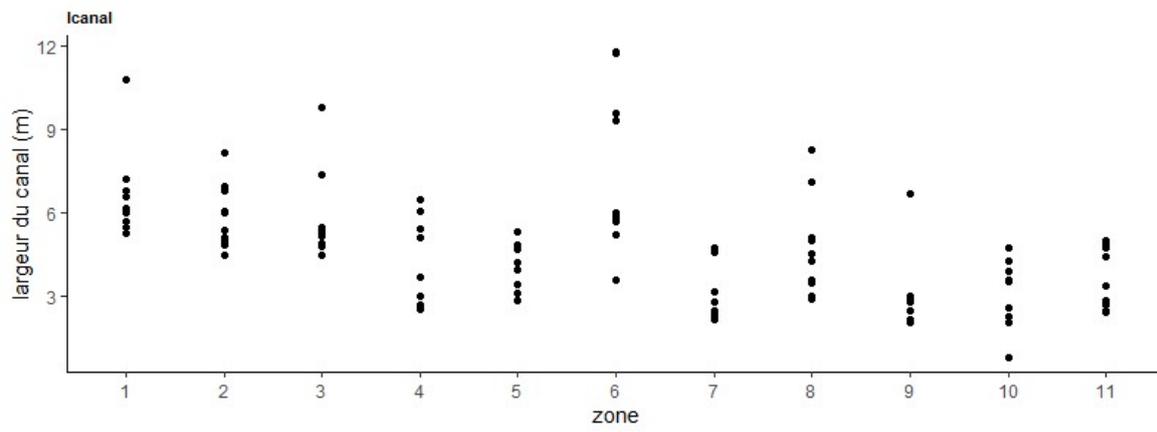
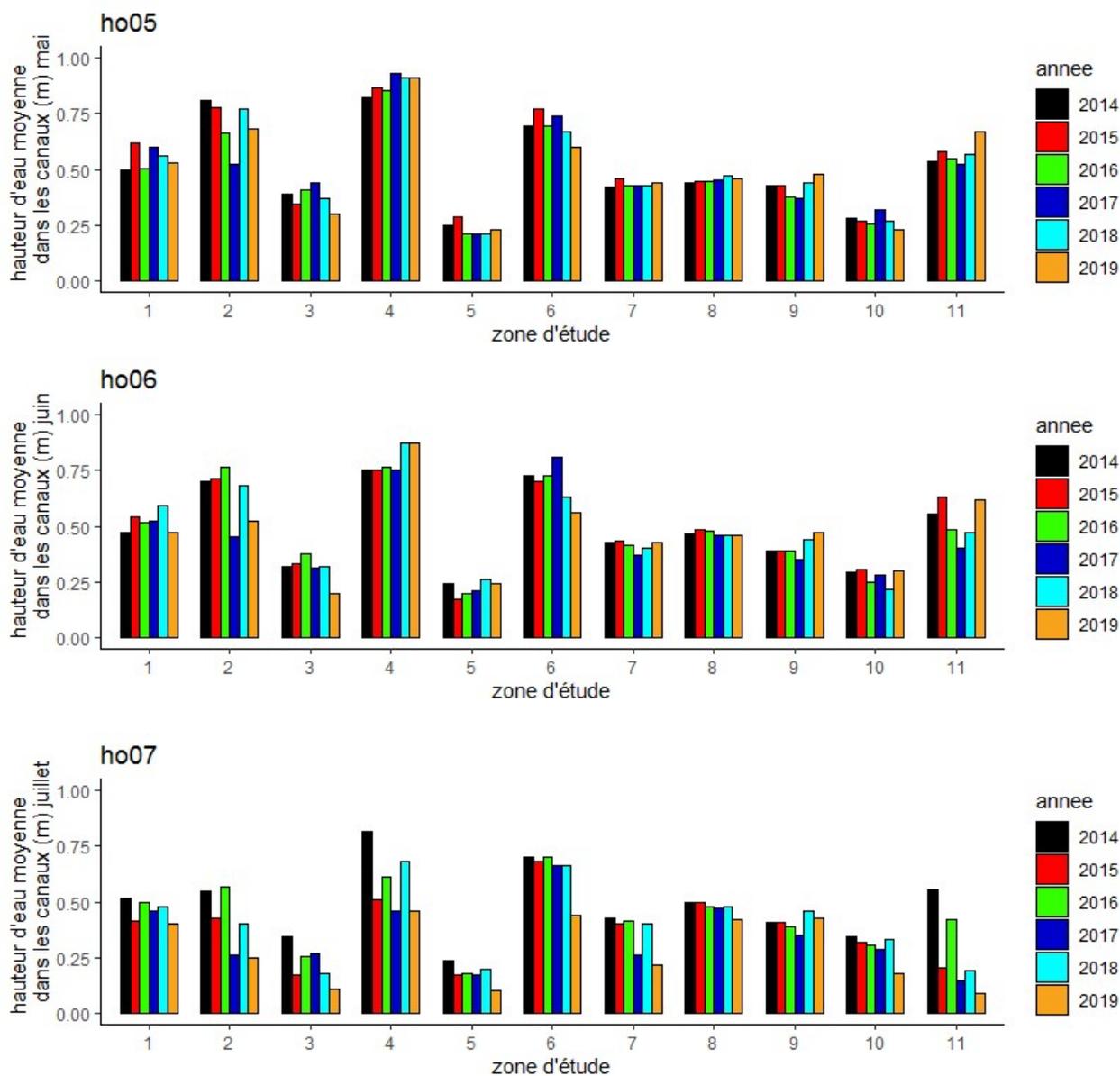


Figure 20 : largeurs (m) des canaux VA (10 par zone), largeur\*hauteur d'eau en juin 2016.

#### 4. Caractéristiques du régime hydrique dans les canaux

##### Hauteur d'eau :

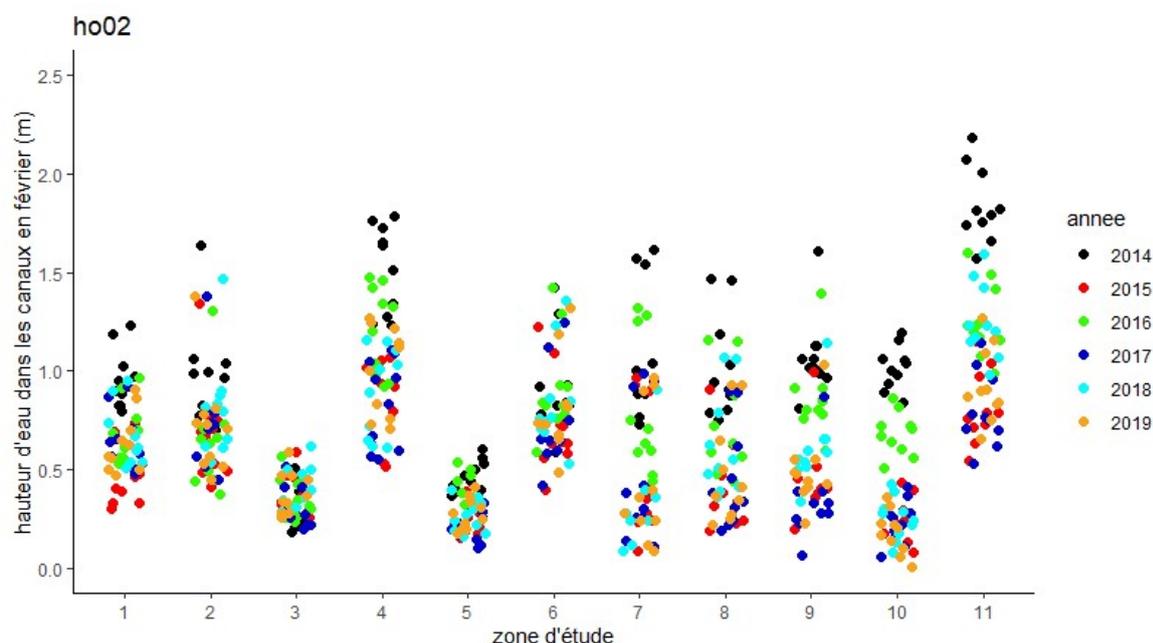
**A l'échelle de la zone**, les données présentées sont celles de la hauteur d'eau moyenne des 10 canaux de stations de suivi « VA » (végétation aquatique). Ces valeurs (figures 21) peuvent être influencées par le gabarit et l'état d'envasement des canaux. Les zones 4, 6 et 11, avec les canaux les moins envasés, (cf figure 7) présentent les niveaux d'eau les plus élevés en mai. Les hauteurs d'eau de mai reflètent également les capacités de réalimentation ; ainsi, les zones constamment réalimentées en eau par régulation du débit de la Sèvre par exemple (8 et 9) ne montrent pas de contrastes nets entre les niveaux d'eau au mois de mai et de juillet, au contraire des zones 1 à 4 et 11.



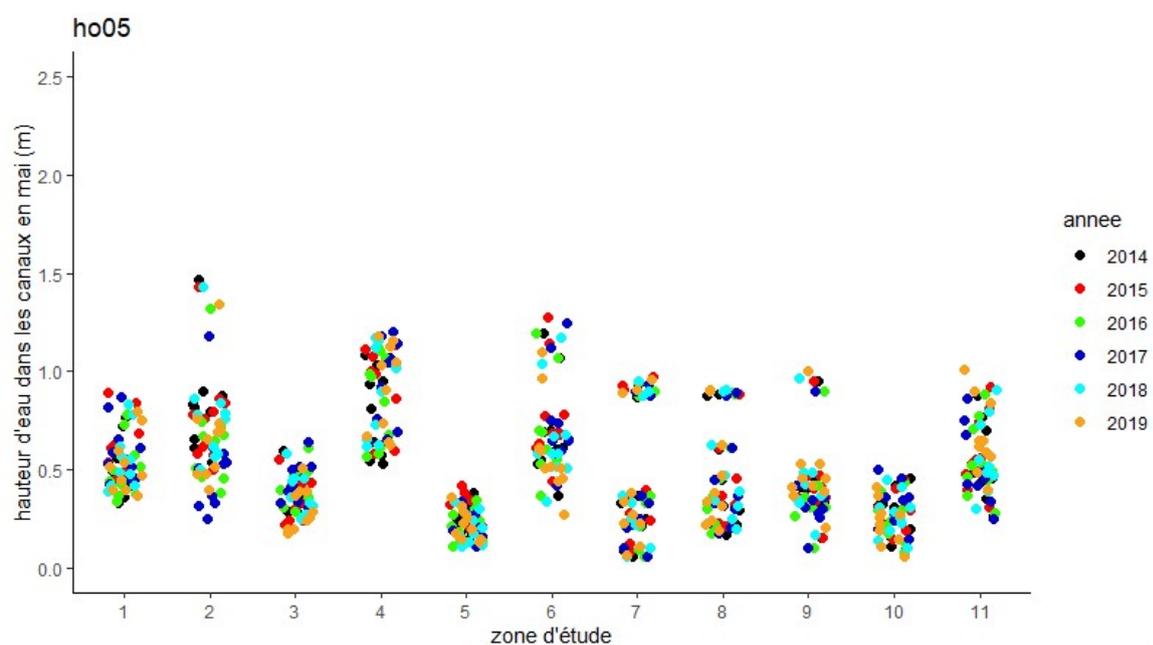
**Figure 21 : hauteur moyenne d'eau dans les canaux (m) en mai (ho05), juin (ho06) et juillet (ho07) dans chacune des 11 zones d'étude de 2014 à 2019.**

A l'échelle des canaux des stations VA de chaque zone (figures 22a et 22b), la dispersion des points de hauteur d'eau reflète à la fois leur variabilité interannuelle (par exemple les niveaux d'eau plus hauts en février 2014) et entre stations d'une même zone (points différents de même couleur). On observe, par exemple dans les zones 2, 6, 7, 8 et 9, certains niveaux plus élevés qui se détachent en mai : ils

correspondent à des stations plus profondes (canaux récemment curés ou de type « secondaires », de plus grands gabarit que les canaux tertiaires). Les canaux des zones 3, 5 et 10 se caractérisent par des niveaux d'eau plus homogènes entre années et entre stations au sein de ces zones.

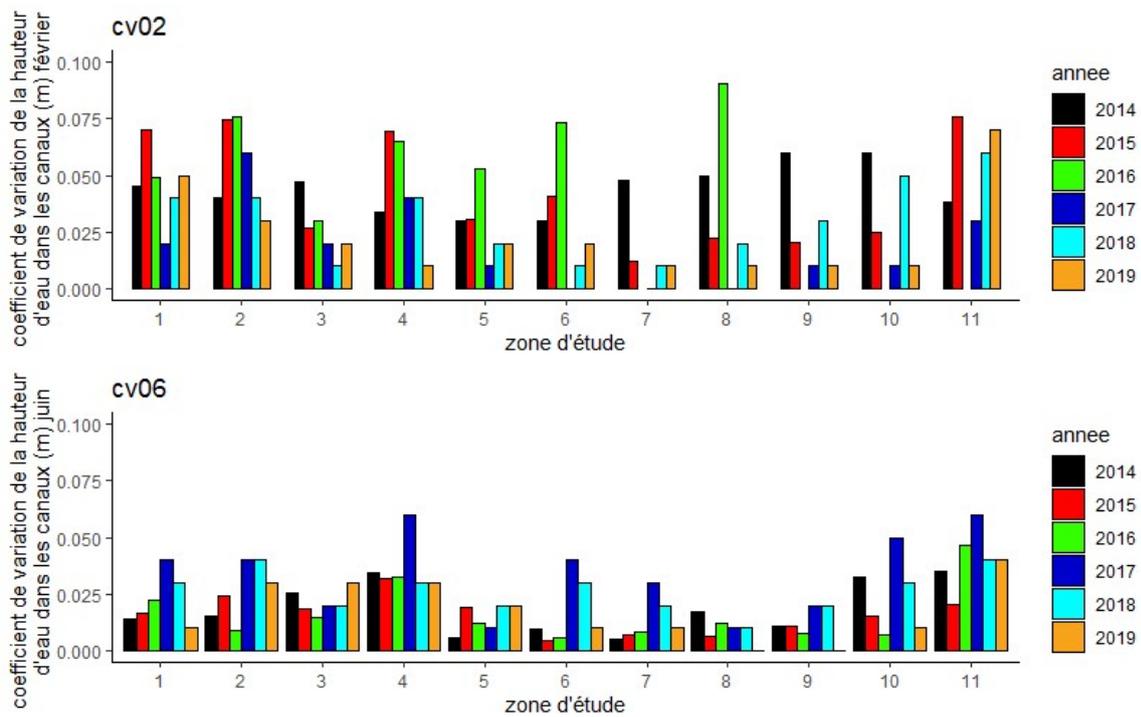


**Figure 22a : hauteur moyenne (m) dans les canaux en février (ho02) par station VA de 2014 à 2019.**



**Figure 22b : hauteur moyenne (m) dans les canaux en mai (ho05) par station VA de 2014 à 2019.**

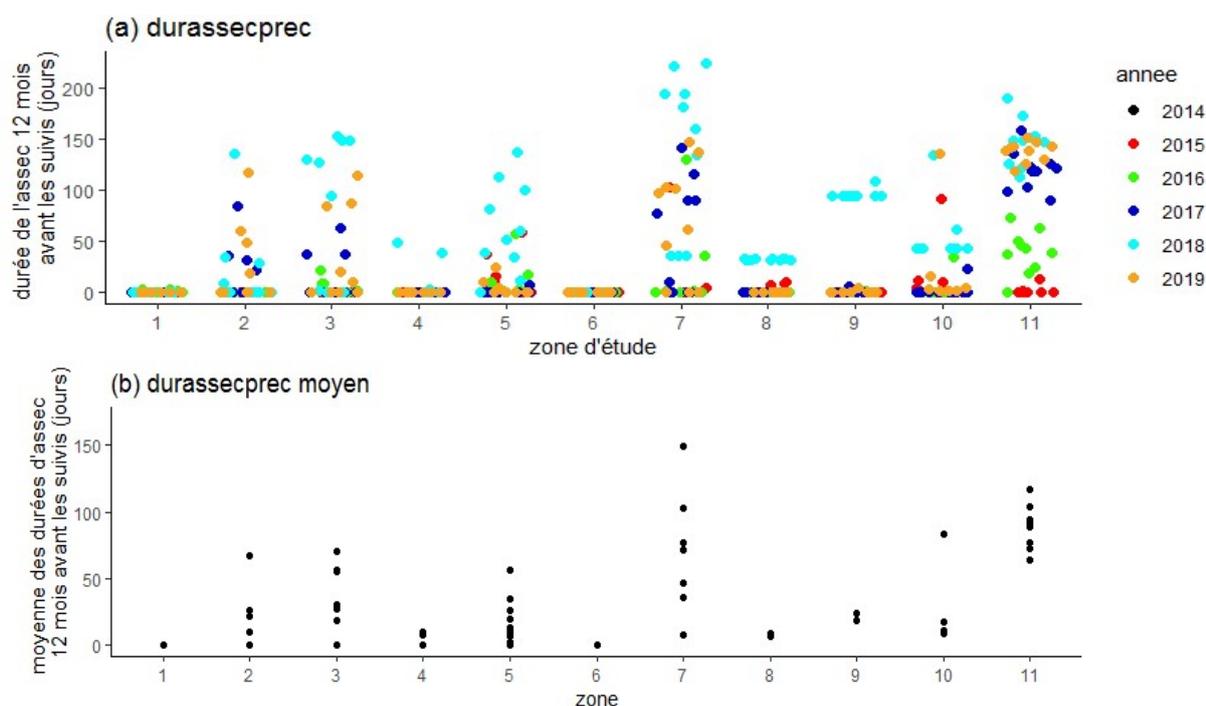
Variations des niveaux d'eau dans le temps: Les valeurs de coefficient de variation des niveaux d'eau (écarts types / moyennes) reflètent la variabilité des niveaux d'eau par exemple sur une période mensuelle. Cette variabilité paraît globalement plus forte sur le mois de février que sur le mois de juin (Fig 23). En juin, les zones 5, 8 et 9 montrent les niveaux les plus stables, à l'opposé des zones 2, 4 et 11. Ces stabilités ou variations peuvent être liées à différents phénomènes, naturels comme la météorologie, ou d'origine anthropique comme la gestion des niveaux d'eau. Les zones avec un coefficient de variation faible des niveaux d'eau en été sont quasi constamment (zones de la Sèvre niortaise, 8, 9 et 10) ou régulièrement (5 et 6) ré-alimentées en eau durant la période estivale.



**Figure 23 : Coefficient de variation (écart type/moyenne) des niveaux d'eau superficiels en février (cv02) et juin (cv06) par zone d'étude de 2014 à 2019.**

Durée d'assec : Les durées d'assecs sont très variables entre années et entre les zones (figure 24). Les zones ré-alimentées en eau par pompage restent asséchés très peu de temps sur la période estivale (zones 6, 8 et 9).

On observe les effets des automnes très secs qui conduisent à des assecs particulièrement longs sur les zones qui subissent des difficultés de réalimentation (2, 3, 7 et 11), en 2018, 2019, voire 2017. La zone 11 présente régulièrement des durées d'assec importantes toutes les années et sur tous les canaux étudiés (n=10).



**Figure 24 : Durées d'assecs (jours) mesurés dans les canaux VA, soit 10 par zone d'étude, de 2015 à 2019 (a) et moyenne des durées (b). La durée d'assec des canaux est calculée sur les mois précédant les suivis (assec 2015 calculé sur période juillet 2014-juillet 2015).**

#### IV. Caractérisation des conditions environnementales dans les habitats « prairies humides » des 11 zones d'étude dans le Marais poitevin

##### 1. Nature et intensité des impacts anthropiques

Gestion agricole : L'habitat ciblé dans cette étude est la prairie de marais. Les suivis VP et OD sont réalisés sur tout ou partis de parcelles sélectionnées en 2014, et les suivis VA, AM, EC et OD sont réalisés dans un canal à proximité de ces prairies. Ces parcelles ont été choisies pour être les plus représentatives des prairies et des pratiques agricoles de chaque zone ou casier hydraulique. Elles ont également été choisies de façon à être les plus similaires possibles sur le plan de la gestion agro-pastorale : la majorité des stations VP sont pâturées, soit exclusivement par des bovins (55%), par des bovins et des chevaux (27%) ou en association avec une fauche (14%). Seules 4 stations, toutes sur la zone 10, sont exclusivement fauchées.

