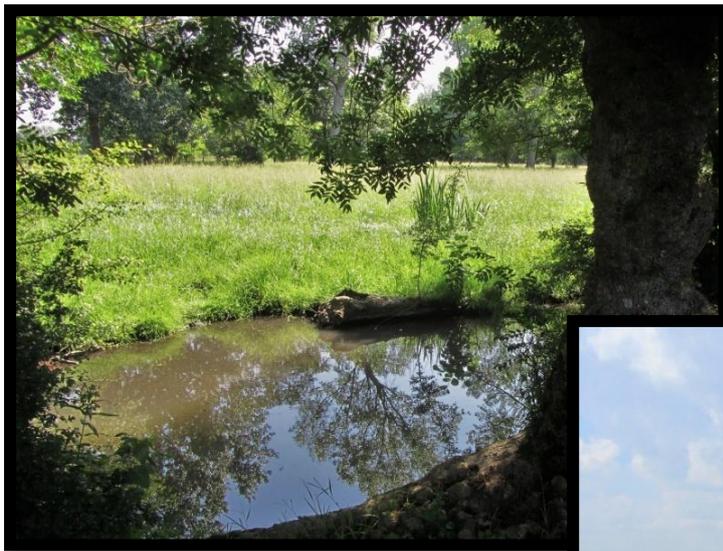

Quels déterminants des patrons de végétation
prairiale en zone de marais ?
Analyse de données in situ par un panel de
variables environnementales.



Crédits photo :
Marie Grange



Mémoire de dominante d'approfondissement
Gestion des Milieux Naturels
2017-2018

Marie GRANGE
Maitres de stage : Jean-Marc PAILLISSON et Anne BONIS
Enseignant référent : Christian PIEDALLU

FICHE SIGNALÉTIQUE D'UN TRAVAIL D'ÉLÈVES

AgroParisTech	TRAVAUX D'ÉLÈVES
TITRE : Quels déterminants des patrons de végétation prairiale en zone de marais ? Analyse de données in situ par un panel de variables environnementales.	Mots clés : analyse de données, biodiversité, communautés végétales, Marais poitevin, prairie, régime hydrique, sélection de variables, zone humide
AUTEUR(S) : Marie GRANGE	Promotion : 2018
Caractéristiques : 1 Volumes ; 40 Pages ; 17 Figures ; 7 Annexes ; 4 Cartes ; bibliographie	

CADRE DU TRAVAIL

ORGANISME PILOTE OU CONTRACTANT : UNR ECOBIO, équipe ESDD		
Nom du responsable : Jean-Marc Paillisson et Anne Bonis		
Fonction : chargés de recherche CNRS		
Nom du correspondant AgroParisTech : Christian Piedallu		
<input type="checkbox"/> Spécialité	<input type="checkbox"/> Stage 2A x Stage fin d'études Date de remise : 05/11/2018	<input type="checkbox"/> Autre

SUITE À DONNER (réservé au Service des Etudes)

<p>x Consultable et diffusable</p> <p><input type="checkbox"/> Confidentiel de façon permanente</p> <p><input type="checkbox"/> Confidentiel jusqu'au/...../..... , puis diffusable</p>

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier particulièrement Anne Bonis pour son énergie, sa disponibilité, et surtout pour avoir eu la patience de chercher des réponses à toutes mes questions et de me garder dans la bonne direction au cours de ces 6 mois.

Je remercie aussi Olivier Gore dont la bonne humeur sur le terrain et les connaissances sur le marais qu'il m'a partagé dans le marais m'ont été fort utiles et André Mauchamp pour m'avoir fourni les données sur lesquelles se basent ce travail et patiemment répondu à mes interrogations sur les variables environnementales, ainsi que Benjamin Bergerot et Jean-Marc Paillisson pour avoir répondu à mes questions méthodologiques et statistiques.

Enfin, je veux remercier les membres de l'UMR GEOLAB pour leur accueil chaleureux et les déjeuners autour de La Montagne, en particulier Adrien, Loïc et Lucas qui m'ont activement soutenu dans ma quête de thèse et Chantal qui m'a prêté son chat.

SOMMAIRE

RESUMÉ :	9
ABSTRACT :	10
INTRODUCTION :	11
I. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	15
II. PRESENTATION DU PROJET	16
AXE 1 : CARACTÉRISATION DES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES POUR L'ANALYSE DE LA BIODIVERSITÉ DE MARAIS	13
I. LES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX IDENTIFIES COMME DETERMINANTS POUR LA STRUCTURE DE LA BIODIVERSITE DANS LA LITTERATURE.....	18
1.	MÉTHODE
.....	18
1.1. <i>Requête bibliographique</i>	18
1.2. <i>Analyse générale et tri des articles obtenus.....</i>	19
1.3. <i>Analyse d'une sélection d'articles.....</i>	20
1.4. <i>Classification, hiérarchisation et pertinence des variables environnementales pour la biodiversité 21</i>	21
1.5. <i>Analyse des relations entre couples de variables environnementales.....</i>	21
2.	RÉSULTATS
.....	24
2.1. <i>Méta-analyse des articles obtenus et retenus.....</i>	24
2.2. <i>Analyse des méthodes utilisées et des facteurs environnementaux considérés dans la littérature 25</i>	25
2.3. <i>Relations entre couples de variables dans les modèles appliqués à la végétation prairiale</i>	28
II. LES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX PRIS EN COMPTE POUR ETUDIER LA BIODIVERSITE DANS 11 ZONES DU MARAIS POITEVIN	31
1.	MÉTHODE
.....	31
1.1. <i>Protocole d'acquisition des données environnementales</i>	31
1.2. <i>Relations entre les différentes caractéristiques environnementales décrites au sein des 11 zones considérées dans le Marais poitevin.....</i>	33
2.	RÉSULTATS
.....	35
2.1. <i>Variables environnementales disponibles dans l'étude : adéquation avec la littérature</i>	35
2.2. <i>Relations entre les différentes caractéristiques environnementales décrites au sein des 11 zones considérées dans le Marais poitevin.....</i>	36
AXE 2 : EFFETS DU RÉGIME HYDRIQUE SUR LA VÉGÉTATION PRAIRIALE DU MARAIS POITEVIN	35
I. METHODE	39
1. PROTOCOLE D'ACQUISITION DES DONNÉES VÉGÉTATION PRAIRIALE (VP)	39
.....	39

2.INDICATEURS DE STRUCTURE DE LA COMMUNAUTÉ VÉGÉTATION PRAIRIALE	40
3.PROTOCOLE D'ACQUISITION DES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES	42
4.ANALYSES STATISTIQUES RÉALISÉES POUR EXPLIQUER LES CARACTÉRISTIQUES DE LA VÉGÉTATION PAR LES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES	42
5.SÉLECTION DES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES PRISES EN COMPTE DANS LES ANALYSES	43
II. RESULTATS.....	45
1. RESULTATS DES SELECTIONS DE VARIABLES	45
2.ANALYSE DES DONNÉES DE VÉGÉTATION DES GROUPEMENTS VP PAR LES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES	48
1.1. <i>Effets des variables environnementales hors régime hydrique.....</i>	48
1.2. <i>Effets du régime hydrique sur la variance restante</i>	49
2. ANALYSE DES DONNEES DE VEGETATION DES GROUPEMENTS VP PAR LES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES	50
2.1. <i>Effets des variables environnementales hors régime hydrique.....</i>	50
2.2. <i>Effets du régime hydrique sur la variance restante</i>	51
III. DISCUSSION	52
CONCLUSION.....	51
BIBLIOGRAPHIE.....	52
ANNEXES.....	54

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Situation géographique et géomorphique du Marais poitevin	15
Figure 2 : Chronologie de la formation du marais actuel	15
Figure 3: Schéma des étapes de la recherche bibliographique.....	19
Figure 4 : Répartition des modèles univariés suivant le nombre de (a) familles f (b) sous familles sf1 et (c) sous-familles sf2 prises en compte. (nombre total de familles identifiées = 6; nombre total des sous-familles sf1 identifiées = 22; nombre total de sous-familles sf2 identifiées = 66).....	26
Figure 5 : Localisation des 11 zones d'étude dans le Marais poitevin	32
Figure 6 : Localisation des stations au sein d'une zone d'étude, ici la zone 3, Champagné	32
Figure 7 : Transformation des résultats du test de Mantel entre zones en dendrogramme.....	34
Figure 8 : Graph des individus de l'ACP sur l'ensemble des variables environnementales applicables aux groupements VP (les groupements sont colorés en fonction de leur zone) .	37
Figure 9 : Graph des variables de l'ACP sur l'ensemble des variables environnementales applicables aux groupements VP (seuls les 20 variables les mieux représentées dans chaque graph sont nommées) .	37
Figure 10 : Localisation des zones d'étude dans le Marais poitevin.....	39
Figure 12 : Stratégie d'échantillonnage de la végétation prairiale dans chaque station de suivi.....	40
Figure 11 : Localisation des stations de suivi au sein d'une zone (ici la zone 3 : Champagné-les-Marais).....	40
Figure 13 : Graph des individus de l'ACP sur la composition spécifique des groupements VP (a) coloré par année et (b) coloré par zone	41
Figure 14 : Graph des individus de l'ACP sur la composition spécifique des groupements VP coloré par l'indice F d'Ellenberg des groupements.	41
Figure 15 : Graph des individus de l'ACP sur la composition spécifique des stations VP coloré par l'indice F d'Ellenberg des stations.....	41
Figure 16 : Graph des variables et graphs des individus de l'ACP sur les variables issues de la première sélection	45
Figure 17 : Graph des individus de l'ACP sur la composition spécifique des groupements VP coloré par l'indice S d'Ellenberg des groupements.....	48
Figure 18 : Graph des individus de l'ACP sur la composition spécifique des groupements VP coloré par l'indice S d'Ellenberg des groupements.....	50
 Tableau 1 : Structure simplifiée (uniquement les informations supplémentaires) de la table récapitulative des informations extraites des articles (structure complète en Annexe 4).....	20
Tableau 2 : Résultats du trie sur les mots clés présents dans le titre (un même article peut être comptabilisé dans plusieurs catégories)	24
Tableau 3 : Nombre de modèles associé à chaque habitat et groupe taxonomique.	25
Tableau 4 : Liste des familles et sous-familles de variables considérées pour expliquer la composition de la végétation prairiale. Les colonnes 3 et 4 indiquent le nombre de modèles	