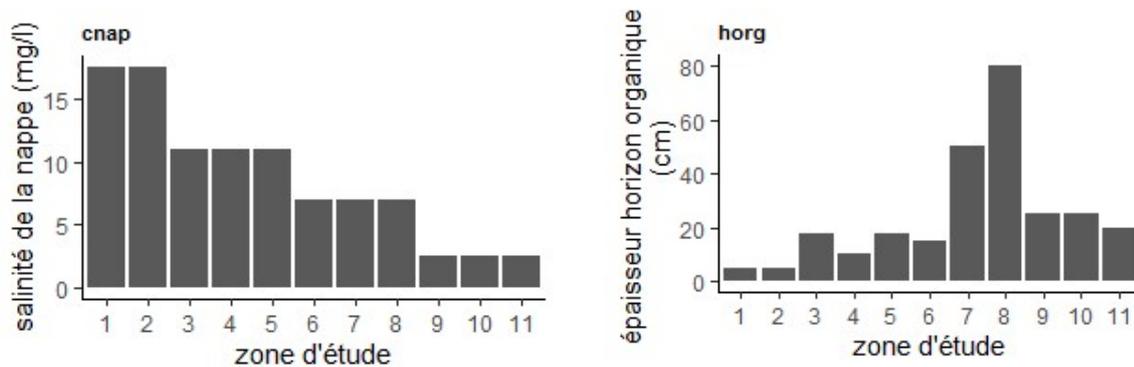
Des nuances parfois importantes existent cependant dans la gestion réalisée. Une enquête de terrain est réalisée chaque année auprès des exploitants et apporte des informations précises sur les pratiques appliquées à chaque parcelle. Les pratiques peuvent être diversifiées dans le détail (usages, chargement, date de mise à l'herbe etc.) et peuvent parfois varier entre années. Dans le tableau 5, les stations prairies sont caractérisées par leur gestion dominante : pâturage par des bovins, bovins/équins, fauche/pâturage ou fauche.

**Tableau 6 : Nombre de station VP (10 par zone d'étude) par type d'usage agricole.**

Usages agricole	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	

## 2. Caractéristiques physico-chimiques du sol

Conductivité et horizon organique : La gamme de conductivité de la nappe d'eau superficielle dans le sol (figure 25 gauche) distingue les zones de l'Ouest (1 à 5) et les zones de l'Est (Dudoignon et al. 2016). Les zones de l'Ouest sont sur un sol argileux où se trouve des nappes d'eau salées. Leur sol présente une épaisseur de l'horizon organique beaucoup plus réduite que dans les zones 7 et 8, et dans une moindre mesure que dans les zones 9 à 11 (figure 25, graphique de droite). Les zones 7 et 8 présentent les horizons organiques les plus épais. Ces données de sol ne rendent pas compte des contrastes pouvant exister le long des toposéquences (voir Amiaud et al. 1998<sup>8</sup>)



**Figure 25 : Salinité (mg/L) de la nappe superficielle (cnap) et hauteur (cm) de l'horizon organique (horg) sur les 11 zones d'étude.**

## 3. Caractéristiques paysagères autour des stations 'prairies'

Proportion des différents modes d'occupation du sol : La figure 26 présente les surfaces en herbe et en cultures sur les tampons de 500 m autour des stations VP (soit environ 90 hectares). L'environnement paysager proche des stations des 11 zones (rayon de 500 m) présente entre 70 et 80 ha (soit entre 78 et 89% de la surface) de prairies dans leur environnement paysager proche (500m), à l'exception notable d'une station de la zone 4 et de toutes les stations de la zone 9 qui sont situées au sein d'un paysage beaucoup moins prairial.

Il peut y avoir une présence notable de culture dans les alentours des stations « prairies », et c'est le cas en particulier des stations des zones 4, 5 et 10 où la quantité de zones en cultures est maximum (figure 27).

Il y a donc des zones avec beaucoup de prairies et peu de cultures (zones 1, 2, 3), beaucoup de prairies mais aussi de cultures (zones 4 et 5), beaucoup de cultures (zones 10) et assez peu de prairies et peu de cultures (zone 9). Dans le cas de la zone 9, la surface en boisements (peupleraies, boisements humides) est élevée. Cela est bien visible sur la figure 27 qui présente les proportions des trois modalités majeures d'occupation du sol sur un rayon de 2 km autour des centres des zones d'étude. La proportion de boisement est également élevée sur les zones 7 et 8. Les surfaces en culture (maïs, céréales) sont en proportion importante sur les zones situées en bordure de marais : cette forte proportion de cultures concerne des « buffers » de rayons de 2 km qui incluent une partie en plaine (zones 4, 6, 11) mais aussi des zones en « cœur » de marais (zones 5 et 10).

<sup>8</sup> Amiaud B., J. B. Bouzillé, F. Tournade & Bonis A. 1998 Spatial patterns of soil salinities in old embanked marshlands in western France. *Wetlands*, 18, 482-494.

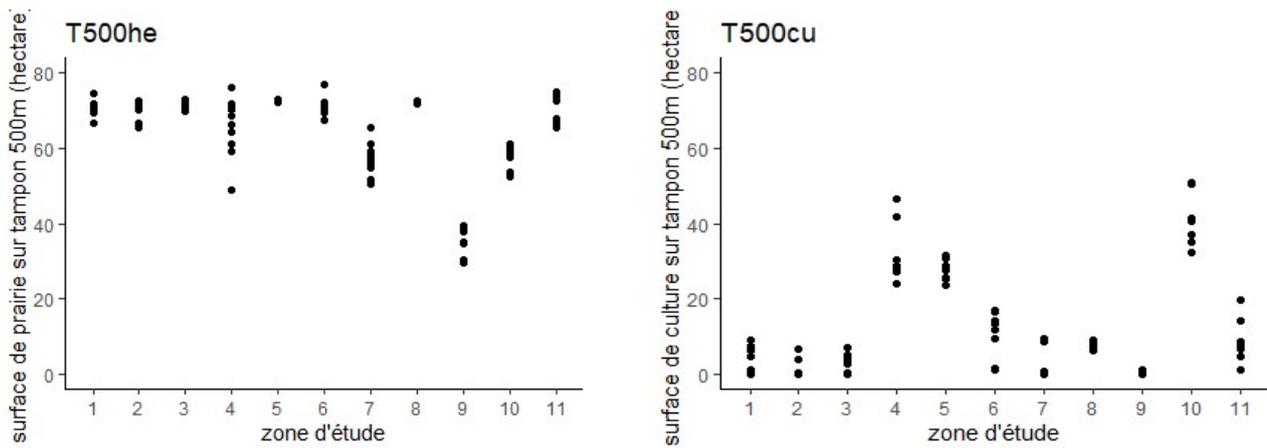


Figure 26 : Surface (hectare) de prairie (T500he) et de cultures (T500cu) sur des tampons de 500 m autour des centres des zones d'étude pour chaque station VP.

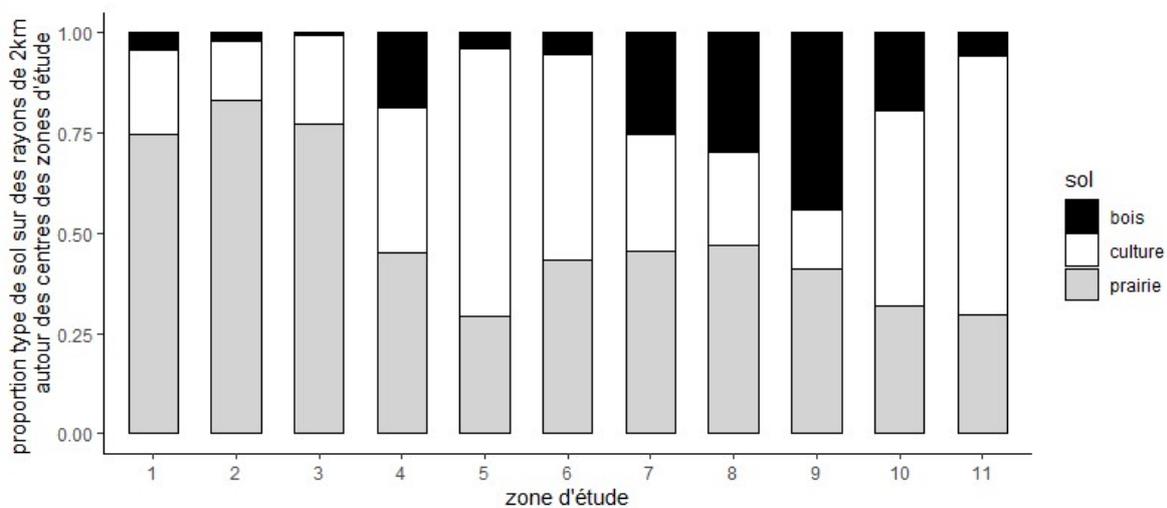
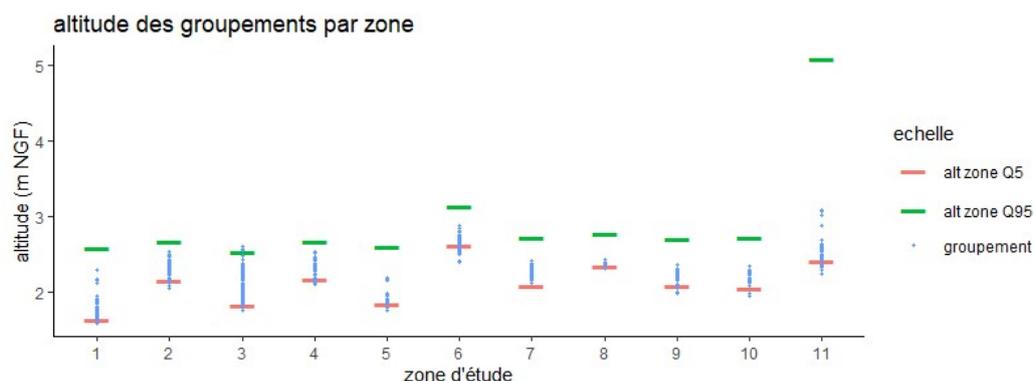


Figure 27 : Proportions de prairies (RPG), de cultures (RPG) et de boisements (Télédétection) sur des rayons de 2 km autour des centroïdes des zones d'études.

#### 4. Caractéristiques du régime hydrique au niveau des stations 'prairies' et le long de la toposéquence

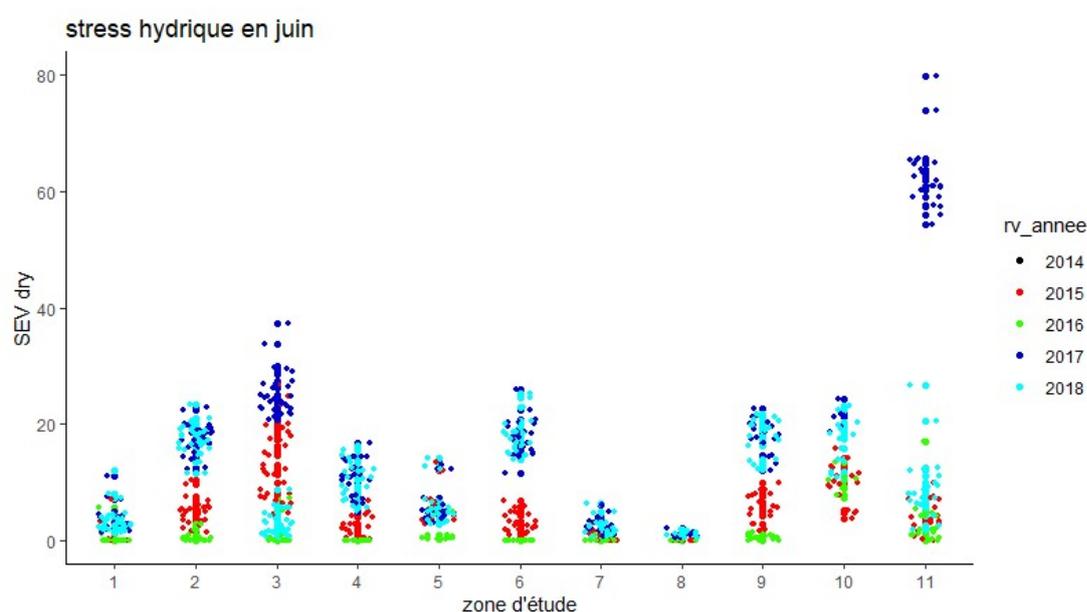
**Topographie** : L'amplitude topographique des zones est approchée en considérant les centiles 5 et 95 des valeurs d'altitudes des prairies (valeurs d'altitudes fournies par le MNT lidar recalibré par des mesures de terrain). La plus forte amplitude topographique est, de loin, située sur la cuvette de Nuaillé, avec 2,5 m d'écart entre les deux centiles. D'autres zones (1, 3, 5) présentent des amplitudes d'altitude relativement importantes, de l'ordre du mètre, alors qu'elle est de l'ordre de 50 cm sur les zones 2, 4, 6 et 8.

Les groupements de végétation homogènes suivis sont positionnés le long de transects de 100 m maximum, transects ou toposéquences qui sont perpendiculaires au gradient d'altitude existant dans la prairie. Une extrémité de chacun des 10 transects par zone d'étude a été positionnée dans les points parmi les plus bas, l'autre extrémité remontant la pente éventuelle. Les amplitudes topographiques des zones 2 à 4 sont bien couvertes par la gamme d'altitude des groupements (points bleus sur la figure 28) tandis que dans la zone 11, les groupements étudiés sont seulement ceux des zones les plus basses ou d'altitude moyenne.



**Figure 28 : Altitude NGF (m) des groupements de végétation homogènes et altitudes des centiles 5 (Q5) et 95 (Q95) par zone d'étude.**

Stress hydrique : Le stress hydrique mesuré au cours du mois de juin (figure 29) est plus intense sur les zones 11 et 3, et plus faible sur les zones 7, 8 et 1. Il varie entre années avec notamment un stress hydrique plus important en 2017 et 2018 que les autres années dans toutes les zones.



**Figure 29 : Stress hydrique (SEV dry, sans unité) des groupements de végétation homogènes en mars et en mai par zone d'étude de 2014 à 2018.**

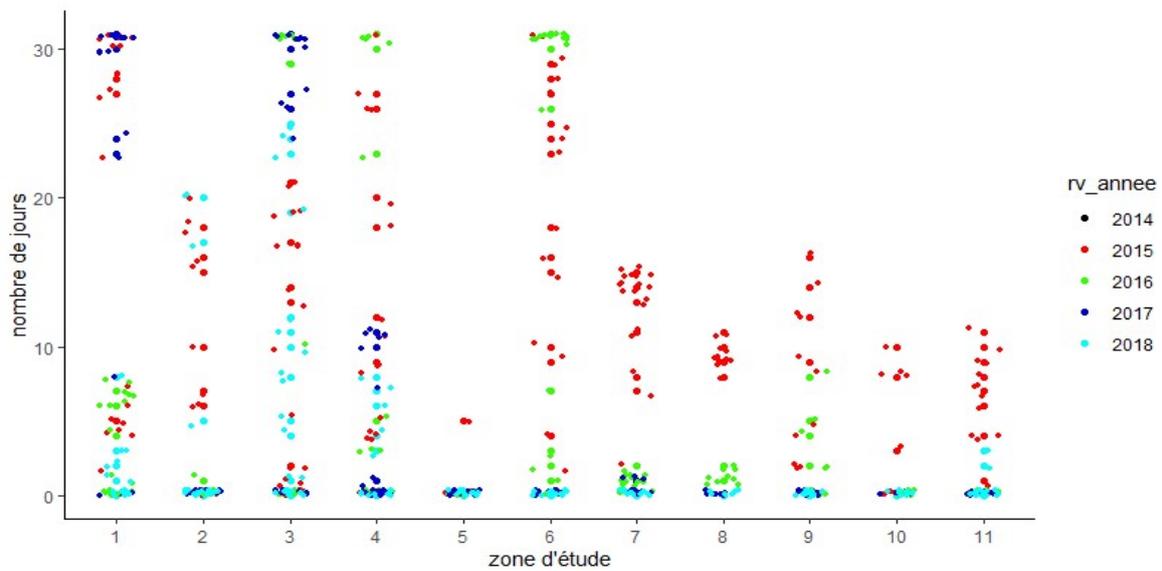
Durée d'inondation au niveau de chaque groupement homogène de végétation : La durée d'inondation de chaque groupement homogène est présentée pour les mois de mars et de mai de 2015 à 2018 sur la figure 30, la moyenne inter-annuelle est renseignée sur la figure 31. Les données de durée d'inondation 2019 seront disponibles courant avril 2020.

Pour les zones 1, 3, 4 et 6, certains groupements sont très longuement inondés, plus de 20 jours sur les 30 du mois de mai. La période de mai peut être considérée comme distinguant bien les prairies longuement inondées et les autres, en particulier quand cette durée d'inondation intervient chaque année comme ici (Figure 30).

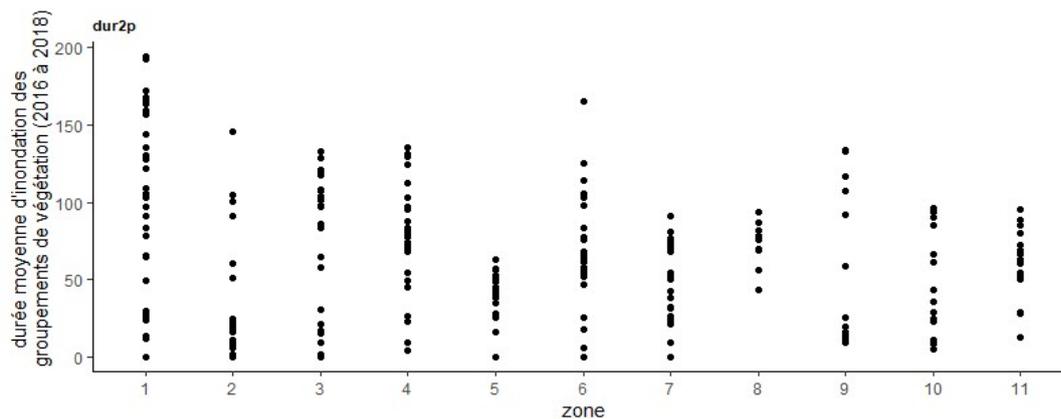
Un effet année est également observable: sur les zones 7 à 11 par exemple, seule l'année 2015 correspond à des inondations de plus de 10 jours en mai sur certains groupements.

Les zones 4 et 6 (et dans une moindre mesure la zone 3), présentent la particularité d'avoir certains groupements qui sont inondés longuement, et d'autres qui sont déjà exondés en mars. Ce contraste intra-zone est lié avec la répartition des groupements de végétation le long de toposéquences assez marquées, avec des contrastes d'altitude nets qui séparent les communautés hygrophiles des communautés mésophiles.

La végétation intégrant l'effet de l'environnement sur plusieurs années, la figure 31 montre la moyenne des durées d'inondations 8 mois avant les relevés (septembre à mai) de 2016 à 2018. On observe, comme sur la figure 27, que les zones 5, 7, 8, 10 et 11 présentent les plus faibles durées d'inondations.

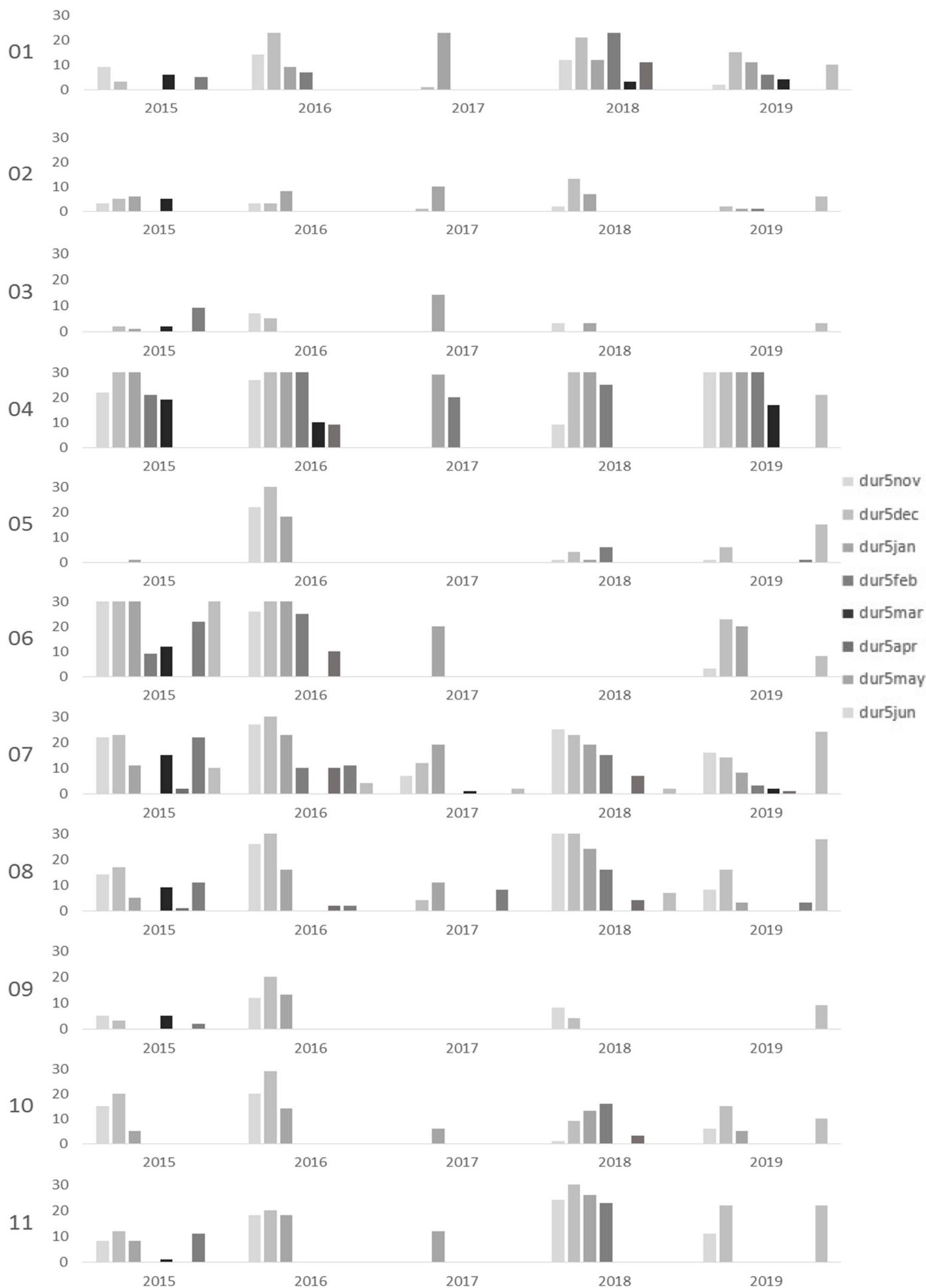


**Figure 30 : Durées d'inondation (jours) des groupements de végétation homogènes en mai par zone d'étude de 2015 à 2018.**



**Figure 31 : Moyenne des durées d'inondation (jours) mesurées sur les périodes de 8 mois avant les relevés (septembre à mai) des années 2016 à 2018 par groupement de végétation.**

Durée d'inondation au niveau de chaque groupement homogène de végétation :



**Figure 7 : Nombre de jours par mois (novembre à juin) durant lesquels au minimum 20 % de la surface prairiale de chacune des 11 zones est en eau.**

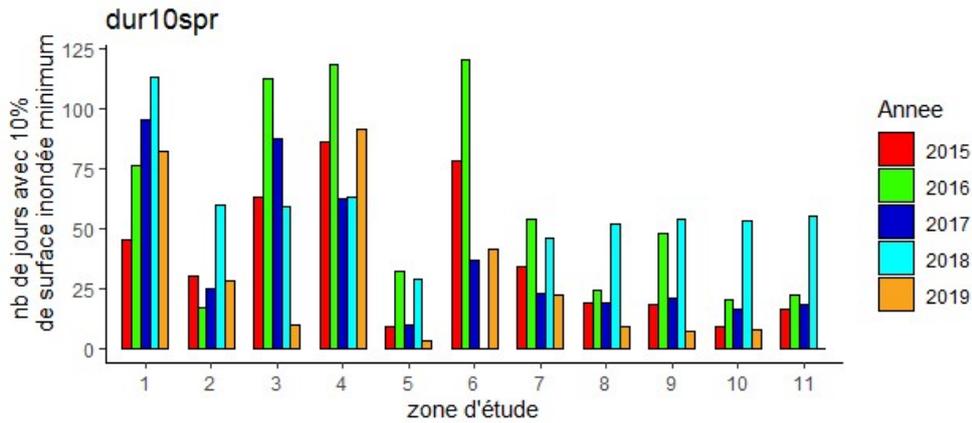
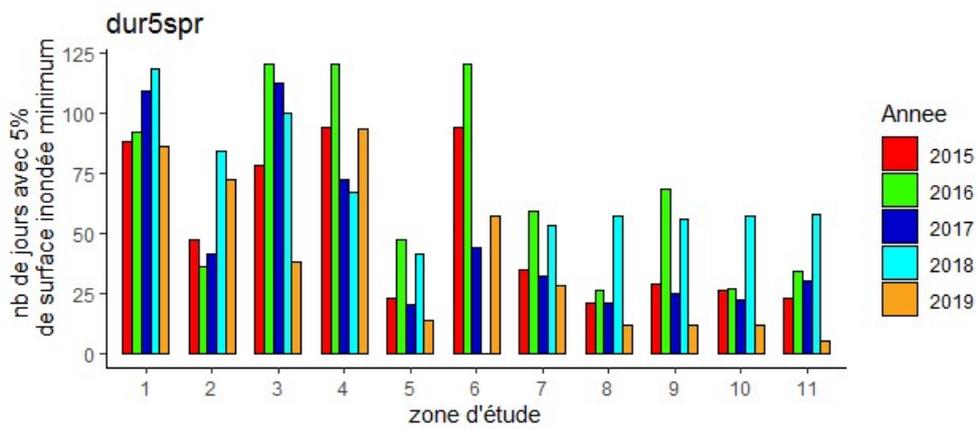


Figure 8 : nb de jours ou au minimum 5% (en haut) et 10% (en bas) de la superficie des prairies sont couvertes d'eau de mars à juin par zone de 2015 à 2019.

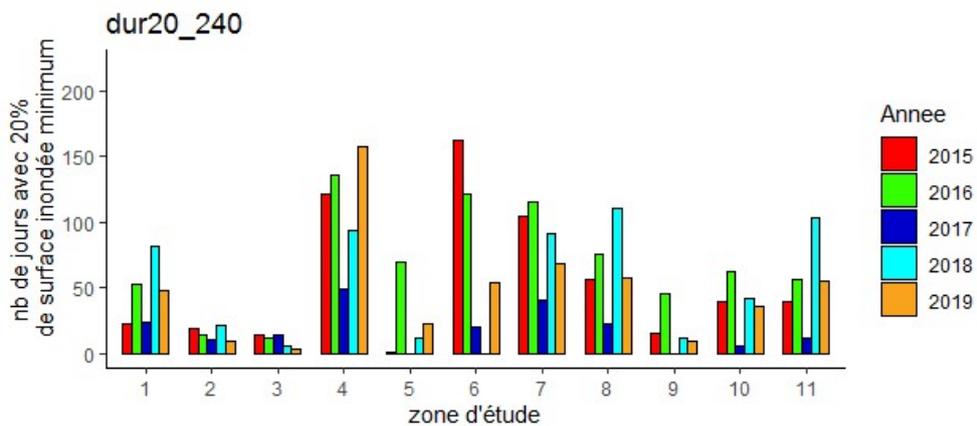
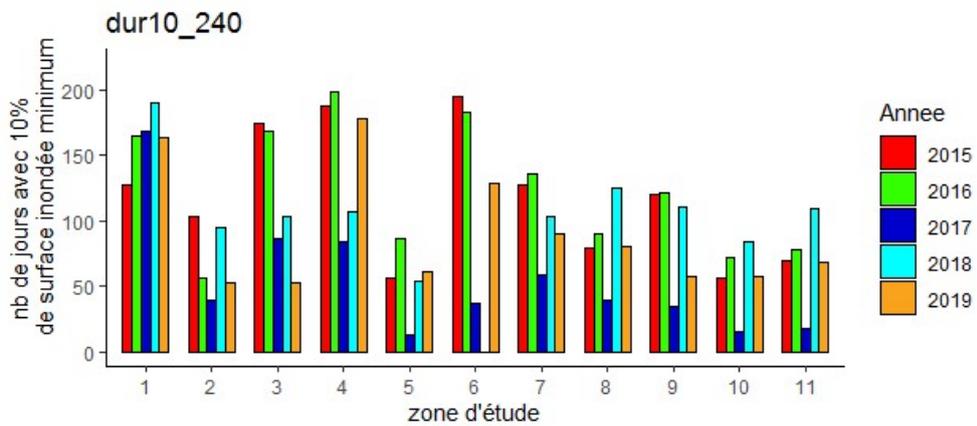
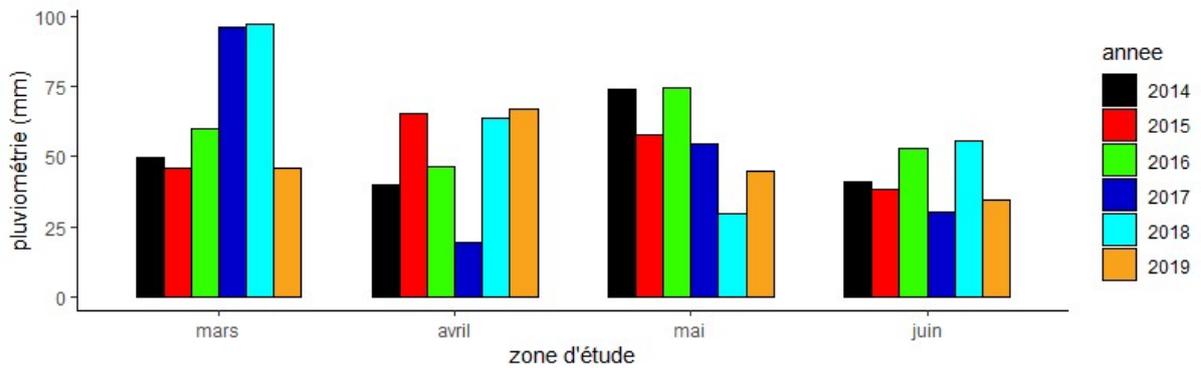


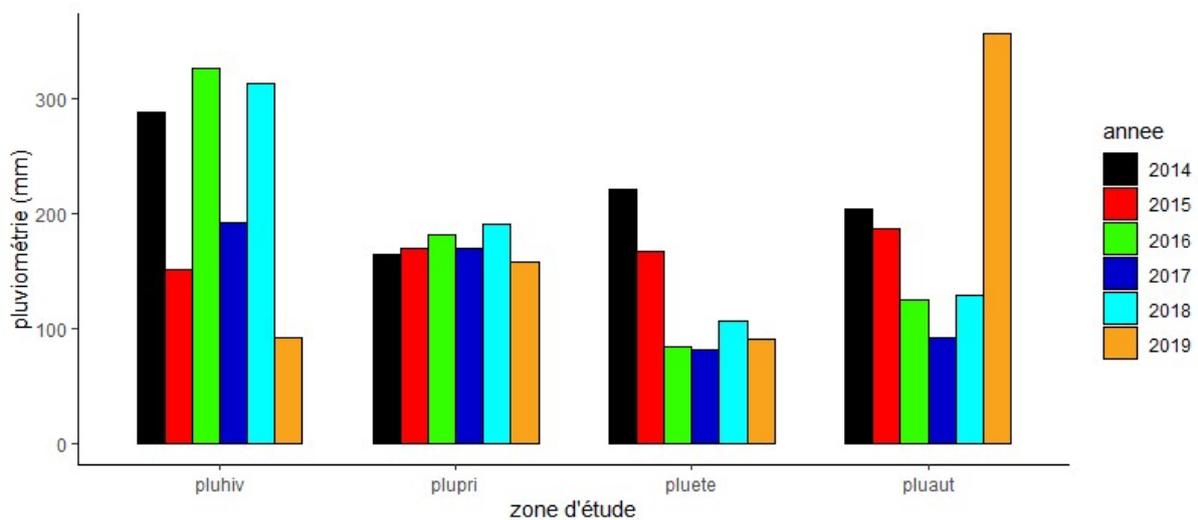
Figure 9 : nb de jours ou au minimum 10% (en haut) et 20% (en bas) de la superficie des prairies sont couvertes d'eau de novembre à juin par zone de 2015 à 2019.

**Pluviométrie** : La pluviométrie varie en fonction des années sans différences de microclimat entre les 3 stations météorologiques. La figure 32, présente les **pluviométries mensuelles** en mars à juin mesurées sur la station Météo France de Marans.



**Figure 32 : Pluviométrie mensuelle (mm) des mois mars, avril, mai et juin de 2014 à 2019.**

Cumulée sur des périodes de 3 mois, apparentées aux saisons (décembre à février pour l’hiver, mars à mai pour le printemps, juin à août pour l’été et septembre à novembre pour l’automne), on observe également des différences importantes entre années (voir figure 33).



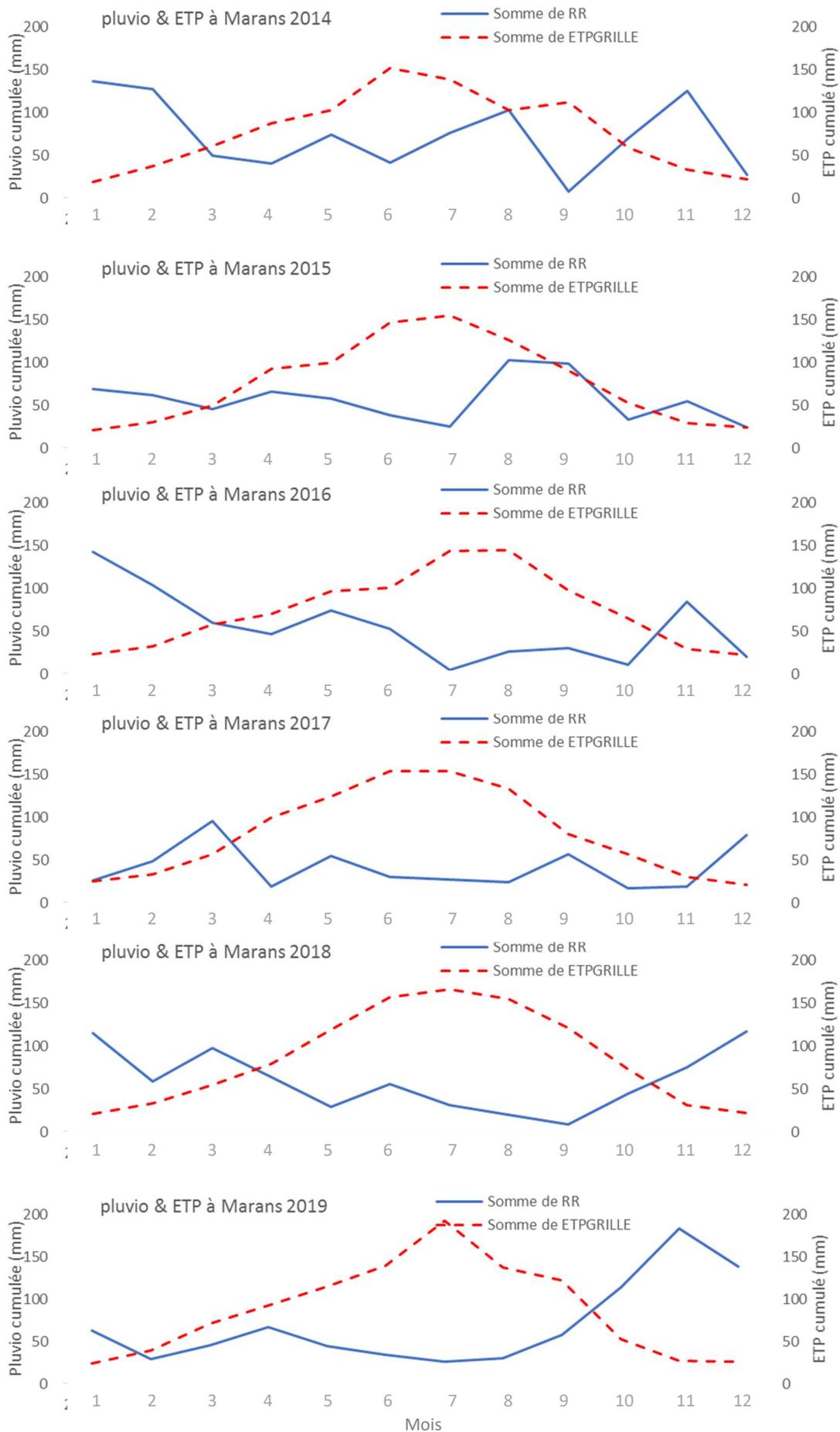
**Figure 33 : cumuls de pluviométries par périodes de 3 mois sur la station météo France de Marans (pluhiv = décembre à février, plupri = mars à mai, pluete=juin à août, pluaut=septembre à novembre).**

On observe schématiquement, deux hivers particulièrement secs en 2015 (décembre 2014 à février 2015), 2017 et surtout 2019. La pluviométrie cumulée au printemps est stable, malgré la variabilité mensuelle (voir figure 32). Les étés 2014 et 2015 ont été plus arrosés, de même que les automnes 2014 et 2015. L’automne 2019 est la période qui cumule le plus de pluviométrie, toute saison confondue.

Les années 2016 à 2018 ont vues se succéder des étés et des automnes avec peu de pluviométrie.

**Evapotranspiration** : Comme pour la pluviométrie, les valeurs d’évapotranspirations varient plus entre années qu’entre les 3 stations météo.

La figure 34 ci-dessous présente ETP mensuelle et pluviométrie mensuelle par année mesurée à la station de Marans.



**Figure 34 : Evapotranspiration (ETPGRILLE, en mm, pointillés rouges) et pluviométrie (RR, en mm, lignes bleues) mensuelles mesurées à Marans par année.**

## V. Analyse multicritères des données environnementales dans les 11 zones d'étude

### 1. Méthode d'analyse multicritères des données environnementales

Clés de méthode et d'interprétation des ACP :

L'**analyse en composantes principales (ACP)**, est une méthode de statistique descriptive qui permet de visualiser un jeu de données contenant des individus statistiques (unités d'échantillon dans notre cas) décrits par plusieurs variables quantitatives (données multivariées). S'agit-il de représenter des individus statistiques en fonction de deux variables, sur un nuage de points en 2D (par exemple les zones d'études en fonction des proportions de cultures sur un axe et de la concentration en nitrates sur un autre axe), lorsque le nombre de dimensions augmente, comme ici le nombre de variables caractérisant les conditions d'environnement, la méthode d'ACP permet de visualiser la dispersion du nuage de points caractérisant les individus statistiques par une multitude de variables. On observe la forme de ce nuage de points multidimensionnel sur une projection de quelques axes seulement. Les axes à considérer sont ceux qui déforment le moins possible le nuage de points, ce qui signifie qu'ils absorbent le plus d'inertie du nuage de points. On parle alors d'axes explicatifs des variations contenues dans le nuage de points (i.e. de leur inertie).

Les deux premiers axes sont ceux qui absorbent (expliquent) la plus forte proportion d'inertie du nuage de points.

Les ACPs présentées dans cette partie du rapport reflètent les deux premiers axes, c'est-à-dire le plan factoriel 1/2. Les variances expliquées par les différents axes factoriels sont présentées par les figures b « *Scree plot* ».