les testant et les retenant et la colonne 4 la fréquence avec laquelle elles sont testées. La liste complète est présentée en Annexe 5.	27
Tableau 5 : Test de l'indépendance de la prise en compte des différentes familles de variables dans un modèle. Rapport $P(\text{At inter Bt}) / P(\text{At}) * P(\text{Bt})$. En orange les couples jamais testés, en rouge ceux qui sont moins testés ensembles que si elles étaient indépendantes et en vert ceux qui sont plus testés ensembles que si elles étaient indépendantes.	28
Tableau 6 : Test de l'indépendance de la sélection de chaque couple de familles de variables par un modèle lorsque les deux familles sont testées par le modèle. En orange les couples de familles qui ne sont jamais retenues ensembles, en rouge les couples de familles qui sont moins retenues ensembles que si elles étaient indépendantes et en vert les couples de familles qui sont plus retenues ensembles que si elles étaient indépendantes. Les cellules grisées correspondent aux variables testés dans moins de 10 modèles.	29
Tableau 7 : Test de l'indépendance de la prise en compte des différentes familles de variables dans un modèle. Rapport $P(\text{At inter Bt}) / P(\text{At}) * P(\text{Bt})$. En orange les couples de familles qui ne sont jamais testés ensembles, en rouge les couples de familles qui sont moins testés ensembles que si elles étaient indépendantes et en vert les couples de familles qui sont plus testés ensembles que si elles étaient indépendantes. Les cellules grisées correspondent aux variables testés dans moins de 5 modèles.	30
Tableau 8 : Test de l'indépendance de la sélection de chaque couple de familles de variables par un modèle lorsque les deux familles sont testées par le modèle. En orange les couples de familles qui ne sont jamais retenues ensembles, en rouge les couples de familles qui sont moins retenues ensembles que si elles étaient indépendantes et en vert les couples de familles qui sont plus retenues ensembles que si elles étaient indépendantes. Les cellules en gris correspondent aux couples testés dans moins de 5 modèles.	31
Tableau 9 : Récapitulatif des types de variables environnementales acquises dans les 11 zones d'étude du Marais poitevin et de leurs échelles spatio-temporelles d'acquisition	33
Tableau 10 : exemple de matrice utilisée pour construire un test de Mantel pour tester un effet zone sur les relations entre variables environnementales	33
Tableau 11 : Exemple de matrice de distance utilisée pour un test de Mantel	34
Tableau 12 : Adéquation entre les variables retenues comme critiques pour la biodiversité dans la littérature, les variables considérées dans cette étude et les variables retenues pour les analyses de la végétation prairiale (VP). Sont présentés les variables testées dans plus de 5 modèles et retenues dans plus de la moitié des modèles testant.....	36
Tableau 13 : Tableau récapitulatif des fonctions de lien appliquées à chaque caractéristique de la communauté végétale dans les GLM.....	42
Tableau 14 : Tableau récapitulatif de la composition des variables environnementales aux différentes étapes de la sélection sur l'ensemble des variables applicables aux groupements VP.	46
Tableau 15 : Tableau récapitulatif de la composition des variables autres que le régime hydrique aux différentes étapes de la sélection sur l'ensemble des variables applicables aux groupements VP.	46
Tableau 16 : Liste des variables retenues lors des procédures de sélection pour intégrer les analyses	47
Tableau 17 : Tableau récapitulatif de l'effet de la salinité du sol estimée par l'indice S d'Ellenberg sur les caractéristiques des communautés des groupements VP.....	48
Tableau 18 : Tableau récapitulatif de l'effet des variables paysagères et de l'épaisseur de l'horizon organique sur les caractéristiques des communautés des groupements VP.	49

Tableau 19 : Tableau récapitulatif de l'effet des variables paysagères et de l'épaisseur de l'horizon organique sur les caractéristiques des communautés des groupements VP.	49
Tableau 20 : Tableau récapitulatif de l'effet de la salinité du sol estimée par l'indice S d'Ellenberg sur les caractéristiques des communautés des stations VP.	51
Tableau 21 : Tableau récapitulatif de l'effet des variables paysagères et de l'épaisseur de l'horizon organique sur les caractéristiques des communautés des stations VP.	51
Tableau 22 : Tableau récapitulatif des effets des variables de régime hydrique retenues comme significatives sur les caractéristiques de la végétation des stations VP.	52
Tableau 23 : Tableau récapitulatif de la part de la variance des 6 indices biotiques expliqués par les variables environnementales considérées.	53
Tableau 24 : Tableau des variables corrélées aux variables retenues par les modèles	53

RESUME

Le Marais poitevin est la deuxième zone humide de France. Elle constitue une zone critique pour la biodiversité et est également un territoire à forts enjeux agricoles de par la fertilité de ces sols.

La gestion de l'eau dans le Marais, et plus spécifiquement les durées d'inondation des prairies semi-naturelles, constituent un thème primordial pour les enjeux environnementaux et agricoles. La culture de céréales, et du maïs en particulier, requière une irrigation qui impacte les nappes d'eau du marais en été et des niveaux d'eau bas au printemps tandis que la biodiversité typique de marais est considérée comme dépendante de durée d'inondation longue et de niveaux d'eau encore élevés au printemps.

L'objectif de ce travail est d'identifier les effets respectifs de la gestion des niveaux d'eau et des autres conditions environnementales sur les patrons de la végétation de marais de façon quantitative afin de trouver des compromis entre activité agricole et conservation de la biodiversité. Pour cela, des jeux de données acquis depuis 2014 sur 110 stations réparties sur 11 casiers hydriques par l'Etablissement Public du Marais Poitevin et l'UMR EcoBio. En parallèle du suivi de la végétation, un large panel de conditions environnementales a été mesuré, avec une attention particulière pour le régime hydrique.

La première partie du travail d'analyse porte sur les liens entre variables environnementales mesurées et leur stabilité. Cela permet dans un second temps de plusieurs analyses des données de végétation prairial avec des variables non fortement redondantes et de les combiner pour identifier les principaux facteurs déterminants la richesse et la composition floristique des prairies humides.

Mots clés : analyse de données, biodiversité, communautés végétales, Marais poitevin, prairie, régime hydrique, sélection de variables, zone humide

ABSTRACT

The Marais poitevin is the second wetland of France. It's a critical spot for biodiversity and also for agricultural matters because of its high fertility soils.

Water driving in this wetland, notably for flooding duration in natural wet meadow is primordial to environmental and agricultural issues. On the one hand, cereal culture, in particular corn culture, needs summer irrigation that impact groundwater table and spring low levels of water. On the other hand, typical biodiversity of this wetland is considered as dependant of high levels of water and spring flooding.

The objective of this project is to identify in a quantitative way the effects of water regime and others environmental conditions on vegetation structure. This should enable the Etablissement Public du Marais Poitevin to find compromises between agricultural activity and biodiversity protection in this wetland.

To achieve this goal, a data-base has been developed since 2014 on 110 stations in 11 sectors of the Marais poitevin by the Etablissement Pulic du Marais Poitevin and the UMR EcoBio. This data-base contains vegetation monitoring and a large panel of environmental variables, in particular relative to the water regime.

The first part of this work attempt to analyze links between environmental variables and the stability of those links. Then, several statistical analyses are conducted with not highly redundant variables and combined to identify the factors driving richness and composition of vegetation in wet meadow.

Key words: biodiversity, data analysis, Marais poitevin, meadow, variables selection, vegetal community, water regime, wetland.

INTRODUCTION

I. Présentation de la zone d'étude

Avec une superficie de 98 016 ha, à cheval entre les départements de Vendée, des Deux Sèvres et de Charente-Maritime, le Marais poitevin est la seconde zone humide la plus étendue de France. Elle est issue du comblement d'un ancien golf maritime initié il y a 10 000 ans par accumulation d'argiles marines. (« Atlas du Marais poitevin » s. d.)

Cette zone humide atlantique présente un dimorphisme est-ouest marqué par la présence dans la partie ouest d'une nappe d'eau saumâtre interstitielle et donc une conductivité du sol plus élevée et dans la partie est d'un sol tourbeux. (Olivier Gore et al. 2018)



Figure 1 : Situation géographique et géomorphologique du Marais poitevin

L'ensemble du marais est alimenté en eau par un bassin versant étendu par ruissellement direct et canalisé par un réseau de canaux de plus de 8 000 km, par débordement et infiltration de l'eau des rivières et de la Sèvre Niortaise et par des eaux pluviales. La proportion de l'apport en eau issu de chaque source varie fortement suivant les secteurs, leur connexion au réseau hydrique et la densité de canaux. (« Atlas du Marais poitevin » s. d.)

Ce marais atlantique a été façonné par l'activité agricole au cours des derniers siècles.