Les figures a « **Variables – PCA** » montrent la projection des variables environnementales sur le plan vectoriel. L'échelle des contributions permet de visualiser quelles variables contribuent le plus à la dispersion du nuage de points. La direction et la force de la contribution des variables permettent de préciser leurs significations sur les axes factoriels. Les variables proches de l'axe1 ou 2 sont représentatives de ces axes, et ce d'autant plus que leur contribution est élevée. A l'inverse, les variables éloignées des axes indiquent qu'elles sont peu représentatives et contributives. Le sens du vecteur permet de déterminer le sens de la corrélation avec les axes. Elles sont au contraire indépendantes sur ce plan si leurs vecteurs forment un angle droit.

Les figures b « **PCA – biplot** » montrent la projection des variables et la répartition du nuage de points des individus sur ce plan factoriel 1/2. Les individus sont, selon les analyses, les zones, les zones par années, les stations d'études ou les groupements de végétation. Les ellipses par zone sont les ellipses de confiance (tracées en fonction de l'intervalle de confiance). Les points les plus intéressants sur ce plan sont les points les plus proches des axes et les plus loin du centre car ce sont ceux qui contribuent le plus à la formation des axes. La proximité des points, d'autant plus si ils sont éloignés du centre, traduit une réponse similaire aux variables.

#### **Intérêt d'une approche multicritères pour caractériser les conditions environnementales des communautés végétales et animales étudiées dans le suivi « biodiversité »**

Les organismes répondent à une diversité de facteurs environnementaux, et c'est aussi le cas des niveaux d'organisation supérieurs, les populations et communautés d'espèces. Certains de ces facteurs ont une importance prédominante quel que soit le contexte (facteurs déterminants vitaux tels que la lumière, l'eau et les sels minéraux pour les végétaux photosynthétiques) et d'autres sont plus secondaires (par exemple la fréquence de défoliation, le pH du sol et la teneur en sels minéraux au-delà ou en-deçà de certains seuils, le stress hydrique au-delà d'un seuil, ...). Décrire les conditions environnementales par une diversité de critères vise en conséquence :

- 1- à s'approcher le plus possible de l'ensemble des conditions de facteurs déterminants le succès des organismes, des populations ou la structure des communautés. *Les analyses conduites ensuite chercheront à évaluer leur impact respectifs (travail sur l'analyse des données 'biodiversité'),*
- 2- à évaluer les co-variations entre les différentes variables environnementales,
- 3- à évaluer le poids des variables dans les distinctions/regroupements des 11 zones d'études, et éventuellement dans les contrastes entre stations d'une même zone d'étude.

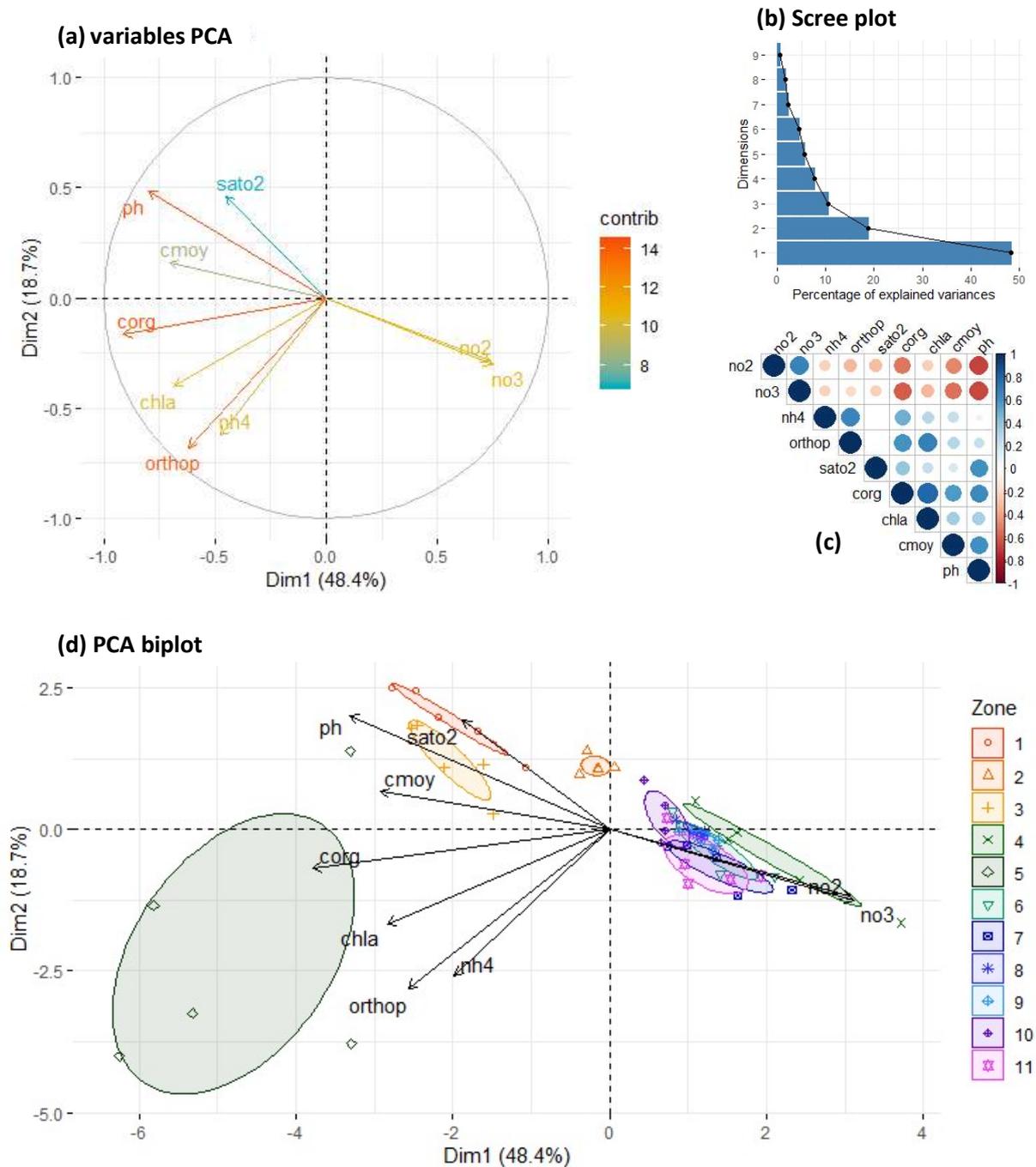
Ce rapport présente les analyses multicritères par ACP au sein des 5 familles de métriques environnementales :

- Qualité de l'eau (11 zones, 5 années),
- Paysage des canaux (110 stations canaux, répété chaque année),
- Régime hydrique des canaux (100 stations canaux, 5 années),
- Paysage et régime hydrique des prairies (11 zones, répété chaque année),
- Régime hydrique des groupements (échelle des groupements de végétation prairiale, 5 années).

Des distinguos sont parfois opérés en fonction des échelles spatiales : zone, station VA, groupements VP.

## 2. Analyse des données de qualité physico-chimique de l'eau des canaux

Physico chimie de 2015 à 2019 à l'échelle zone ; jeu de données UNIMA



**Figure 35 : ACP sur les variables qualité physico-chimique de l'eau – Cercle de corrélation des variables (a), variances expliquées par les axes (b), matrice de corrélation (c), et, projection des variables et des individus sur le plan factoriel 1/2 (d). Les points (individus) sont les zones d'études par année (11 zones \* 5 années).**

La projection sur le plan 1/2 explique 77,1% de l'inertie du nuage (Figure 35a). L'axe 1 est très fortement explicatif des contrastes de données entre zones, opposant pH, carbone organique dissous, conductivité et saturation en oxygène aux nitrites et nitrates qui sont donc corrélés négativement (fig 35 a et b). Les données de la zone 5 se démarquent fortement des autres (fig 35 d) d'une part par une forte variabilité inter-annuelle et par des valeurs élevées de pH, de chlorophylle a, d'orthophosphates et de carbone organique qui les positionnent sur la partie gauche de l'axe 1. Deux groupes de zones sont discriminés par cette analyse des variables de qualité de

l'eau : le groupe des zones 1 à 3 (conductivité élevée et pH + alcalin) et le groupe des zones 4 et 6 à 11, à droite de l'axe 1, associés à des concentrations en nitrites et nitrates plus élevées et avec très peu de variabilité interannuelle. La zone 2 est en position intermédiaire entre ces deux groupes. L'axe 2 est essentiellement déterminé par l'orthophosphate et l'ammonium, vers le bas, contribuant à isoler la zone 5 et par le pH et la saturation en oxygène vers le haut et les zones 1 et 3.

Physico-chimie de l'eau mesurée en 2017 à l'échelle des différents canaux VA ; jeu de données « aquascop »

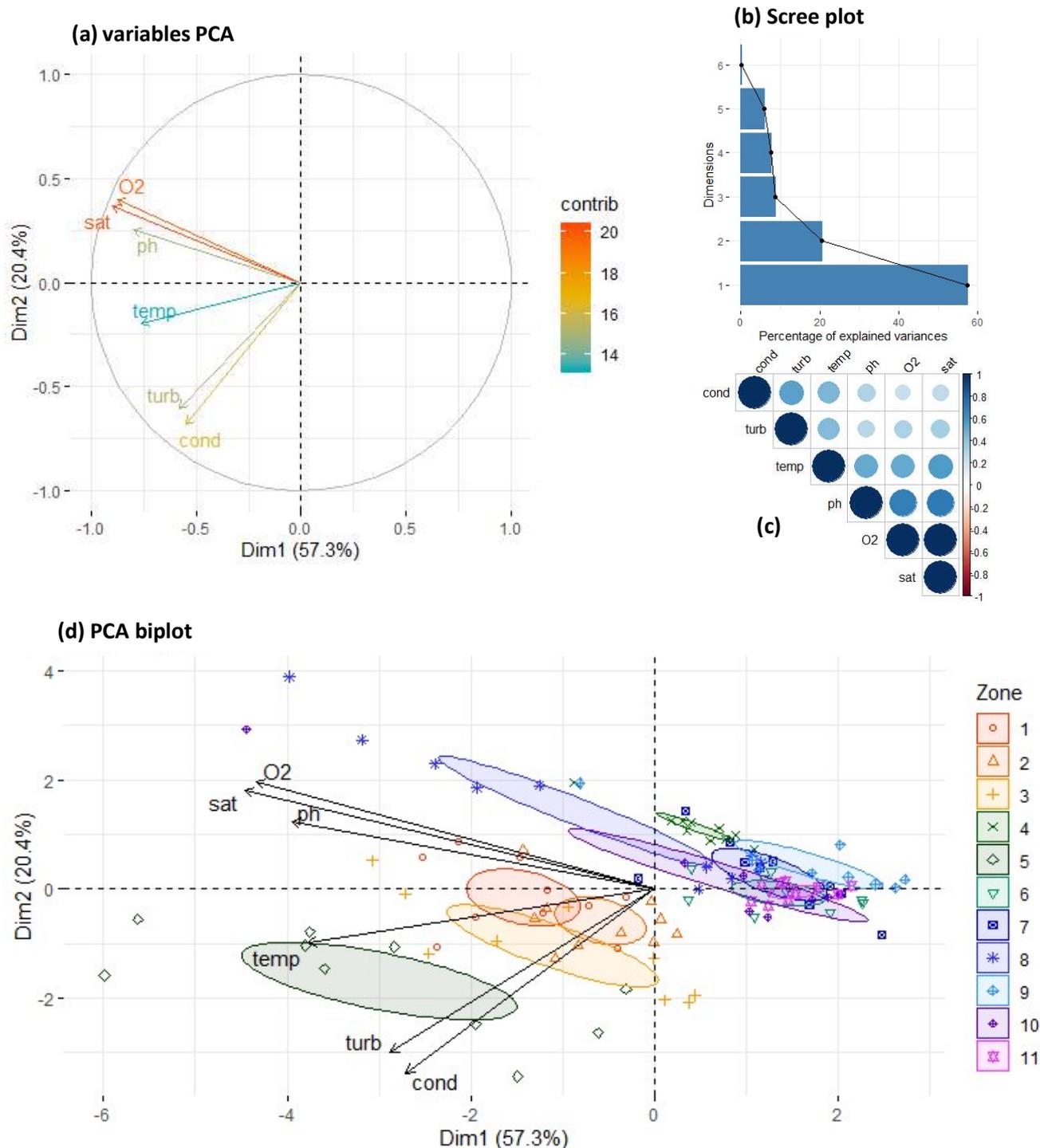


Figure 36 : ACP sur les variables qualité physiques de l'eau en 2017 – Cercle de corrélation des variables (a), variances expliquées par les axes (b), matrice de corrélation (c), et, projection des variables et des individus sur le plan factoriel 1/2 (d). Les points sont les stations de type canaux (9 à 10) par zones d'étude (108 stations).

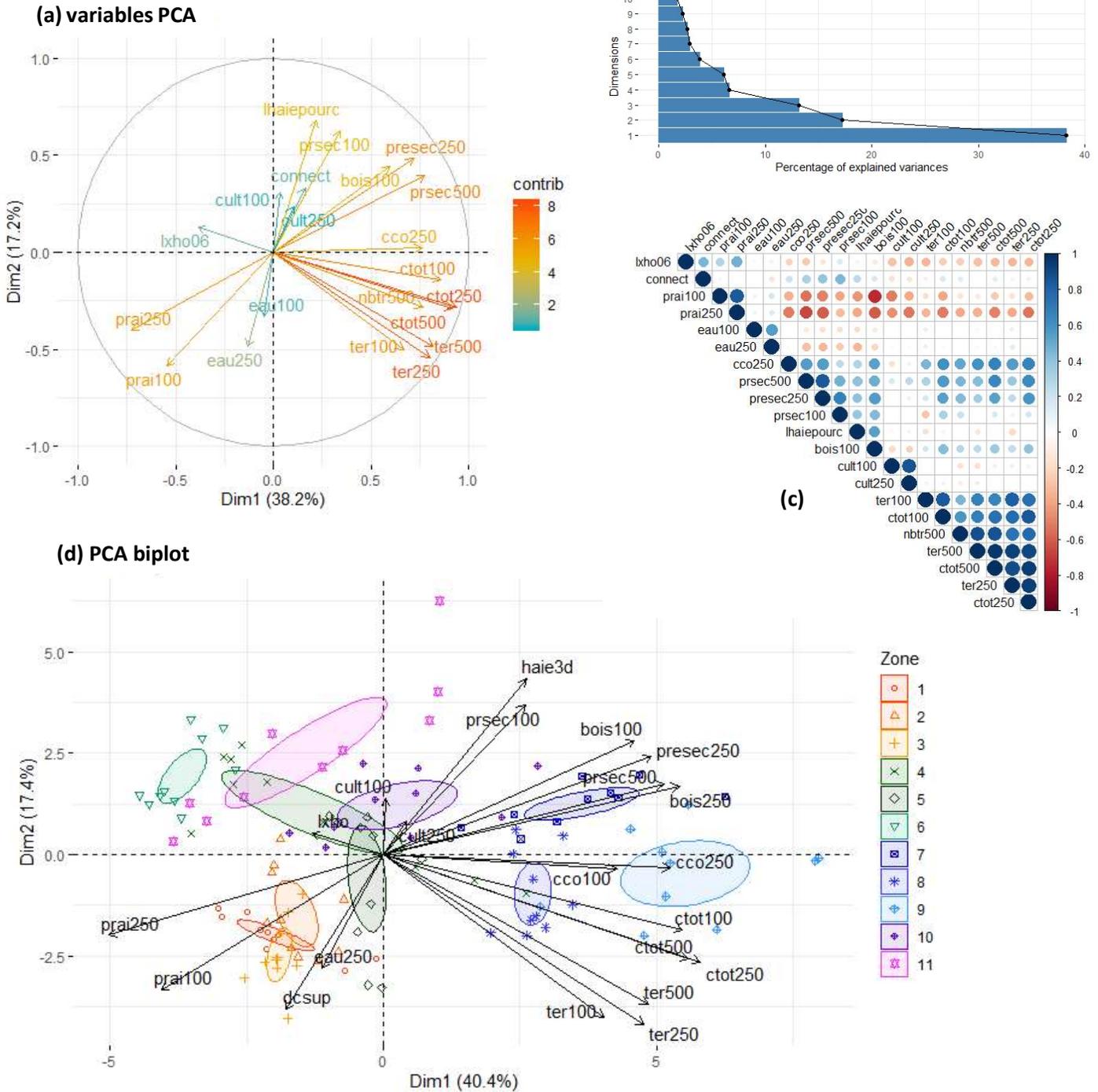
Le jeu de données « Aquascop » porte sur des variables largement différentes du jeu de données Unima, avec pour variables communes seulement le pH, la conductivité et la saturation en oxygène.

L'analyse de ce jeu de données va néanmoins dans le même sens que l'analyse sur les données UNIMA : les données de la zone 5 la distinguent de tous les autres. Les données des zones 1, 2 et 3 forment un groupe assez homogène, et les zones 4, 6 à 11 un deuxième groupe.

La projection sur le plan 1/2 explique 77.7% de l'inertie du nuage (Fig 36). L'axe 1 porte à lui seul la majorité de l'inertie du nuage de point, il est donc fortement explicatif des contrastes observés entre zones et stations. Les variables contribuant le plus à cet axe 1 sont : la saturation en oxygène et l'oxygène dissous, très corrélés entre eux, ainsi que le pH. Les variables turbidité et conductivité sont également corrélées entre elles et interviennent pour expliquer également le plan de l'analyse en contribuant aux axes 1 et 2. Elles étirent le nuage de points vers le quadrant en bas à gauche. Les données de certaines zones sont assez distantes entre elles sur cet axe 1, traduisant une hétérogénéité intra zone des paramètres liés à l'oxygène et au pH. Les zones se distinguent entre elles sur le plan de la conductivité et turbidité. La zone 5 est caractérisée par des valeurs plus élevées en conductivité et turbidité, les zones 1 à 3 forment un groupe intermédiaire avec le dernier groupe des zones 4, 6 à 11 caractérisées par les plus faibles valeurs de conductivité, de turbidité mais aussi de teneur en oxygène et saturation et de pH.

### 3. Analyse des données paysagères autour des canaux

#### Paysage à l'échelle canaux VA



**Figure 37 : ACP sur les variables paysagères des canaux – Cercle de corrélation des variables (a), variances expliquées par les axes (b), matrice de corrélation (c), et, projection des variables et des individus sur le plan factoriel 1/2 (d). Les points sont les stations canaux pour chaque zone d'étude (10 station \*11 zones).**

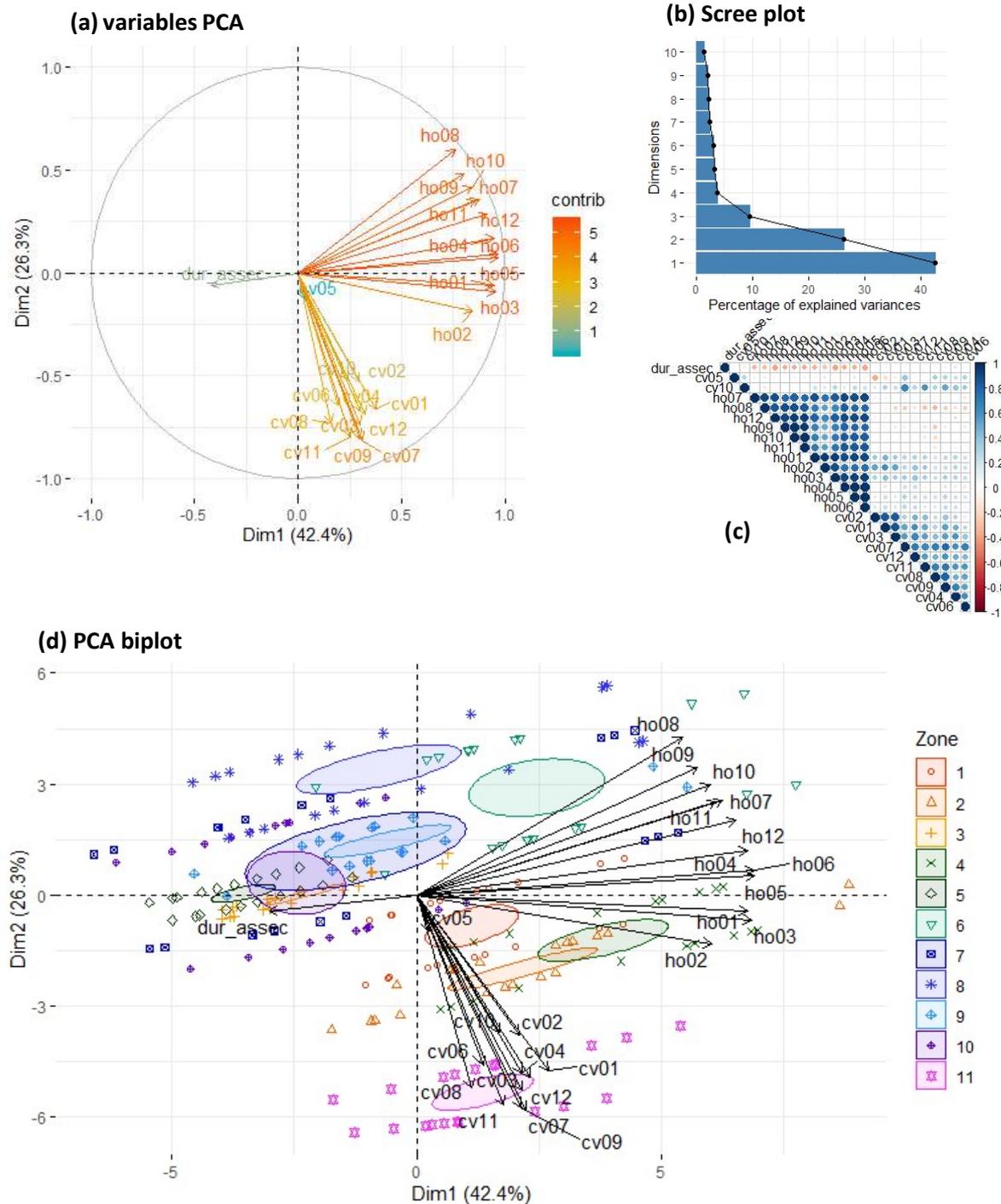
Ce jeu de données de métriques paysagères est abondant, notamment parce que toutes les variables sont exprimées à trois échelles spatiales différentes : 100, 250 et 500 m de distance des stations de suivi. Dans l'ACP (fig 37), elles s'organisent en 4 grands ensembles, orientés chacun vers des pôles différents de l'ACP. Les plus contributives sont indiquées en orange et rouge sur la fig 37 a.