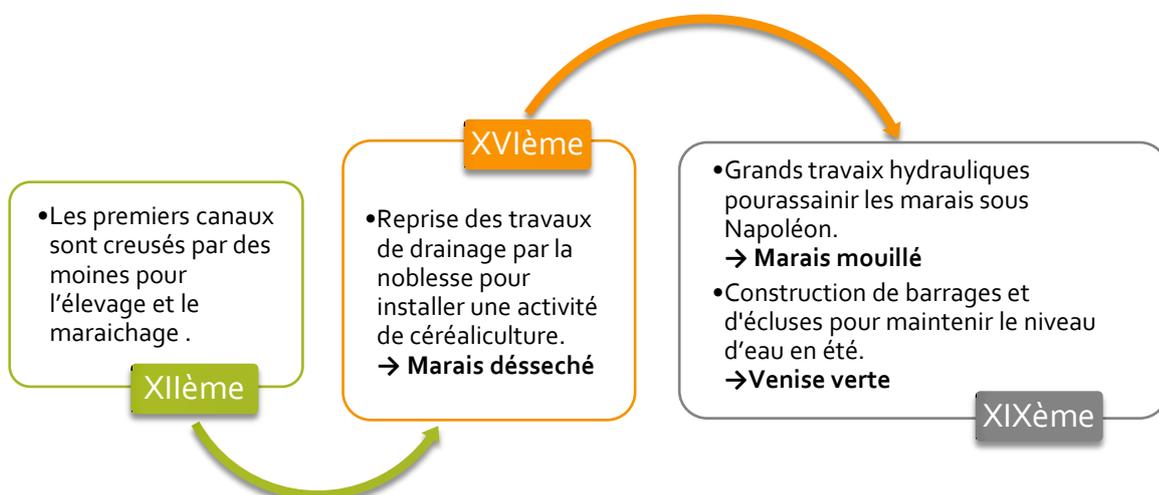


Figure 2 : Chronologie de la formation du marais actuel

Cette activité agricole a évolué au cours du temps (Billaud Jean-PAul s. d.; « Atlas du Marais poitevin » s. d.), et particulièrement au cours des 50 dernières années où le pâturage extensif traditionnel a rapidement cédé la place à la céréaliculture et en particulier à la production de maïs nécessitant des niveaux d'eau bas au printemps et l'utilisation de la nappe phréatique pour l'irrigation en été.

De ce fait, l'enjeu agricole est très présent sur le territoire et est la principale motivation pour la régulation des niveaux d'eau dans le Marais poitevin.

Le Marais poitevin est aussi une zone humide d'importance pour la biodiversité à l'échelle nationale et internationale (convention RAMSAR) : elle accueille un grand nombre d'espèces protégées ou patrimoniales, plusieurs habitats d'intérêt communautaire. La quasi-totalité de sa surface est incluse dans des zones de protection ZNIEFF, ZICO ou Natura 2000. (« Atlas du Marais poitevin » s. d.)

Or, la gestion des niveaux d'eau au cours de l'année est aussi une question critique pour cette biodiversité. La tendance à assécher le marais au profit de la céréaliculture a valu au PNR du Marais poitevin de perdre son label en 1997 et à la France d'être condamnée par l'Union Européenne en 1999 pour mauvaise gestion de l'eau et dégradation de cette zone humide. Pour remédier à cette situation, l'EPMP (établissement public du Marais poitevin) a été créé en 2012 avec comme objectif de trouver des compromis entre activité agricole et protection de la biodiversité du marais. (« Communiqué_Presse_1anEPMP.pdf » s. d.)

II. Présentation du projet

L'objectif de ce travail, commandité par l'EPMP à l'UMR ECOBIO, est d'identifier les effets respectifs de la gestion des niveaux d'eau et des autres conditions environnementales sur les patrons de la biodiversité de marais de façon quantitative afin de trouver des compromis entre activité agricole et conservation de la biodiversité. Pour cela, des jeux de données acquis depuis 2014 sur 110 stations réparties sur 11 casiers hydriques. En parallèle du suivi de la biodiversité, un large panel de variables caractérisant l'environnement physico-chimique et biotique a été mesuré, avec une attention particulière pour le régime hydrique. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce stage, qui se concentre sur la partie végétation prairiale de l'étude tout en essayant de proposer des méthodes applicables aux autres groupes taxonomiques considérés.

L'objectif étant de comprendre avec précision quels facteurs liés au régime hydrique influencent la végétation prairiale, le premier axe de travail est de déterminer quelles variables sont nécessaires pour caractériser ce régime hydrique et le reste des conditions environnementales susceptibles d'agir sur cette végétation. Pour cela, une analyse des articles centrés sur la végétation de marais et publiés lors des 20 dernières années a été réalisée en relevant les variables candidates et retenues pour expliquer les caractéristiques de la biodiversité. Ce travail a permis de compléter la base de données disponible pour l'étude des effets du régime hydrique sur la végétation prairiale dans le Marais poitevin. Les liens entre ces variables et la stabilité de ces liens a ensuite été analysés.

Dans un second temps, un jeu de variables environnementales a été sélectionnés de façon à (i) représenter l'ensemble du spectre des variables environnementales et (ii) ne pas présenter de fortes corrélations entre elles. Ces variables ont ensuite été utilisées pour déterminer l'importance du régime hydrique dans la détermination de plusieurs caractéristiques des communautés de végétation prairiale du Marais poitevin : la richesse spécifique, l'équitabilité, l'hygrophyllie et la composition spécifique. Deux échelles de

caractérisation de la végétation ont été traitées : des groupements correspondant à des communautés homogènes et des stations correspondant à des transects représentatifs des prairies.