L'ensemble des individus sont bien répartis sur le plan de l'ACP. L'axe 1 oppose les % de prairies (vers la gauche) aux % de boisements et à la longueur de linéaires de canaux. Certaines sont fortement corrélées, comme les linéaires de canaux tertiaires (ter500, ter250) ou le linéaire de canaux total (ctot250, ctot500) aux trois échelles spatiales (rayons de 100, 250 et 500 m), les % en boisement (bois250) et les linéaires de primaires/secondaires au rayon de 500m (prsec500) (vecteurs dans la même direction figure 37a).

Il y a beaucoup moins de groupes de zones similaires sur la base des variables paysagères que ce qui a été trouvé sur la base de la qualité de l'eau des canaux. Dans le cadran en bas à gauche, on trouve le groupe des zones 1 à 3, caractérisé par de fortes proportions de prairies, peu de haies, de boisements ou de canaux primaires ou secondaires. Les zones 4, 6 et 11 sont dans le cadran haut gauche, vers des valeurs faibles de linéaires de canaux. Ce sont des zones de grandes prairies communales entourées de quelques canaux de ceinture. Les zones 5 et 10 sont mal représentées sur ce plan. Ils répondent d'avantage à l'axe 3, caractérisé par de fortes proportions de cultures. A droite, les zones 7, 8 et 9 se situent en direction des forts linéaires de canaux et des proportions de boisements importants.

#### 4. Analyse des données relatives au régime hydrique (RH) dans les canaux

##### RH des canaux à l'échelle des stations « canaux »



**Figure 38 : ACP sur les variables régime hydrique – Cercle de corrélation des variables (a), variances expliquées par les axes (b), matrice de corrélation (c), et, projection des variables et des individus sur le plan factoriel 1/2 (d). Les points sont les stations canaux par zone d'étude de 2015 à 2018 (10 stations\*11zones\*4 années).**

Les deux premiers axes de l'ACP (figure 38) expliquent 68,70% de l'inertie du nuage de points et ces deux axes sont reliés très clairement 1- aux hauteurs d'eau, quel que soit le mois de l'année considéré car les valeurs mensuelles sont toutes très fortement corrélés et positivement entre elles, et 2- à la

durée d'assec du canal vers les coordonnées négatives de l'axe 1. L'axe 2 est déterminé par les variations mensuelles de niveaux d'eau (cv), qui sont également corrélés positivement entre elles. Ces deux axes, et les variables qui y contribuent fortement discriminent les zones : 1)- avec des durées d'assec assez long (zones 1, 5, 10, et certaines stations des zones 7, 8 et 9 dans une moindre mesure) et assez peu de variabilité intra-annuelle de hauteur d'eau, 2- groupe des zones avec une durée d'assec moyenne (zones 2, 11, certaines stations de la zone 1 et zone 6) qui se séparent entre zones avec de fortes variations de hauteur d'eau au cours de l'année (zone 11 surtout) ou non (2 et 6) et 3) groupe de zones ou stations avec des hauteurs d'eau plutôt élevés, peu variables dans l'année, et des durées d'assec courtes (zones 7, 4, 5, 10, certaines stations des zones 2, 6, 8 et 9).

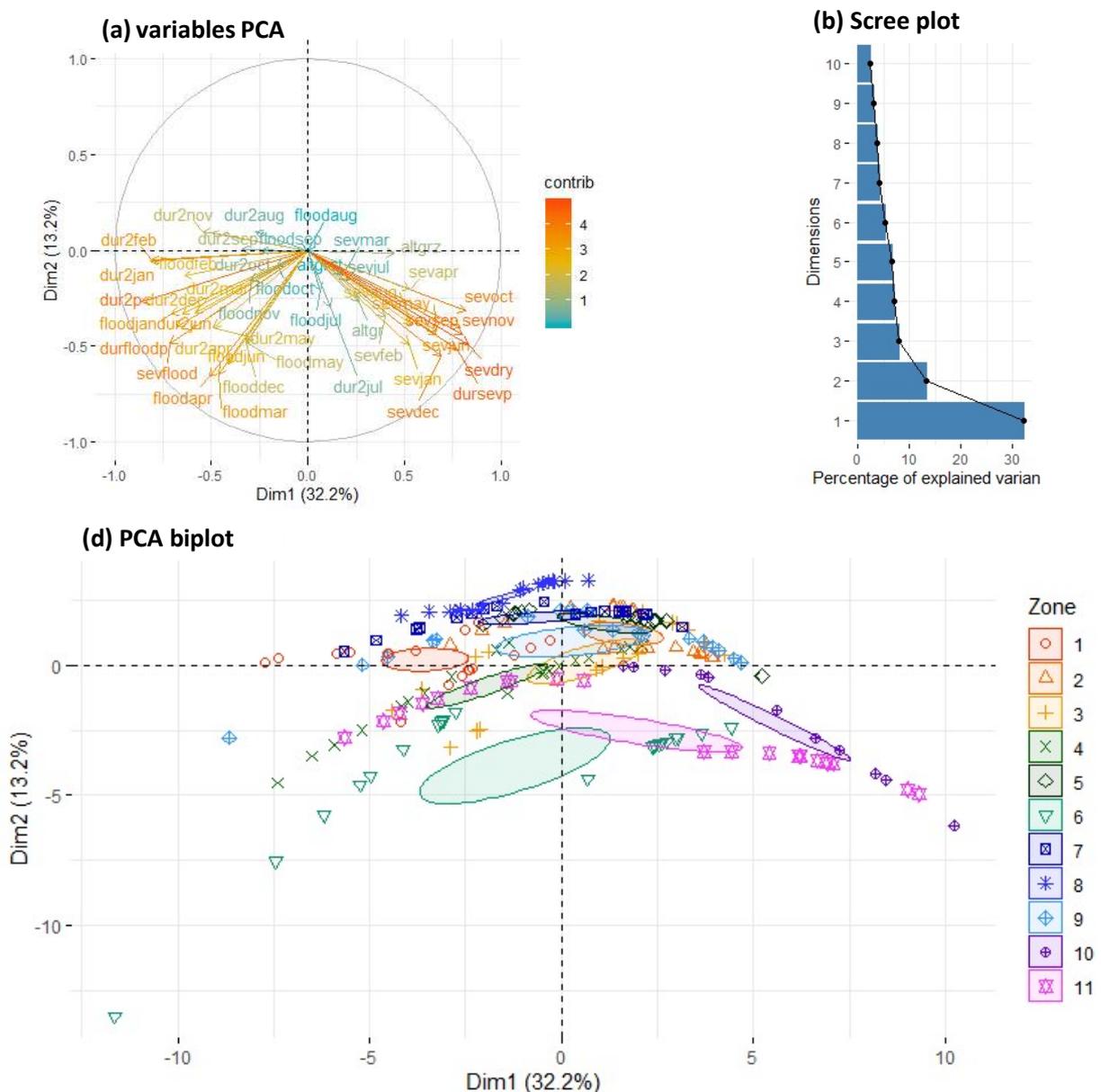
Ces variables de régime hydrique séparent certaines stations d'une même zone : cf résultats ci-dessus, suggérant l'importance de prendre en compte les conditions environnementales effectives dans les canaux plutôt qu'une valeur fixe à l'échelle de la zone.

La zone 11 se démarque sur l'axe 2 avec des coefficients de variation plus élevés à l'opposé des zones 6, 7 et 8. On observe que les stations se répartissent en lignes le long de l'axe 1, ce qui démontre une variabilité intra zone importante, avec vers la droite, les stations les plus profondes. Les zones 4 et 6 présentent globalement des canaux plus profonds, les zones 5, 10 et des stations de la zone 7 sont les moins profonds et subissent plus d'assecs.

## 5. Analyse des données de régime hydrique des prairies

Pour chacune des prairies, le régime hydrique est caractérisé au niveau de chaque groupement homogène de végétation, répartis le long de la toposéquence. Plus le dénivelé est important, plus le nombre de groupements homogènes est grand, de même que le nombre de points de caractérisation du RH dans la prairie. Cette diversité de régime hydrique au sein d'une même station 'prairies' est bien visible par l'étalement des points d'une même zone (et d'une même station en fait) sur la figure 38 (c/bas). Cette hétérogénéité spatiale intra-station est forte et explique la forte dispersion des points de chaque zone sur l'axe 1 de l'ACP. Certaines prairies de grande taille et présentant un fort dénivelé n'ont pas fait l'objet d'un échantillonnage exhaustif de la toposéquence : ainsi dans la zone 11, les données environnementales comme celle relatives à la végétation prairiale ne concernent que la moitié la plus basse des prairies.

RH des prairies, groupements les plus bas de chaque station (10 par zone, en 2016 et 2017).

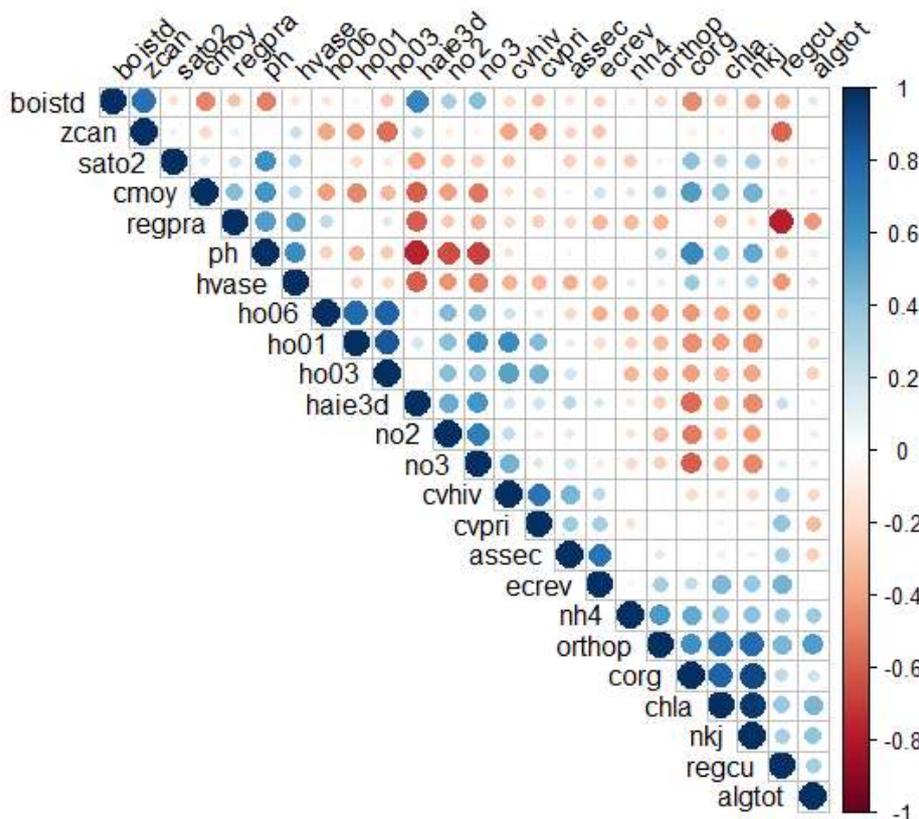


**Figure 39 : ACP sur les variables régime hydrique – Cercle de corrélation des variables (a), variances expliquées par les axes (b), matrice de corrélation (c), et, projection des variables et des individus sur le plan factoriel 1/2 (d). Les points sont les groupements bas de chaque station VP, soit 10 par zones d'étude de 2016 à 2017 (10 stations\*11zones\*2 années).**

La projection du nuage de points sur le plan 1/2 de l'ACP (figure 39) explique 45,4% de son inertie. L'axe 1 est principalement expliqué par des variables représentant le stress hydrique (sevdry : sev de juillet à mai ; et sevp ; de novembre à mai). L'axe 2 est largement expliqué par les variables d'intensité d'inondation (sevflood), les données de chacun des mois de l'année étant plus ou moins corrélées entre elles. De même que pour le stress hydrique, les intensités d'inondation calculées sur les mois qui précèdent les suivis (durfloodp, dur2p) ont une bonne contribution à ce plan de l'ACP, de même que les variables mensuelles de l'hiver et du printemps. Ces deux groupes de variables (stress hydrique, inondation) forment un angle d'environ 90° ce qui montre qu'elles sont indépendantes sur ce plan. En effet, certains groupements situés sur les prairies à l'ouest du marais sont à la fois longuement inondés en hiver et au printemps, tout en étant soumis à un stress hydrique important en été.

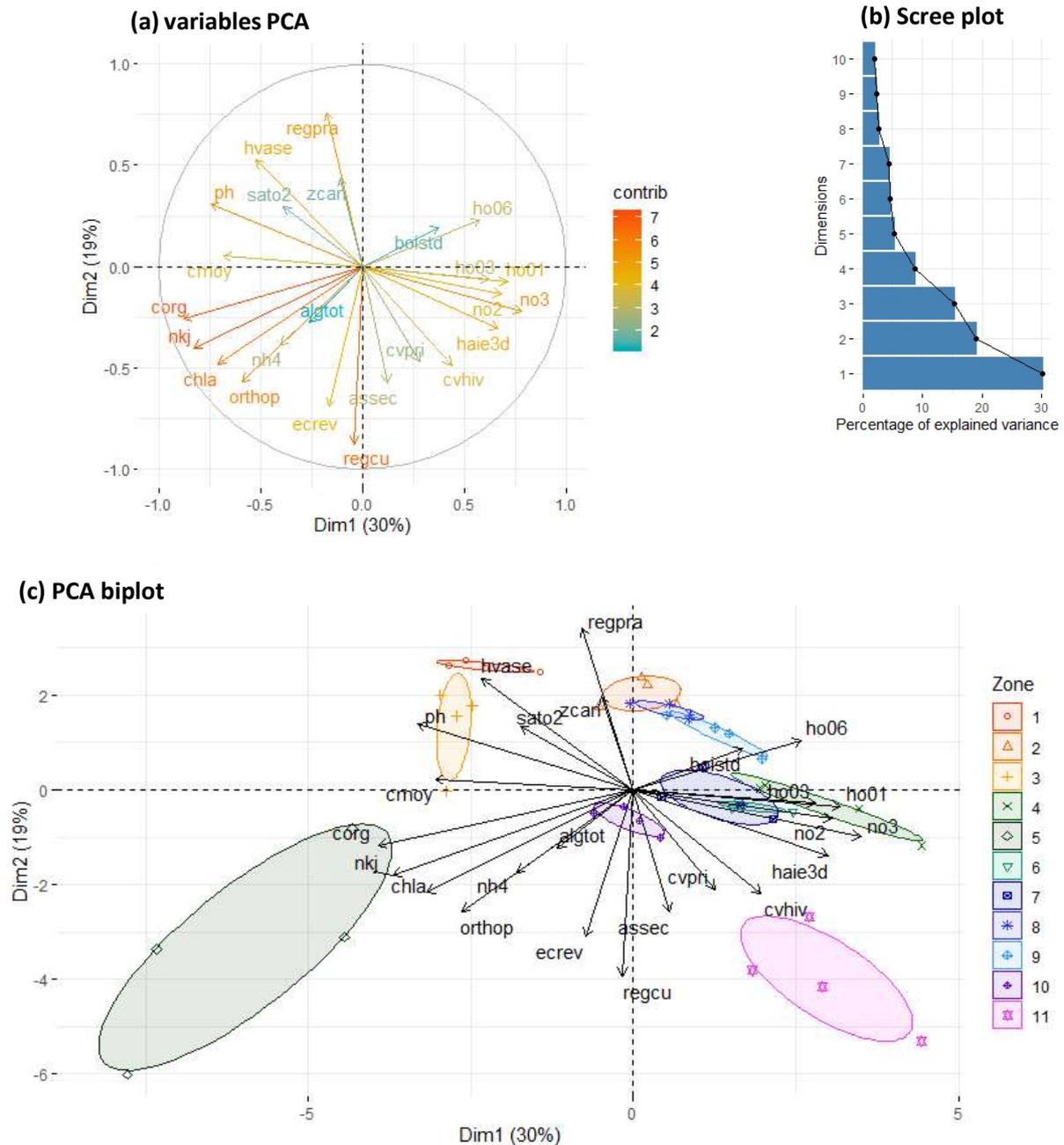
## 6. Approche par des variables caractérisant différentes composantes de l'environnement (différentes familles de variables)

Dans ce projet, nous cherchons à mieux comprendre les liens entre l'environnement (en particulier le régime hydrique) et l'expression de la faune et de la flore sur les 11 zones d'études. Cette approche conduit à caractériser l'environnement par un faisceau de variables de différentes familles susceptibles d'impacter un groupe taxonomique ou un habitat. Par exemple, pour des travaux portant sur l'étude de la végétation des canaux, une sélection de variables environnementales ont été considérées comme potentiellement explicatives pour la structuration des communautés : la figure 40 présente les corrélations qui les relient plus ou moins fortement les unes aux autres. Deux variables biotiques sont ajoutées, car elles sont considérées ici comme des variables environnementales : il s'agit du nombre d'écrevisses pêchés sur la zone (ecrev) et du couvert d'algues (algtot). On remarque des groupes de variables corrélées positivement, telle la proportion de boisements (boistd) et le linéaire de canaux (zcan), ou les hauteurs d'eau sur différents mois de l'année (ho01, ho03, ho06), des variables qualité de l'eau corrélées entre elles (carbone organique (corg), chlorophylle a (chla), azote de kjeldahl (nkj)). D'autres variables sont corrélées négativement, par exemple la valeur du pH avec la teneur en nitrites (no2) et en nitrates (no3), la proportion de cultures (regcu) et celles de prairies (regpra) etc.



**Figure 40 : matrice de corrélation de variables caractérisant différentes composantes de l'environnement, à l'échelle des zones d'études. La taille des cercles indique la force de la corrélation entre les 2 variables environnementales considérées (case blanche= aucune relation) et la couleur son sens (rouge= corrélation négative, bleu : positive)**

L'analyse de ces données considérées pour chacun des 11 sites d'étude a été réalisée par ACP et présentée dans la figure 41.