AXE 1 : CARACTERISATION DES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES POUR L'ANALYSE DE LA BIODIVERSITE EN MARAIS

I. Les facteurs environnementaux identifiés comme déterminants pour la structure de la biodiversité dans la littérature

L'analyse de la littérature récente vise à identifier les conditions environnementales qui sont généralement trouvées comme ayant un effet significatif sur la biodiversité en zones humides, et ce, pour tous les groupes taxonomiques étudiés dans l'étude « EPMP » (végétation prairiale, végétation aquatique, odonates, macro-invertébrés aquatiques et limicoles).

L'analyse bibliographique a été conduite en trois étapes qui permettent de produire trois types d'informations bibliographiques :

- Sélectionner les études en lien avec la biodiversité dans un environnement de marais et déterminer les approches et méthodes utilisées pour décrire l'environnement et ses liens avec les caractéristiques de la biodiversité.
- Réaliser un inventaire des variables environnementales considérées dans chacune des études, et celles pour lesquelles un effet significatif a été trouvé.
- Déterminer si certaines combinaisons de (familles de) variables sont utilisées de façon récurrente pour décrire l'environnement dans ces études de la biodiversité. On peut considérer que ces combinaisons sont celles qui permettent de décrire au mieux les différentes conditions environnementales déterminant la biodiversité.

Cette recherche bibliographique a également pour objectif de collecter des ressources techniques sur la façon de caractériser une communauté et les analyses (statistiques ou non) permettent de rendre compte des liens entre communautés d'espèces et environnement.

1. Méthode

1.1. Requête bibliographique

Les recherches ont été réalisées à partir de l'interface bib.cnrs car celle-ci permet d'avoir accès à un maximum d'articles en une seule requête tout en éliminant la majorité des doublons entre les différentes bases de données. La recherche porte sur les articles publiés lors des 20 dernières années soit entre 1998 et 2018.

La recherche a été réalisée en 2 étapes (Figure 3). Une première avec comme objectif de recenser les articles s'intéressant à la caractérisation de l'environnement d'une façon globale (requête précise en Annexe 1 .1) qui a permis d'obtenir 55 articles.

Une deuxième phase destinée à faire un zoom sur les différentes familles de variables environnementales (requête précise en Annexe 1 .2) identifiées dans la première phase de recherche afin d'homogénéiser le niveau de détail dans les variables avec celui de la recherche sur la caractérisation du régime hydrique déjà effectuée (Thevenot, Gore et al. unpubl). 252 articles ont ainsi été obtenus.

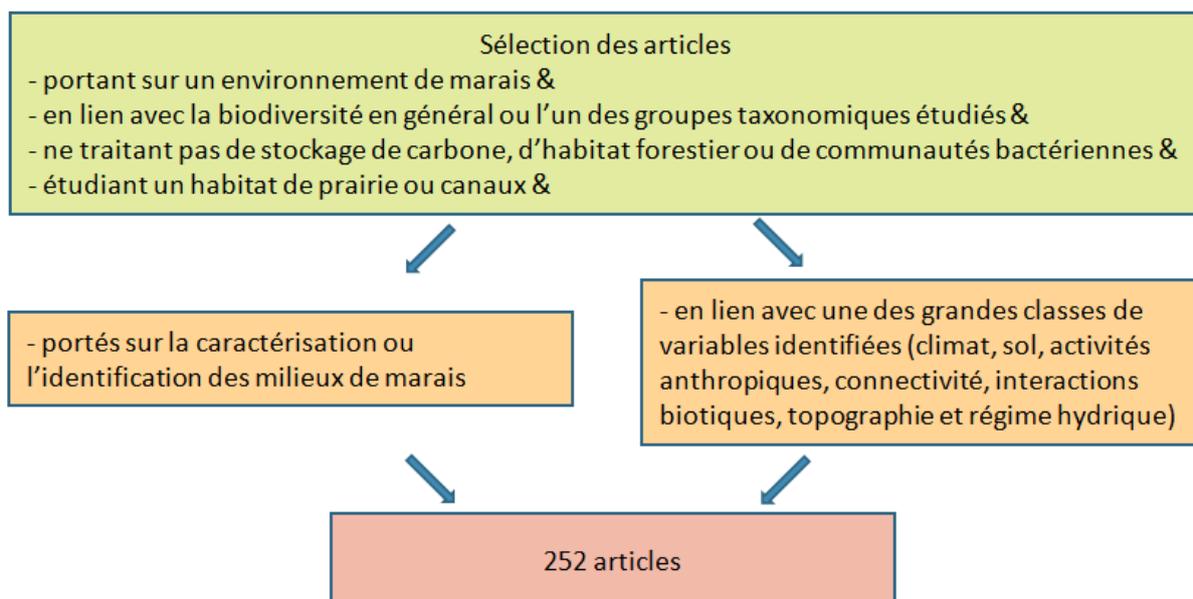


Figure 3: Schéma des étapes de la recherche bibliographique

1.2. Analyse générale et tri des articles obtenus

Les 252 articles obtenus suite à la requête décrite dans la Figure 3 ont ensuite été triés sur la base des mots clés présents dans leurs titres et de leur adéquation avec les questions et modèles de l'étude sur le Marais poitevin.