**Figure 41 : ACP sur des variables issues de différentes familles – Cercle de corrélation des variables (a), variances expliquées par les axes (b) et, projection des variables et des individus sur le plan factoriel 1/2 (c). Les points sont les zones d'étude entre 2015 et 2018 (11 zones\*4 années).**

La projection du nuage de points sur le plan 1/2 de l'ACP (figure 41) explique 49% de son inertie. L'axe 1 est principalement expliqué par des variables de hauteur d'eau (ho01 et ho03, ho06), de nitrites (no2) et de nitrates (no3) auxquelles s'opposent des variables de qualité de l'eau telles que le carbone organique dissous (corg), l'azote de kjeldahl (nkj), le pH, la chlorophylle (chla), la conductivité (cmoy). L'inertie de l'axe 2 est portée par les variables d'assolement, les prairies (regprai) s'opposant aux cultures (regcu), cette dernière variable étant associée aux écrevisses (ecrev) et à la durée d'assèchement des canaux (assec).

Les 11 zones d'études se situent différemment sur ce plan 1/2, montrant ainsi leurs contrastes mais aussi leurs similarités lorsque l'ensemble des familles de variables environnementales est pris en compte.

Les zones 5 et 11 se distinguent de toutes les autres tandis que les autres zones se situent de façon plus proche les unes des autres, avec une certaine continuité entre elles.

Les zones 5 et 11 sont situées dans la partie du plan factoriel correspondant à des coordonnées négatives de l'axe 2 : correspondant à des paysages avec un fort % de culture, longue durée d'assèchement des canaux, variabilité forte des niveaux d'eau au printemps et abondance élevée d'écrevisses. La zone 5 est en outre caractérisée par une hypertrophie de l'eau des canaux tandis que la zone 11 est plutôt caractérisée par des paysages avec une abondance de haies et une forte variabilité des niveaux d'eau en hiver.

Les autres zones sont essentiellement distribuées le long de l'axe 1 : les zones 1 et 3, plus salées, avec des niveaux de trophie élevés et des fortes proportions de prairies se groupent à gauche de l'axe 1. On retrouve à l'opposé, les zones 4, 6, 7 ou 9 de marais plus doux et plus boisés, et des niveaux d'eau plus élevés aussi bien en hiver, printemps et début d'été et des eaux riches en azote minérale (NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>).

## VI. Conclusions & perspectives

Ce rapport témoigne des efforts réalisés dans le projet pour disposer d'une caractérisation environnementale la plus complète et pertinente possible. Des travaux sur la littérature académique internationale ont permis d'identifier les différentes familles de variables descriptives de l'environnement des zones humides qui sont mobilisées pour l'analyse de données sur la faune et la flore. Ce bilan bibliographique met bien en évidence la complexité de la description du régime hydrique : en témoigne la multitude de variables inventoriées, presque toutes particulières aux études qui les mobilisent. Notre jeu de données « variables environnementales », regroupant des descripteurs du paysage, de la qualité de l'eau et bien entendu du régime hydrique couvre efficacement l'étendue du champ des variables retrouvées dans la littérature. Cette gamme d'information est précieuse et rarement disponible. Elle a été permise par les travaux réalisés par l'équipe en charge du projet, soutenue par l'EPMP et l'Agence de l'Eau, et grâce aux nombreux partenaires qui ont pu fournir des données complémentaires. Les analyses et présentations descriptives proposées dans ce rapport montrent des contrastes entre zones d'étude sur des ensembles de variables ou parfois sur un paramètre en particulier. Certaines zones se regroupent au regard de certaines variables et se dissocient avec d'autres variables. Les analyses des données « biodiversité » en cours visent à identifier les liens pouvant être significatifs entre les contrastes de conditions environnementales et de faune et de flore décrites au niveau des communautés.

Les travaux de construction et de suivi de cet ensemble de variables environnementales se poursuivent en 2020, avec en perspective, l'expression des données de variables régime hydrique en fonction des problématiques particulières de la gestion de l'eau (périodes de gestion, dates charnières etc.).

## Annexe I : liste des abréviations et liste des abréviations des variables environnementales

RH	Régime hydrique
VE	Variable environnementale
RPG	Registre parcellaire graphique
VP	Suivi de la végétation prairiale
VA	Suivi de la végétation aquatique
LI	Suivi des limicoles nicheurs
AM	Suivi de la macrofaune aquatique
OD	Suivi des odonates
EC	Suivi des écrevisses
PO	Suivi des poissons
SEV	Sum Exceedence Values selon Gowing et al. 1998, Merlin et al. 2015
MNT	Modèle numérique de terrain
ZH	Zone humide
EPMP	Etablissement public du Marais poitevin
SIGT	Système d'information géographique territorial
NGF	Nivèlement général de France

## Annexe II : liste des abréviations des variables environnementales acquises

Code variable	Définition brève de la variable environnementale
altgr	altitude NGF du groupement
boistd	% habitat source teledetection emprise au sol des boisements
cco100	Linéaire de canaux connectés sur tampon de 250mètre (busage, pas, gué et vanne considérées comme déconnexions)
cco250	Linéaire de canaux connectés sur tampon de 250mètre (busage, pas, gué et vanne considérées comme déconnexions)
chla	Moyenne de Chlorophylle a (trois fractions)
cmoy	Conductivité moyenne
cnap	conductivité de la nappe de surface
corg	Moyenne de Carbone Organique Dissous
ctot100	Longueur des canaux calculés sur des zones tampons de rayons 100, 250 et 500 m. Variables répliquées.
ctot250	Longueur des canaux calculés sur des zones tampons de rayons 100, 250 et 500 m. Variables répliquées.
ctot500	Longueur des canaux calculés sur des zones tampons de rayons 100, 250 et 500 m. Variables répliquées.
Cvhiv	Coefficient de variation de décembre à février
Cvpri	Coefficient de variation de mars à mai
dcsup	distance de la station au canal secondaire ou Tertiaire le plus proche (d'après terrain 2018, si busage, connexion ok)
dur_assec ou assec	nb de jours ou l'eau du canal est inférieur à 10 cm sur période juin (année -1) à mai de l'année considérée
dur2apr	Durée en jours avec plus de x cm d'eau de surface (0 à 15) pendant le mois concerné (ja à de)
dur2aug	Durée en jours avec plus de x cm d'eau de surface (0 à 15) pendant le mois concerné (ja à de)
dur2dec	Durée en jours avec plus de x cm d'eau de surface (0 à 15) pendant le mois concerné (ja à de)
dur2feb	Durée en jours avec plus de x cm d'eau de surface (0 à 15) pendant le mois concerné (ja à de)
dur2jan	Durée en jours avec plus de x cm d'eau de surface (0 à 15) pendant le mois concerné (ja à de)
dur2jul	Durée en jours avec plus de x cm d'eau de surface (0 à 15) pendant le mois concerné (ja à de)
dur2jun	Durée en jours avec plus de x cm d'eau de surface (0 à 15) pendant le mois concerné (ja à de)
dur2mar	Durée en jours avec plus de x cm d'eau de surface (0 à 15) pendant le mois concerné (ja à de)

dur2may	Durée en jours avec plus de x cm d'eau de surface (0 à 15) pendant le mois concerné (ja à de)
dur2nov	Durée en jours avec plus de x cm d'eau de surface (0 à 15) pendant le mois concerné (ja à de)
dur2oct	Durée en jours avec plus de x cm d'eau de surface (0 à 15) pendant le mois concerné (ja à de)
dur2p	Durée en jours de submersion avec plus de xx cm d'eau pendant les 8 mois avant relevé (pour 2015 et 2016) pour chaque groupement
dur2sep	Durée en jours avec plus de x cm d'eau de surface (0 à 15) pendant le mois concerné (ja à de)
durfloodp	de novembre à mai pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil +10cm (inondation) et les niveaux piézométriques journaliers supérieurs à 10cm (ex j1=9cm ; j2=-11cm ; j3=-12cm ; j4 = 13cm donne 0+1+2+3=6).
etp04	ETP (evapotranspiration) au mois d'avril
etp05	ETP (evapotranspiration) au mois de mai
etp12m	ETP sur 12 mois avant les suivis (juin année-1 à mai)
floodapr	avril somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil +10cm (inondation) et les niveaux piézométriques journaliers supérieurs à 10cm (ex j1=9cm ; j2=-11cm ; j3=-12cm ; j4 = 13cm donne 0+1+2+3=6).
floodaug	août année-1 somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil +10cm (inondation) et les niveaux piézométriques journaliers supérieurs à 10cm (ex j1=9cm ; j2=-11cm ; j3=-12cm ; j4 = 13cm donne 0+1+2+3=6).
flooddec	dec année-1 somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil +10cm (inondation) et les niveaux piézométriques journaliers supérieurs à 10cm (ex j1=9cm ; j2=-11cm ; j3=-12cm ; j4 = 13cm donne 0+1+2+3=6).
floodfeb	fev somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil +10cm (inondation) et les niveaux piézométriques journaliers supérieurs à 10cm (ex j1=9cm ; j2=-11cm ; j3=-12cm ; j4 = 13cm donne 0+1+2+3=6).
floodjan	janv somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil +10cm (inondation) et les niveaux piézométriques journaliers supérieurs à 10cm (ex j1=9cm ; j2=-11cm ; j3=-12cm ; j4 = 13cm donne 0+1+2+3=6).
floodjul	juillet année-1 somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil +10cm (inondation) et les niveaux piézométriques journaliers supérieurs à 10cm (ex j1=9cm ; j2=-11cm ; j3=-12cm ; j4 = 13cm donne 0+1+2+3=6).
floodjun	juin somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil +10cm (inondation) et les niveaux piézométriques journaliers supérieurs à 10cm (ex j1=9cm ; j2=-11cm ; j3=-12cm ; j4 = 13cm donne 0+1+2+3=6).
floodmar	mars somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil +10cm (inondation) et les niveaux piézométriques journaliers supérieurs à 10cm (ex j1=9cm ; j2=-11cm ; j3=-12cm ; j4 = 13cm donne 0+1+2+3=6).
floodmay	mai somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil +10cm (inondation) et les niveaux piézométriques journaliers supérieurs à 10cm (ex j1=9cm ; j2=-11cm ; j3=-12cm ; j4 = 13cm donne 0+1+2+3=6).
floodnov	nov année-1 somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil +10cm (inondation) et les niveaux piézométriques journaliers supérieurs à 10cm (ex j1=9cm ; j2=-11cm ; j3=-12cm ; j4 = 13cm donne 0+1+2+3=6).
floodoct	oct année-1 somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil +10cm (inondation) et les niveaux piézométriques journaliers supérieurs à 10cm (ex j1=9cm ; j2=-11cm ; j3=-12cm ; j4 = 13cm donne 0+1+2+3=6).
floodsep	sept année-1 somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil +10cm (inondation) et les niveaux piézométriques journaliers supérieurs à 10cm (ex j1=9cm ; j2=-11cm ; j3=-12cm ; j4 = 13cm donne 0+1+2+3=6).
fsai	indice d'aggregation, = 100 quand un seul patch
fscont	Indice de configuration et d'hétérogénéité dans le paysage, largement utilisé en écologie du paysage (Turner 1989; Li and Reynolds 1994), il indique le placement relatif des taches de même type par rapport aux autres types de taches.
fsdiv	indice de fragmentation, 1=1 seul patch, plus on a de petits patchs de différentes nature, plus on s'approche de 0
fspr	nombre de modalité (max 5)
fssh	indice de diversité de shannon (+ sensible au patchs rare que simpson)
fssl	indice de diversité de simpson (- sensible au patchs rare que shannon)
fsteci	indice de contraste de lisières,
haie3D	score de linéaire de haies*score de largeur houppier*score de hauteur houppier

ho01 à ho12	hauteur d'eau dans les canaux moyenne par mois
horg	épaisseur de l'horizon organique
hvase	hauteur de vase moyenne mesurée
nh4	Moyenne de Ammonium
lcanal	Largeur du canal
nkj	Moyenne de Azote Kjeldhal, (Norg + NH4-N)
no2	Moyenne de Nitrites
no3	Moyenne de Nitrates
nv01 à nv12	Niveaux d'eau moyens/mois - l'atitude moyenne de la zone
orthop	Moyenne de Orthophosphates
ph	Moyenne de ph
pl4m	pluviométrie 4 mois avant les suivis
pl9m	pluviométrie 9 mois avant les suivis
prsec100	Longueur des canaux primaires et secondaires calculés sur des zones tampons de rayons 100, 250 et 500 m. Variables répliquées.
prsec250	Longueur des canaux primaires et secondaires calculés sur des zones tampons de rayons 100, 250 et 500 m. Variables répliquées.
prsec500	Longueur des canaux primaires et secondaires calculés sur des zones tampons de rayons 100, 250 et 500 m. Variables répliquées.
regcu	% habitat agricole source RPG 2016 culture
regpra	% habitat agricole source RPG 2016 prairie
sato2	Moyenne de Saturation
scan	linéaire de canaux / ha
sevapr	avril somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil -42cm et les niveaux piézométriques journaliers inférieurs à -42cm (ex j1=-38cm ; j2=-40cm ; j3=-43cm ; j4 = -46cm donne 0+0+1+4=5).
sevaug	août année-1 somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil -42cm et les niveaux piézométriques journaliers inférieurs à -42cm (ex j1=-38cm ; j2=-40cm ; j3=-43cm ; j4 = -46cm donne 0+0+1+4=5).
sevdec	décembre année-1 somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil -42cm et les niveaux piézométriques journaliers inférieurs à -42cm (ex j1=-38cm ; j2=-40cm ; j3=-43cm ; j4 = -46cm donne 0+0+1+4=5).
sevdry	de juillet à mai somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil -42cm et les niveaux piézométriques journaliers inférieurs à -42cm (ex j1=-38cm ; j2=-40cm ; j3=-43cm ; j4 = -46cm donne 0+0+1+4=5).
sevfeb	février somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil -42cm et les niveaux piézométriques journaliers inférieurs à -42cm (ex j1=-38cm ; j2=-40cm ; j3=-43cm ; j4 = -46cm donne 0+0+1+4=5).
sevflood	de septembre à mai somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil +10cm (inondation) et les niveaux piézométriques journaliers supérieurs à 10cm (ex j1=9cm ; j2=-11cm ; j3=-12cm ; j4 = 13cm donne 0+1+2+3=6).
sevjan	janvier somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil -42cm et les niveaux piézométriques journaliers inférieurs à -42cm (ex j1=-38cm ; j2=-40cm ; j3=-43cm ; j4 = -46cm donne 0+0+1+4=5).
sevjul	juillet année-1 somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil -42cm et les niveaux piézométriques journaliers inférieurs à -42cm (ex j1=-38cm ; j2=-40cm ; j3=-43cm ; j4 = -46cm donne 0+0+1+4=5).
sevjun	juin somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil -42cm et les niveaux piézométriques journaliers inférieurs à -42cm (ex j1=-38cm ; j2=-40cm ; j3=-43cm ; j4 = -46cm donne 0+0+1+4=5).
sevmar	mars somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil -42cm et les niveaux piézométriques journaliers inférieurs à -42cm (ex j1=-38cm ; j2=-40cm ; j3=-43cm ; j4 = -46cm donne 0+0+1+4=5).
sevmay	mai somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil -42cm et les niveaux piézométriques journaliers inférieurs à -42cm (ex j1=-38cm ; j2=-40cm ; j3=-43cm ; j4 = -46cm donne 0+0+1+4=5).

sevnov	novembre année-1 somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil -42cm et les niveaux piézométriques journaliers inférieurs à -42cm (ex j1=-38cm ; j2=-40cm ; j3=-43cm ; j4 = -46cm donne 0+0+1+4=5).
sevp	de novembre a mai somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil -42cm et les niveaux piézométriques journaliers inférieurs à -42cm (ex j1=-38cm ; j2=-40cm ; j3=-43cm ; j4 = -46cm donne 0+0+1+4=5).
sevotc	octobre année-1 somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil -42cm et les niveaux piézométriques journaliers inférieurs à -42cm (ex j1=-38cm ; j2=-40cm ; j3=-43cm ; j4 = -46cm donne 0+0+1+4=5).
sevsep	septembre année-1 somme pour chaque groupement des distances éventuelles entre le seuil -42cm et les niveaux piézométriques journaliers inférieurs à -42cm (ex j1=-38cm ; j2=-40cm ; j3=-43cm ; j4 = -46cm donne 0+0+1+4=5).
sprsec	linéaire de canaux primaires et secondaires / ha
ster	linéaire de canaux tertiaires / ha
ter100	Linéaire de canaux tertiaire calculé sur des zones tampons de rayons 100, 250 et 500 m. Variables répliquées.
ter250	Linéaire de canaux tertiaire calculé sur des zones tampons de rayons 100, 250 et 500 m. Variables répliquées.
ter500	Linéaire de canaux tertiaire calculé sur des zones tampons de rayons 100, 250 et 500 m. Variables répliquées.
txvas	Taux d'envasement moyen du canal sur 4 années : moy des (hvase/(heau+hvase))
zcan	linéaire de canaux / ha
zprsec	linéaire de canaux primaires et secondaires / ha
zter	linéaire de canaux tertiaires / ha

### Annexe III : articles retenus par la première recherche bibliographique (caractériser l'environnement en zone de marais)

- Abrial, Elie; Rabuffetti, Ana P.; Espinola, Luis A.; Amsler, Mario L.; Blettler, Martin C.M.; Paira, Aldo R.« Influence of hydrological changes on the fish community in two lotic environments of the Middle Parana Floodplain, Argentina ». *Aquatic Ecology*: 337-337-349. 2014.
- Alisa M. Watson; S.J. Ormerod« The microdistribution of three uncommon freshwater gastropods in the drainage ditches of British grazing marshes. ». *Aquatic Conservation*: 221-221-236. 2004.
- Åmihorski, M.; PArt, Tomas; Gustafson, Tomas; Berg, ake« Effects of water level and grassland management on alpha and beta diversity of birds in restored wetlands. ». *Journal of Applied Ecology* : 587-587-595. 2016.
- Besnard, A.G.; Davranche, A.; Maugenest, S.; Bouzille, J.B.; Vian, A.; Secondi, J.« Vegetation maps based on remote sensing are informative predictors of habitat selection of grassland birds across a wetness gradient ». *Ecological Indicators*: 47-47-54. 2015.
- Blettler, Martín C.M.; Amsler, Mario L.; de Drago, Inés Ezcurra; Bullo, Juan M.; Paira, Aldo R.; Drago, Edmundo E.; Espinola, Luis A.; Fontana, Livia O.; Eberle, Eliana; Rodrigues-Capitulo, Alberto« Long-term morphologic and hydrologic effects on benthic invertebrates in a minor channel of the Paraná River floodplain (Argentina) ». *Ecological Engineering*: 134-134-143. 2014.
- Bucher, Roman; Andres, Christian; Wedel, Martin F.; Entling, Martin H.; Nickel, Herbert« Biodiversity in low-intensity pastures, straw meadows, and fallows of a fen area-A multitrophic comparison ». *Agriculture, Ecosystems and Environment*: 190-190-196. 2016.
- Eglington, Sarah M.; Bolton, Mark; Smart, Mark A.; Sutherland, William J.; Watkinson, Andrew R.; Gill, Jennifer A. Managing water levels on wet grasslands to improve foraging conditions for breeding northern lapwing *Vanellus vanellus*. *Journal of Applied Ecology*: 451-451-458. 2010.
- H. Olde Venterink, M. J. Wassen, J. D. M. Belgers, J. T. A. Verhoeven, « Control of Environmental Variables on Species Density in Fens and Meadows: Importance of Direct Effects and Effects through Community Biomass. *Journal of Ecology*: 1033-1033-1040. 2001.
- Hardtle, Werner; Redecker, Bernd; Assmann, Thorsten; Meyer, Hartmut« Vegetation responses to environmental conditions in floodplain grasslands: Prerequisites for preserving plant species diversity ». *Basic & Applied Ecology* : 280-280-288. 2006.
- Hentges, Valerie A.; Stewart, Timothy W.« Macroinvertebrate Assemblages in Iowa Prairie Pothole Wetlands and Relation to Environmental Features. ». *Wetlands* : 501-501-511. 2010.
- Johnson, Rex R.; Higgins, Kenneth F.; Naugle, David E.; Estey, Michael E.« A landscape approach to conserving wetland bird habitat in the prairie pothole region of eastern South Dakota ». *Wetlands* : 588-588-588. 2000.
- King, Ryan S.; Richardson, Curtis J.; Urban, Dean L.; Romanowicz, Edwin A.« Spatial Dependency of Vegetation-Environment Linkages in an Anthropogenically Influenced Wetland Ecosystem. ». *Ecosystems* : 75-75-97. 2004.
- Lafage, Denis; Pétilion, Julien« Relative importance of management and natural flooding on spider, carabid and plant assemblages in extensively used grasslands along the Loire ». *Basic and Applied Ecology* : 535-535-545. 2016.
- Lou, Yanjing; Wang, Guoping; Lu, Xianguo; Jiang, Ming; Zhao, Kuiyi« Zonation of plant cover and environmental factors in wetlands of the Sanjiang Plain, northeast China. ». *Nordic Journal of Botany* : 748-748-756. 2013.
- Louca, Vasilis; Lindsay, Steve W.; Majambere, Silas; Lucas, Martyn C.« Fish community characteristics of the lower Gambia River floodplains: a study in the last major undisturbed West African river. ». *Freshwater Biology* : 254-254-271. 2009.
- Melo, S. M.; Ragonha, F. H.; Pinha, G. D.; Takeda, A. M.« Effects of food availability and habitat features on the Ephemeroptera species composition at seasonal and spatial scales from neotropical floodplain rivers. ». *Brazilian Journal of Biology* : 160-160-168. 2018.
- Naugle, David E.; Higgins, Kenneth F.; Nusser, Sarah M.; Johnson, W. Carter« Scale-dependent habitat use in three species of prairie wetland birds. ». *Landscape Ecology* : 267-267-276. 1999.