- Une recherche à l'aide des fonctions SI, ESTNUM et CHERCHE permet de détecter dans les titres les mots clés utilisés dans les requêtes pour spécifier le type d'habitat et le groupe taxonomique. (Annexe 3)
- Un tri manuel des articles a aussi été effectué en fonction de leur titre. Il sépare les articles en 7 catégories, en fonction de leur intérêt pour l'étude.

Une grande partie des articles trouvés par les requêtes automatiques a été classée « hors sujet » après consultation du contenu, la recherche initiale étant formulée pour être la plus large possible afin de ne pas perdre d'information.

Une grande partie de ces articles étaient centrés sur les pratiques agricoles, en particulier le pâturage (55 articles) et la mise en valeur des zones humides pour cette activité. Les zones de prairies échantillonnées dans le Marais poitevin ayant été choisies de façon à présenter des conditions de pâturage les plus homogènes possibles, ces articles n'ont pas été retenus.

La dimension multifactorielle de la caractérisation environnementale et multi-taxons a été difficile à identifier par requêtes automatiques. Les articles s'intéressant aux communautés ont donc été sélectionnés un à un « manuellement » et les articles dédiés à une seule espèce ont été exclus.

Ces classifications permettent d'accéder rapidement aux articles les plus pertinents sur une thématique ciblée tout en conservant des articles ressources pour la méthodologie ou répondant à des questions spécifiques qui ne sont pas directement intéressantes pour la caractérisation de l'environnement mais pourraient l'être pour l'interprétation des résultats de l'analyse des variables biodiversité.

1.3. Analyse d'une sélection d'articles

42 articles ont ainsi été sélectionnés et lus. Après lecture, seuls 39 ont été retenus (Annexe 2) pour former la base de données finale *root.xls*. Une lecture rapide a permis d'extraire, pour chacun des articles les modèles statistiques produits, les variables à expliquer et explicatives considérées et retenues comme significatives (Tableau 1). Le nombre de variables environnementales considérées par modèle est aussi relevé mais un biais positif est induit par la procédure de sélection des articles puisque dans la mesure du possible, les articles s'intéressant à plusieurs facteurs ont été retenus.

Tableau 1 : Structure simplifiée (uniquement les informations supplémentaires) de la table récapitulative des informations extraites des articles (structure complète en Annexe 4)

Echelle	titre	définition
Par publi	id_model	= id_publi_var expliquée
	localisation	pays où l'étude a été menée (+région en France)
	gestion ?	zone gérée ou non
	type d'étude	
	cara_env	article ressource pour la caractérisation environnementale
	cara_com	article ressource pour la caractérisation des communautés
	an_croisée	article ressource pour l'analyse croisée des données environnementales et des communautés → Ressources techniques
	support_env	type de variations environnementales sur lesquelles portent les analyses
	nb sites	nombre de sites étudiés (la plus large échelle)
	nb placettes_site	nombre total de placettes (la plus fine échelle analysée / =nb sites *(nb placettes/site))
Par model	répétitions	nombre d'années de passage * nombre de passages par année
	classification	l'analyse porte-elle sur des types de végétation issus d'une classification ?
	type habitat	habitat sur lequel porte le modèle
	type model	modèle statistique utilisé
Par variable explicative	groupe taxo	groupe taxonomique sur lequel porte le modèle → Classification des variables utilisées pour caractériser un environnement de marais
	var expliquée	variable de biodiversité
	famille var env	famille de la variable environnementale
	var env	variable environnement
	type variable	type de la variable environnementale
	retenu	→ Analyse des relations entre variables

Par la suite, les modèles ont été répartis dans deux tables différentes en fonction de leurs caractéristiques :

- les résultats d'analyses multivariées regroupant les variables ayant un effet similaire sur la biodiversité (type ACP) dans *root_corr.xls*.
- les modèles explicatifs type GLM, sélectionnant des combinaisons de variables à priori complémentaires expliquant une caractéristique de la communauté étudiée dans *root_comb.xls*.

1.4. Classification, hiérarchisation et pertinence des variables environnementales pour la biodiversité

1.4.1. Homogénéisation des noms des variables environnementales et classification

Pour pouvoir comparer les articles entre eux, il est important de définir un premier niveau de variables avec une terminologie homogène entre tous les articles : cette première échelle de regroupement des variables sera nommée sous-famille 2 (sf2) dans la suite des analyses.

Les variables environnementales légèrement différentes mais traitant du même objet physique, chimique ou biologique ont donc été rassemblés et traitées comme une seule et même variable. Par exemple, la teneur en azote du sol est, selon les articles, approchée par différentes formes chimiques ou mesure (nitrate, nitrite, azote total...) mais toutes ont été regroupés dans notre analyse comme « nitrogène ».