- Niemuth, Neal D.; Estey, Michael E.; Reynolds, Ronald E.; Loesch, Charles R.; Meeks, William A.« USE OF WETLANDS BY SPRING-MIGRANT SHOREBIRDS IN AGRICULTURAL LANDSCAPES OF NORTH DAKOTA'S DRIFT PRAIRIE. ». *Wetlands* : 30-30-39. 2006.
- Opdekamp, W.; Beauchard, O.; Backx, H.; Franken, F.; Cox, T.J.S.; van Diggelen, R.; Meire, P.« Effects of mowing cessation and hydrology on plant trait distribution in natural fen meadows ». *Acta Oecologica* : 117-117-127. 2012.
- Painter, Duncan« Effects of ditch management patterns on Odonata at Wicken Fen, Cambridgeshire, UK ». *Biological Conservation* : 189-189-195. 1998.
- Pander, Joachim; Mueller, Melanie; Sacher, Marita; Geist, Juergen« The role of life history traits and habitat characteristics in the colonisation of a secondary floodplain by neobiota and indigenous macroinvertebrate species. ». *Hydrobiologia* : 229-229-245. 2016.
- Prajs, Borena; Antkowiak, Wojciech« Grassland Ecosystems in the Varied Hydrological and Ecological Conditions of the Kulawa River Valley. ». *Polish Journal of Environmental Studies* : 131-131-139. 2010.
- Rehage, Jennifer S.; Trexler, Joel C.« Assessing the net effect of anthropogenic disturbance on aquatic communities in wetlands: community structure relative to distance from canals ». *Hydrobiologia* : . 2006.
- Sluis, William; Tandarich, John« Siltation and hydrologic regime determine species composition in herbaceous floodplain communities. ». *Plant Ecology* : 115-115-124. 2004.
- Tangen, Brian A.; Butler, Malcolm G.; Ell, Michael J.« WEAK CORRESPONDENCE BETWEEN MACROINVERTEBRATE ASSEMBLAGES AND LAND USE IN PRAIRIE POTHOLE REGION WETLANDS, USA. ». *Wetlands* : 104-104-115. 2003.
- van der Hoek, D.; Sykora, K. V.« Fen-meadow succession in relation to spatial and temporal differences in hydrological and soil conditions. ». *Applied Vegetation Science* : 185-185-194. 2006.
- Whatley, Merrin H.; van Loon, E. Emiel; Vonk, J. Arie; van der Geest, Harm G.; Admiraal, Wim« The role of emergent vegetation in structuring aquatic insect communities in peatland drainage ditches ». *Aquatic Ecology* : 267-267-283. 2014.

#### Annexe IV : articles retenus par la seconde recherche bibliographique (caractériser le régime hydrique en zone de marais)

- Abrial, Elie, Ana P. Rabuffetti, Luis A. Espínola, Mario L. Amsler, Martín C. M. Blettler, et Aldo R. Paira. « Influence of Hydrological Changes on the Fish Community in Two Lotic Environments of the Middle Paraná Floodplain, Argentina ». *Aquatic Ecology* 48, n° 3 (septembre 2014): 337-49. <https://doi.org/10.1007/s10452-014-9488-x>.
- Alves, Diego Corrêa, Carolina Viviana Minte-Vera, Angelo Antonio Agostinho, Edson Kiyoshi Okada, et Lilian Paula Vasconcelos. « Hydrological Attributes and Rheophilic Freshwater Fish: Stock Assessment ». *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 23, n° 3 (septembre 2013): 375-94. <https://doi.org/10.1007/s11160-012-9298-y>.
- Amezcu, Felipe, Jana Rajnohova, Francisco Flores-de-Santiago, Francisco Flores-Verdugo, et Felipe Amezcu-Linares. « The Effect of Hydrological Connectivity on Fish Assemblages in a Floodplain System From the South-East Gulf of California, Mexico ». *Frontiers in Marine Science* 6 (10 mai 2019). <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00240>.
- Balcombe, Stephen R., et Angela H. Arthington. « Temporal Changes in Fish Abundance in Response to Hydrological Variability in a Dryland Floodplain River ». *Marine and Freshwater Research* 60, n° 2 (2009): 146. <https://doi.org/10.1071/MF08118>.
- Barrett, Rose, Daryl L. Nielsen, et Roger Croome. « Associations between the Plant Communities of Floodplain Wetlands, Water Regime and Wetland Type ». *River Research and Applications* 26, n° 7 (septembre 2010): 866-76. <https://doi.org/10.1002/rra.1299>.
- Béchet, Arnaud, Christophe Germain, Alain Sandoz, Graham J. M. Hirons, Rhys E. Green, John G. Walmsley, et Alan R. Johnson. « Assessment of the Impacts of Hydrological Fluctuations and Salt Pans Abandonment on Greater Flamingos in the Camargue, South of France ». *Biodiversity and Conservation* 18, n° 6 (juin 2009): 1575-88. <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9544-8>.
- Beesley, Leah S., Daniel C. Gwinn, Amina Price, Alison J. King, Ben Gawne, John D. Koehn, et Daryl L. Nielsen. « Juvenile Fish Response to Wetland Inundation: How Antecedent Conditions Can Inform Environmental Flow Policies for Native Fish ». Édité par Erika Crispo. *Journal of Applied Ecology* 51, n° 6 (décembre 2014): 1613-21. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12342>.
- Bellio, M., et R.T. Kingsford. « Alteration of Wetland Hydrology in Coastal Lagoons: Implications for Shorebird Conservation and Wetland Restoration at a Ramsar Site in Sri Lanka ». *Biological Conservation* 167 (novembre 2013): 57-68. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.07.013>.
- Bogdanov, V D, et L I Agafonov. « Influence of Hydrologic Conditions of the Lower Ob Floodplain on Reproduction in Coregonids » 32, n° 1 (2001): 7.
- Booth, Eric G., et Steven P. Loheide. « Comparing Surface Effective Saturation and Depth-to-Water-Level as Predictors of Plant Composition in a Restored Riparian Wetland: COMPARING HYDROLOGICAL PREDICTORS OF WETLAND PLANT COMPOSITION ». *Ecology* 5, n° 5 (septembre 2012): 637-47. <https://doi.org/10.1002/eco.250>.
- Brand, L. Arriana, Juliet C. Stromberg, et Barry R. Noon. « Avian Density and Nest Survival on the San Pedro River: Importance of Vegetation Type and Hydrologic Regime ». *Journal of Wildlife Management* 74, n° 4 (mai 2010): 739-54. <https://doi.org/10.2193/2008-217>.
- Brose, Ulrich, et Katja Tielbörger. « Subtle Differences in Environmental Stress along a Flooding Gradient Affect the Importance of Inter-Specific Competition in an Annual Plant Community ». *Plant Ecology* 178, n° 1 (mai 2005): 51-59. <https://doi.org/10.1007/s11258-004-2487-6>.
- Caruso, Brian S., Callum Pithie, et Laura Edmondson. « Invasive Riparian Vegetation Response to Flow Regimes and Flood Pulses in a Braided River Floodplain ». *Journal of Environmental Management* 125 (août 2013): 156-68. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.03.054>.
- Casanova, Michelle T., et I. Joan Powling. « What Makes a Swamp Swampy? Water Regime and the Botany of Endangered Wetlands in Western Victoria ». *Australian Journal of Botany* 62, n° 6 (2014): 469. <https://doi.org/10.1071/BT14119>.
- Cole, Esther M., Rosemary Hartman, et Malcolm P. North. « Hydroperiod and Cattle Use Associated

- with Lower Recruitment in an R-Selected Amphibian with a Declining Population Trend in the Klamath Mountains, California ». *Journal of Herpetology* 50, n° 1 (mars 2016): 37-43. <https://doi.org/10.1670/14-014>.
- Costa, M. P. F., O. Niemann, E. Novo, et F. Ahern. « Biophysical Properties and Mapping of Aquatic Vegetation during the Hydrological Cycle of the Amazon Floodplain Using JERS-1 and Radarsat ». *International Journal of Remote Sensing* 23, n° 7 (janvier 2002): 1401-26. <https://doi.org/10.1080/01431160110092957>.
- Cumming, Graeme S., Mark Paxton, Jackie King, et Hans Beuster. « Foraging Guild Membership Explains Variation in Waterbird Responses to the Hydrological Regime of an Arid-Region Flood-Pulse River in Namibia: Community Dynamics of Waterbirds in Namibia ». *Freshwater Biology* 57, n° 6 (juin 2012): 1202-13. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2012.02789.x>.
- Davidson, Thomas A., Anson W. Mackay, Piotr Wolski, Richard Mazebedi, Mike Murray-Hudson, et Martin Todd. « Seasonal and Spatial Hydrological Variability Drives Aquatic Biodiversity in a Flood-Pulsed, Sub-Tropical Wetland: Aquatic Biodiversity in Tropical Flood-Pulsed Wetlands ». *Freshwater Biology* 57, n° 6 (juin 2012): 1253-65. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2012.02795.x>.
- Dawson, Samantha K., Richard T. Kingsford, Peter Berney, David A. Keith, Frank A. Hemmings, David I. Warton, Cathy Waters, et Jane A. Catford. « Frequent Inundation Helps Counteract Land Use Impacts on Wetland Propagule Banks ». Édité par Norbert Hölzel. *Applied Vegetation Science* 20, n° 3 (juillet 2017): 459-67. <https://doi.org/10.1111/avsc.12295>.
- De Jager, Nathan R., Jason J. Rohweder, Yao Yin, et Erin Hoy. « The Upper Mississippi River Floodscape: Spatial Patterns of Flood Inundation and Associated Plant Community Distributions ». Édité par Sarah Goslee. *Applied Vegetation Science* 19, n° 1 (janvier 2016): 164-72. <https://doi.org/10.1111/avsc.12189>.
- Deane, David C., Jason M. Nicol, Susan L. Gehrig, Claire Harding, Kane T. Aldridge, Abigail M. Goodman, et Justin D. Brookes. « Hydrological-Niche Models Predict Water Plant Functional Group Distributions in Diverse Wetland Types ». *Ecological Applications* 27, n° 4 (juin 2017): 1351-64. <https://doi.org/10.1002/eap.1529>.
- Dorn, Nathan J., et Mark I. Cook. « Hydrological Disturbance Diminishes Predator Control in Wetlands ». *Ecology* 96, n° 11 (novembre 2015): 2984-93. <https://doi.org/10.1890/14-1505.1>.
- Dos Santos, Anderson Medeiros, et Sidinei Magela Thomaz. « Aquatic Macrophytes Diversity in Lagoons of a Tropical Floodplain: The Role of Connectivity and Water Level ». *Austral Ecology* 32, n° 2 (avril 2007): 177-90. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2007.01665.x>.
- ДѢЖИWA, ВѢWКѢЮ J, et WѢЉA M KIWESHĤG. « EFFECTS OF NATAL DEPARTURE AND WATER LEVEL ON SURVIVAL OF JUVENILE SNAIL KITES (ROSTRHAMUS SOCIABILIS) IN FLORIDA », s. d., 11.
- Feyrer, F., T. Sommer, et W. Harrell. « Managing Floodplain Inundation for Native Fish: Production Dynamics of Age-0 Splittail (*Pogonichthys Macrolepidotus*) in California's Yolo Bypass ». *Hydrobiologia* 573, n° 1 (décembre 2006): 213-26. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0273-2>.
- Follner, Klaus, et Klaus Henle. « The Performance of Plants, Molluscs, and Carabid Beetles as Indicators of Hydrological Conditions in Floodplain Grasslands ». *International Review of Hydrobiology* 91, n° 4 (août 2006): 364-79. <https://doi.org/10.1002/iroh.200510890>.
- Foti, Romano, Manuel del Jesus, Andrea Rinaldo, Fernando R. Miralles-Wilhelm, et Ignacio Rodriguez-Iturbe. « Demodulation of Time Series Highlights Impacts of Hydrologic Drivers on the Everglades Ecosystem: IMPACTS OF HYDROLOGIC DRIVERS ON THE EVERGLADES ECOSYSTEM ». *Ecohydrology* 8, n° 2 (mars 2015): 204-13. <https://doi.org/10.1002/eco.1500>.
- Gann, Daniel, et Jennifer Richards. « Quantitative Comparison of Plant Community Hydrology Using Large-Extent, Long-Term Data ». *Wetlands* 35, n° 1 (février 2015): 81-93. <https://doi.org/10.1007/s13157-014-0594-2>.
- Gascón, S., D. Boix, J. Sala, et X. D. Quintana. « Variability of Benthic Assemblages in Relation to the Hydrological Pattern in Mediterranean Salt Marshes (Empordà Wetlands, NE Iberian Peninsula) ». *Archiv Für Hydrobiologie* 163, n° 2 (1 juin 2005): 163-81. <https://doi.org/10.1127/0003-9136/2005/0163-0163>.

- Gatto, John V., et Joel C. Trexler. « Seasonality of Fish Recruitment in a Pulsed Floodplain Ecosystem: Estimation and Hydrological Controls ». *Environmental Biology of Fishes* 102, n° 4 (avril 2019): 595-613. <https://doi.org/10.1007/s10641-019-00856-9>.
- Gerisch, Michael, Arno Schanowski, Wolfgang Figura, Bernd Gerken, Frank Dziock, et Klaus Henle. « Carabid Beetles (Coleoptera, Carabidae) as Indicators of Hydrological Site Conditions in Floodplain Grasslands ». *International Review of Hydrobiology* 91, n° 4 (août 2006): 326-40. <https://doi.org/10.1002/iroh.200610888>.
- Gutiérrez C, Ángela, Jean Carlo Gonçalves Ortega, et Angelo Antonio Agostinho. « Fish Beta Diversity Responses to Environmental Heterogeneity and Flood Pulses Are Different According to Reproductive Guild ». *Neotropical Ichthyology* 16, n° 4 (6 décembre 2018). <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20180022>.
- Halls, Ashley S., et Robin L. Welcomme. « Dynamics of River Fish Populations in Response to Hydrological Conditions: A Simulation Study ». *River Research and Applications* 20, n° 8 (15 décembre 2004): 985-1000. <https://doi.org/10.1002/rra.804>.
- He, Chunguang, Tadaharu Ishikawa, Lianxi Sheng, et Mitsuteru Irie. « Study on the Hydrological Conditions for the Conservation of the Nesting Habitat of the Red-Crowned Crane in Xianghai Wetlands, China ». *Hydrological Processes* 23, n° 4 (15 février 2009): 612-22. <https://doi.org/10.1002/hyp.7189>.
- Holm, Thomas Eske, et Preben Clausen. « Effects of Water Level Management on Autumn Staging Waterbird and Macrophyte Diversity in Three Danish Coastal Lagoons ». *Biodiversity and Conservation* 15, n° 14 (décembre 2006): 4399-4423. <https://doi.org/10.1007/s10531-005-4384-2>.
- Hölzel, Norbert, et Annette Otte. « The Impact of Flooding Regime on the Soil Seed Bank of Floodmeadows ». *Journal of Vegetation Science* 12, n° 2 (avril 2001): 209-18. <https://doi.org/10.2307/3236605>.
- Hudak, Paul F. « Inundation Patterns and Plant Growth in Constructed Wetland Characterized by Dynamic Water Budget Model ». *Environmental Earth Sciences* 72, n° 6 (septembre 2014): 1821-26. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3091-2>.
- Ilg, C., F. Foeckler, O. Deichner, et K. Henle. « HYDROLOGICAL GRADIENT AND SPECIES TRAITS EXPLAIN GASTROPOD DIVERSITY IN FLOODPLAIN GRASSLANDS: FLOODPLAIN GRASSLAND GASTROPODS AND HYDROLOGY ». *River Research and Applications* 28, n° 10 (décembre 2012): 1620-29. <https://doi.org/10.1002/rra.1552>.
- Jiang, Haibo, Chunguang He, Wenbo Luo, Haijun Yang, Lianxi Sheng, Hongfeng Bian, et Changlin Zou. « Hydrological Restoration and Water Resource Management of Siberian Crane (*Grus leucogeranus*) Stopover Wetlands ». *Water* 10, n° 12 (23 novembre 2018): 1714. <https://doi.org/10.3390/w10121714>.
- Jobin, Benoît, Luc Robillard, et Claudie Latendresse. « Response of a Least Bittern (*Ixobrychus exilis*) Population to Interannual Water Level Fluctuations ». *Waterbirds* 32, n° 1 (mars 2009): 73-80. <https://doi.org/10.1675/063.032.0108>.
- Johansen, Ole Munch, Dagmar Kappel Andersen, Rasmus Ejrnæs, et Morten Lauge Pedersen. « Relations between Vegetation and Water Level in Groundwater Dependent Terrestrial Ecosystems (GWDTEs) ». *Limnologica* 68 (janvier 2018): 130-41. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2017.01.010>.
- Kaminski, Matthew R., Guy A. Baldassarre, et Aaron T. Pearse. « Waterbird Responses to Hydrological Management of Wetlands Reserve Program Habitats in New York ». *Wildlife Society Bulletin* 34, n° 4 (novembre 2006): 921-26.
- Kercher, S.M. & Carpenter, Q.J. & Zedler, J.B.. (2004). Interrelationships of hydrologic disturbance, reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.), and native plants in Wisconsin wet meadows. *Natural Areas Journal*. 24. 316-325.
- Kleynhans, Mt, Cs James, et Al Birkhead. « Hydrologic and Hydraulic Modelling of the Nyl River Floodplain Part 3: Applications to Assess Ecological Impact ». *Water SA* 33, n° 1 (8 décembre 2009). <https://doi.org/10.4314/wsa.v33i1.47867>.
- Kołos, Aleksander, et Piotr Banaszuk. « Mowing May Bring about Vegetation Change, but Its Effect Is Strongly Modified by Hydrological Factors ». *Wetlands Ecology and Management* 26, n° 5

- (octobre 2018): 879-92. <https://doi.org/10.1007/s11273-018-9615-x>.
- Leyer, Ilona. « Predicting Plant Species' Responses to River Regulation: The Role of Water Level Fluctuations: Predicting Plant Responses to River Regulation ». *Journal of Applied Ecology* 42, n° 2 (14 mars 2005): 239-50. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01009.x>.
- Lowe, Katrin, J. Guy Castley, et Jean-Marc Hero. « Resilience to Climate Change: Complex Relationships among Wetland Hydroperiod, Larval Amphibians and Aquatic Predators in Temporary Wetlands ». *Marine and Freshwater Research* 66, n° 10 (2015): 886. <https://doi.org/10.1071/MF14128>.
- Maciorowski, Grzegorz, Paweł Mirski, Ignacy Kardel, Mateusz Stelmaszczyk, Dorota Mirosław-Swiańtek, Jarosław Chorman'ski, et Tomasz Okruszko. « Water Regime as a Key Factor Differentiating Habitats of Spotted Eagles *Aquila Clanga* and *Aquila Pomarina* in Biebrza Valley (NE Poland) ». *Bird Study* 62, n° 1 (2 janvier 2015): 120-25. <https://doi.org/10.1080/00063657.2014.972337>.
- Maher, Caitriona, Micheline Sheehy Skeffington, et Michael Gormally. « Hydroperiod and Traditional Farming Practices Drive Plant Community Composition on Unregulated Atlantic Floodplain Meadows ». *Wetlands* 35, n° 2 (avril 2015): 263-79. <https://doi.org/10.1007/s13157-014-0616-0>.
- McKenna, James E., Joyce L. Barkley, et James H. Johnson. « Influence of Summer Water-Level Variability on St. Lawrence River-Wetland Fish Assemblages ». *Journal of Freshwater Ecology* 23, n° 4 (décembre 2008): 513-17. <https://doi.org/10.1080/02705060.2008.9664238>.
- Moran, J., M. Sheehy Skeffington, et M. Gormally. « The Influence of Hydrological Regime and Grazing Management on the Plant Communities of a Karst Wetland (Skealaghan Turlough) in Ireland ». *Applied Vegetation Science* 11, n° 1 (février 2008): 13-24. <https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2008.tb00200.x>.
- Murray-Hudson, M., P. Wolski, L. Cassidy, M. T. Brown, K. Thito, K. Kashe, et E. Mosimanyana. « Remote Sensing-Derived Hydroperiod as a Predictor of Floodplain Vegetation Composition ». *Wetlands Ecology and Management* 23, n° 4 (août 2015): 603-16. <https://doi.org/10.1007/s11273-014-9340-z>.
- Murray-Hudson, Michael, Piotr Wolski, Frances Murray-Hudson, Mark T. Brown, et Keotshephile Kashe. « Disaggregating Hydroperiod: Components of the Seasonal Flood Pulse as Drivers of Plant Species Distribution in Floodplains of a Tropical Wetland ». *Wetlands* 34, n° 5 (octobre 2014): 927-42. <https://doi.org/10.1007/s13157-014-0554-x>.
- Pearlstone, Leonard, Alicia Lo Galbo, Gregg Reynolds, Janice Holly Parsons, Tylan Dean, Mario Alvarado, et Kevin Suir. « Recurrence Intervals of Spatially Simulated Hydrologic Metrics for Restoration of Cape Sable Seaside Sparrow (*Ammodramus Maritimus Mirabilis*) Habitat ». *Ecological Indicators* 60 (janvier 2016): 1252-62. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.09.018>.
- Ramalho, Werther Pereira, Iberê Farina Machado, et Lisandro Juno Soares Vieira. « Do Flood Pulses Structure Amphibian Communities in Floodplain Environments? » *Biotropica* 50, n° 2 (mars 2018): 338-45. <https://doi.org/10.1111/btp.12523>.
- Rehage, J. S., S. E. Liston, K. J. Dunker, et W. F. Loftus. « Fish Community Responses to the Combined Effects of Decreased Hydroperiod and Nonnative Fish Invasions in a Karst Wetland: Are Everglades Solution Holes Sinks for Native Fishes? » *Wetlands* 34, n° S1 (juin 2014): 159-73. <https://doi.org/10.1007/s13157-012-0361-1>.
- Reid, Michael A., et Gerry P. Quinn. « Hydrologic Regime and Macrophyte Assemblages in Temporary Floodplain Wetlands: Implications for Detecting Responses to Environmental Water Allocations ». *Wetlands* 24, n° 3 (septembre 2004): 586-99. [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2004\)024\[0586:HRAMAI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2004)024[0586:HRAMAI]2.0.CO;2).
- Ruetz, Carl R., Joel C. Trexler, Frank Jordan, William F. Loftus, et Sue A. Perry. « Population Dynamics of Wetland Fishes: Spatio-Temporal Patterns Synchronized by Hydrological Disturbance? » *Journal of Animal Ecology* 74, n° 2 (mars 2005): 322-32. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2005.00926.x>.
- Sah, Jay P, Michael S Ross, et Pablo L Ruiz. « Submitted to Dr. Al F. Cofrancesco U. S. Army Engineer Research and Development Center (U.S. Army – ERDC) 3909 Halls Ferry Road, Vicksburg,

- MS 39081-6199 Email: Al.F.Cofrancesco@usace.Army.Mil », s. d., 60.
- Sarneel, Judith M., Roel H. Janssen, Winnie J. Rip, Irene M. A. Bender, et Elisabeth S. Bakker. « Windows of Opportunity for Germination of Riparian Species after Restoring Water Level Fluctuations: A Field Experiment with Controlled Seed Banks ». Édité par Danny Hooftman. *Journal of Applied Ecology* 51, n° 4 (août 2014): 1006-14. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12288>.
- Scharbert, Andreas, et Jost Borchering. « Relationships of Hydrology and Life-History Strategies on the Spatio-Temporal Habitat Utilisation of Fish in European Temperate River Floodplains ». *Ecological Indicators* 29 (juin 2013): 348-60. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.01.009>.
- Schipper, Aafke M., Kim Lotterman, Marten Geertsma, Rob S. E. W. Leuven, et A. Jan Hendriks. « Using Datasets of Different Taxonomic Detail to Assess the Influence of Floodplain Characteristics on Terrestrial Arthropod Assemblages ». *Biodiversity and Conservation* 19, n° 7 (juin 2010): 2087-2110. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9828-7>.
- Smith, Marian, Hal Caswell, et Paige Mettler-Cherry. « STOCHASTIC FLOOD AND PRECIPITATION REGIMES AND THE POPULATION DYNAMICS OF A THREATENED FLOODPLAIN PLANT ». *Ecological Applications* 15, n° 3 (juin 2005): 1036-52. <https://doi.org/10.1890/04-0434>.
- « Snodgrass et al. - 2000 - Relationships among Isolated Wetland Size, Hydrope.pdf », s. d.
- Snodgrass, Joel W., A. Lawrence Bryan, et Joanna Burger. « DEVELOPMENT OF EXPECTATIONS OF LARVAL AMPHIBIAN ASSEMBLAGE STRUCTURE IN SOUTHEASTERN DEPRESSION WETLANDS ». *Ecological Applications* 10, n° 4 (août 2000): 1219-29. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[1219:DOEOLA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[1219:DOEOLA]2.0.CO;2).
- Snodgrass, Joel W., Mark J. Komoroski, A. Lawrence Bryan, et Joanna Burger. « Relationships among Isolated Wetland Size, Hydroperiod, and Amphibian Species Richness: Implications for Wetland Regulations ». *Conservation Biology* 14, n° 2 (avril 2000): 414-19. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.99161.x>.
- Sokol, Eric R., J. Matthew Hoch, Evelyn Gaiser, et Joel C. Trexler. « Metacommunity Structure Along Resource and Disturbance Gradients in Everglades Wetlands ». *Wetlands* 34, n° S1 (juin 2014): 135-46. <https://doi.org/10.1007/s13157-013-0413-1>.
- Stenert, Cristina, Roberta C. Bacca, Arthur C. Ávila, Leonardo Maltchik, et Odete Rocha. « Do Hydrologic Regimes Used in Rice Fields Compromise the Viability of Resting Stages of Aquatic Invertebrates? ». *Wetlands* 30, n° 5 (octobre 2010): 989-96. <https://doi.org/10.1007/s13157-010-0083-1>.
- Stenert, Cristina, Roberta C. Bacca, Leonardo Maltchik, et Odete Rocha. « Can Hydrologic Management Practices of Rice Fields Contribute to Macroinvertebrate Conservation in Southern Brazil Wetlands? ». *Hydrobiologia* 635, n° 1 (novembre 2009): 339-50. <https://doi.org/10.1007/s10750-009-9926-2>.
- Sterzyńska, Maria & Orlov, Oleg & Shrubovych, Julia. (2012). Effect of Hydrologic Disturbance Regimes on Protura Variability in a River Floodplain. *Annales Zoologici Fennici*. 49. 309-320. 10.5735/086.049.0504.
- Stroh, Peter A., J. Owen Mountford, Yoseph N. Araya, et Francine M. R. Hughes. « Quantifying Soil Hydrology to Explain the Development of Vegetation at an Ex-Arable Wetland Restoration Site ». *Wetlands* 33, n° 2 (avril 2013): 311-20. <https://doi.org/10.1007/s13157-013-0385-1>.
- « Temporal Variation in Local Wetland Hydrology Influences Postdispersal Survival of Juvenile Wood Storks ( *Mycteria Americana* ) ». *The Auk* 129, n° 3 (juillet 2012): 438-48. <https://doi.org/10.1525/auk.2012.11244>.
- Thompson, Yvonne, E. M. D'Angelo, A. D. Karathanasis, et Brian C. Sandefur. « Plant Community Composition as a Function of Geochemistry and Hydrology in Three Appalachian Wetlands ». *Ecohydrology* 5, n° 4 (juillet 2012): 389-400. <https://doi.org/10.1002/eco.228>.
- Trexler, Joel C., William F. Loftus, et Sue Perry. « Disturbance Frequency and Community Structure in a Twenty-Five Year Intervention Study ». *Oecologia* 145, n° 1 (août 2005): 140-52. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0094-4>.
- Valério, Luciana Mendes, Tainá F. Dorado-Rodrigues, Tatiane F. Chupel, Jerry Penha, et Christine Strüssmann. « Vegetation Structure and Hydroperiod Affect Anuran Composition in a Large

- Neotropical Wetland ». *Herpetologica* 72, n° 3 (septembre 2016): 181-88. <https://doi.org/10.1655/Herpetologica-D-14-00069.1>.
- Vilizzi, L., A. Price, L. Beesley, B. Gawne, A.J. King, J.D. Koehn, S.N. Meredith, et D.L. Nielsen. « Model Development of a Bayesian Belief Network for Managing Inundation Events for Wetland Fish ». *Environmental Modelling & Software* 41 (mars 2013): 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.11.004>.
- Violle, Cyrille, Christophe Cudennec, Manuel Plantegenest, Christian Damgaard, et Anne Bonis. « Indirect Assessment of Flooding Duration as a Driving Factor of Plant Diversity in Wet Grasslands », s. d., 8.
- Ward, D.P., A. Petty, S.A. Setterfield, M.M. Douglas, K. Ferdinands, S.K. Hamilton, et S. Phinn. « Floodplain Inundation and Vegetation Dynamics in the Alligator Rivers Region (Kakadu) of Northern Australia Assessed Using Optical and Radar Remote Sensing ». *Remote Sensing of Environment* 147 (mai 2014): 43-55. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.009>.
- Wassen, Martin J, Wilma H M Peeters, et Harry Olde Venterink. « Patterns in Vegetation, Hydrology, and Nutrient Availability in an Undisturbed River Floodplain in Poland », s. d., 18.
- Watt, S. C. L., E. García-Berthou, et L. Vilar. « The Influence of Water Level and Salinity on Plant Assemblages of a Seasonally Flooded Mediterranean Wetland ». *Plant Ecology* 189, n° 1 (8 février 2007): 71-85. <https://doi.org/10.1007/s11258-006-9167-7>.
- Wen, Li, Kerry Lee Rogers, Neil Saintilan, et Joanne Ling. « The Influences of Climate and Hydrology on Population Dynamics of Waterbirds in the Lower Murrumbidgee River Floodplains in Southeast Australia: Implications for Environmental Water Management ». *Ecological Modelling* 222, n° 1 (janvier 2011): 154-63. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.09.016>.
- Williams, Alissa J., et Joel C. Trexler. « A Preliminary Analysis of the Correlation of Food-Web Characteristics with Hydrology and Nutrient Gradients in the Southern Everglades ». *Hydrobiologia* 569, n° 1 (octobre 2006): 493-504. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0151-y>.
- Xu, Danghui, Honglin Li, Xiangwen Fang, Jinhua Li, Haiyan Bu, Wenpeng Zhang, Jingjing Wang, et Xiaolin Si. « Responses of Plant Community Composition and Eco-Physiological Characteristics of Dominant Species to Different Soil Hydrologic Regimes in Alpine Marsh Wetlands on Qinghai-Tibetan Plateau, China ». *Wetlands* 35, n° 2 (avril 2015): 381-90. <https://doi.org/10.1007/s13157-015-0627-5>.
- Zhang, Chang, Yujie Yuan, Guangming Zeng, Jie Liang, Shenglian Guo, Lu Huang, Shanshan Hua, et al. « Influence of Hydrological Regime and Climatic Factor on Waterbird Abundance in Dongting Lake Wetland, China: Implications for Biological Conservation ». *Ecological Engineering* 90 (mai 2016): 473-81. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.076>.
- Zhao, Lingli, Jie Yang, Pingxiang Li, et Liangpei Zhang. « Seasonal Inundation Monitoring and Vegetation Pattern Mapping of the Erguna Floodplain by Means of a RADARSAT-2 Fully Polarimetric Time Series ». *Remote Sensing of Environment* 152 (septembre 2014): 426-40. <https://doi.org/10.1016/j.rse>

## Annexe V : première requête bibliographique

Les recherches ont été réalisées avec le moteur de recherche bibcnrs (<https://bib.cnrs.fr/>) et la base de données Web Of Science.

- La première avec comme objectif de recenser les articles s'intéressant à la caractérisation de l'environnement d'une façon globale qui a été réalisée avec la commande suivante :

objectif		mots clés
Sélectionner les articles portant spécifiquement sur un environnement de marais	TI	(wetland* OR swamp* OR marsh* OR bog* OR fen* OR floodplain* OR alluvial)
Sélectionner les articles donnant des éléments sur la caractérisation ou l'identification de ces milieux	AND TI	(characteri* OR identif* OR determin* OR defin* OR factors OR features OR drivers OR enviro*)
Sélectionner les articles en lien avec les taxons pour lesquels on a des données	AND TI	(biodiversity* OR species OR macrophyte* OR bird* OR plant* OR fish* OR macroinvertebrate* OR odonate* OR vegeta*)
Éliminer les articles sur le stockage de carbone, les habitats forestiers et les communautés bactériennes	NOT TI	(carbon* OR bact* OR *forest* OR fisher* OR wood OR image* OR photo* OR experi*)
Exclure les articles n'étant pas menés sur le terrain	NOT SU	(carbon* OR bact* OR *forest* OR fisher* OR wood OR image* OR photo* OR experi*)
Exclure les articles n'étant pas menés sur le terrain	NOT AB	(carbon* OR bact* OR *forest* OR fisher* OR wood OR image* OR photo* OR experi*)
Sélectionner les articles où les habitats de canaux ou de prairie sont étudiés	AND AB	(meadow* OR grassland* OR pasture* OR prairie* OR rangeland* OR channel* OR canal* OR duct* OR ditch*)
	AND TI	(meadow* OR grassland* OR pasture* OR prairie* OR rangeland* OR channel* OR canal* OR duct* OR ditch*)
	AND SU	(meadow* OR grassland* OR pasture* OR prairie* OR rangeland* OR channel* OR canal* OR duct* OR ditch*)
<b>TOTAL &lt;=</b>		

## Annexe VI : seconde requête bibliographique

Les recherches ont été réalisées avec le moteur de recherche bibcnrs (<https://bib.cnrs.fr/>) et la base de données Web Of Science.

- La seconde destinée à faire un zoom sur les différentes familles de variables identifiées dans la première phase de recherche afin d'homogénéiser le niveau de détail dans les variables avec celui de la recherche déjà effectuée par Lise.

objectif		mots clés
Sélectionner un maximum d'articles portant sur un environnement de marais	TI ou AB ou SU	(wetland* OR swamp* OR marsh* OR bog* OR fen* OR floodplain* OR alluvial)
Sélectionner les articles en lien avec les taxons pour lesquels on a des données	TI ou AB ou SU	(biodiversity* OR species OR macrophyte* OR bird* OR plant* OR fish* OR macroinvertebrate* OR odonate* OR vegeta*)
Sélectionner les articles où les habitats de canaux ou de prairie sont étudiés	AND TI	(meadow* OR grassland* OR pasture* OR prairie* OR rangeland* OR channel* OR canal* OR duct* OR ditch*)
Éliminer les articles sur le stockage de carbone, les habitats forestiers et les	NOT TI	(carbon* OR bact* OR fisher* OR wood OR image* OR photo* OR experi*)

communautés bactériennes ou n'ayant pas été menés sur le terrain	NOT SU	(carbon* OR bact* OR fisher* OR wood OR image* OR photo* OR experi*)
	NOT AB	(carbon* OR bact* OR fisher* OR wood OR image* OR photo* OR experi*)
Sélectionner les articles en lien avec le climat	AND TI	(temperature* OR rain* OR pluvio* OR precipitation* OR humidity OR *wind* OR breeze* OR exposure* OR light OR radia* OR rays OR brightness OR luminosity OR "air composition" OR "air chemi*" OR "air quality" OR atmosphere)
	NOT AB ou TI ou SU	(laser OR photo* OR toxi* OR spect* OR health OR isotop* OR metal OR iron OR *expression)
Sélectionner les articles en lien avec le sol J'ai enlevé land car articles en relation avec les activités agricoles, pas les caractéristiques du sol -> activités anthropiques	AND TI	(soil* caracteri* OR soil* propriete* OR soil* chemi* OR soil* nutrient* OR soil* composition OR soil* structu* OR soil* content OR granulo* OR "grain size" OR ground* caracteri* OR ground* propriete* OR ground* chemi* OR ground* nutrient* OR ground* composition OR ground* structu* OR ground* content OR geolog* OR pedolog*)
Sélectionner les articles en lien avec les activités anthropiques Réjouer exploitation ? Sans les conditions NOT AB, on a 900 articles, pas forcément hors contexte, mais c'est trop et on ne peut pas accéder à tous Rem : chemi* est présent dans sol et hydrique	AND TI	TI : (anthrop* OR management* OR agricultu* OR "land use" OR crop* OR graz* OR cattle OR livestock OR pasture* OR breeding)
	NOT AB	AB : (image* OR disease* OR market* OR socio* OR medieval OR past OR metal* OR toxic* OR chemi* OR habitat OR nuclear OR wood* OR tree OR service* OR nitr* OR "crop* damage*" OR restoration)
Sélectionner les articles en lien avec les habitats, la connectivité et les interactions biotiques  Les articles relatifs à "grazing" et "management" ont été sélectionnés dans la partie activités anthropiques Les articles relatifs à "hydro*" et "water" dans la partie hydrique	AND TI	TI : (habitat OR "biotic* *interaction*" OR vegeta* structur* OR competition* OR predat* OR symbiosis OR mutualism OR connect* OR patch* OR mosaic* OR fragmentation OR corridor OR invasive*)
	NOT AB ou TI ou SU	AB : (image* OR fisher* OR laser OR nutri* OR nitr* OR chemi* OR toxi* OR isotop* OR metal* OR soci* OR management OR exploit* OR diet OR carbo* OR tree OR wood* OR hydro* OR water OR gas* OR agricultur* OR agronom* OR past)
Sélectionner les articles en lien avec la topographie	AND TI	(topo* OR alti*)
Sélectionner les articles en lien avec les variables hydriques	AND TI	("sum exceedance values" OR hydrolo* OR "hydrolog* model*" OR inundation OR "hydro* gradient" OR "hydraul* model*" OR "flood* pattern" OR "flood* duration" OR "flood* tim*" OR "flood* intensity" OR "dry* frequenc*" OR "dry* tim*" OR "dry* intensity" OR "wet-period" OR hydroperiod OR "dry* duration" OR "water level" OR "water regime*" OR "water fluctuation*" OR "flood*metric*" OR "flood* parameter*" OR "flood measur*" OR "flood* characteristic*" OR "dry* metric*" OR "dry* parameter*" OR "dry* measur*" OR "dry* characteristic*" OR "flow regime*" OR "flood pulse*" OR "flood* gradient")
	NOT TI ou AB ou SU	(stream* OR lake* OR pond* OR "greenhouse experiment" OR "glasshouse experiment" OR mesocosm*)