Cette étape a abouti à la création de 77 variables « sf2 » correspondant à des regroupements de terminologies utilisées dans les articles. Cette grande diversité des facteurs pris en compte dans la littérature rend difficile la comparaison des résultats des différents modèles. En conséquence, les 77 variables environnementales « sf2 » ont été répartis dans 25 sous-familles 1 de variables dites « sf1 », elles-mêmes réparties dans 6 familles de variables (f).

Les variables sf2, sf1 et f apparaissant dans les modèles sont présentées dans l'Annexe 5

1.4.2. Pertinence des variables environnementales utilisées dans la littérature pour expliquer les caractéristiques de la biodiversité

Le nombre de modèles retenant une variable comme significative a été comparé au nombre de modèles testant cette variable (Annexe 5). Cette valeur ne sera interprétée que pour les variables testées au minimum 10 fois afin de pouvoir être considérée comme fiable.

1.5. Analyse des relations entre couples de variables environnementales

L'analyse des relations entre variables environnementales à travers l'étude des modèles décrits précédemment permet de mettre en évidence les variables dont l'impact sur la biodiversité est le plus marqué, ainsi que les relations pouvant exister entre variables. On cherche ainsi à identifier (i) les variables généralement non fortement corrélées qui sont utilisées conjointement pour caractériser la biodiversité et (ii) quel est l'effet de l'ajout d'une variable environnementale dans un modèle sur les variables qu'il retiendra comme significatives? Répondre à ces questions permet d'optimiser le choix des variables à intégrer dans un modèle pour caractériser l'environnement sans perdre d'information et sans introduire de biais.

Cette analyse est conduite en postulant que les procédures ad hoc ont été utilisées pour sélectionner les variables à tester, c'est-à-dire que les variables fortement corrélées entre elles ont été filtrées pour ne garder que celles non ou faiblement corrélées. Cette hypothèse est considérée comme vérifiée pour les modèles de *root_comb.xls*.

Une difficulté de cette analyse est liée au fait que les différents articles ne testent pas la même liste de variables environnementales, et que toutes les combinaisons de variables ne sont pas testées. Il est donc impossible d'isoler l'impact de la sélection d'une variable sur la sélection d'une autre au sein d'un modèle. La non sélection d'une variable dans le modèle final ne peut être attribuée à une variable en particulier. En conséquence, l'analyse a été limitée aux couples de variables, les modèles testant simultanément les deux variables étant considérés comme des répétitions permettant de décrire la relation entre ces variables indépendamment des autres variables utilisées dans ces modèles. Ce travail ne rend donc pas compte de toutes les possibilités d'interactions entre variables environnementales, mais il permet de conserver une bonne puissance statistique des résultats obtenus.

Quelques définitions

- **Indépendance** d'évènements : deux éléments sont dits indépendants lorsque la réalisation de l'un n'a pas d'effet sur la probabilité d'occurrence de l'autre. On peut alors écrire $P(A \cap B) = P(A) * P(B)$
- **Indépendance** de variables : deux variables sont dites indépendantes si $f(x_1, x_2) = f(x_1) * f(x_2)$ (cas de variables continues) ou $P(X_1 = a_1, X_2 = a_2) = P(X_1 = a_1) * P(X_2 = a_2)$ (cas de variables discrètes).
- **Redondance** : deux variables seront ici dites redondantes si elles covarient et ont un effet similaire sur la biodiversité. Leurs effets respectifs en peuvent alors être distingués.
- **Complémentarité** : deux variables sont ici dites complémentaires si elles affectent les mêmes caractéristiques des communautés sans covarier. Les deux variables sont alors nécessaires pour expliquer ces caractéristiques.

Seuls les modèles « vrais » (*root_comb.xls*) pour lesquels on connaît les variables testées et retenues sont utilisés dans cette analyse.

Par la suite, on notera les évènements :

A_t : « la variable VarA est testée dans le modèle »

B_t : « la variable VarB est testée dans le modèle »

A_r : « la variable VarA est retenue dans le modèle »

B_r : « la variable VarB est retenue dans le modèle »

1.5.1. Etude de l'indépendance de l'occurrence de deux variables dans les variables testées (relation a priori des variables du couple)

On cherche à savoir si deux variables A et B sont fortement corrélées ou considérées comme redondantes. Pour cela, on compare $P(A_t \cap B_t)$ et $P(A_t) * P(B_t)$.

- Si $\frac{P(A_t \cap B_t)}{P(A_t) * P(B_t)} = 1$, A et B seront dites indépendantes.
- Si $\frac{P(A_t \cap B_t)}{P(A_t) * P(B_t)} > 1$, A et B sont testées plus souvent ensembles que si elles étaient indépendantes, c'est-à-dire, lorsque l'une est testée, l'autre a plus de chances d'être testée. Cela indique que les variables A et B ne sont pas fortement corrélées et sont utilisées aux mêmes échelles ou considérées comme importantes dans les mêmes

types de milieux, les mêmes communautés ou les mêmes caractéristiques des communautés.

- Si $\frac{P(A_t \cap B_t)}{P(A_t) * P(B_t)} < 1$, VarA et VarB sont testées moins souvent ensembles que si elles étaient indépendantes, c'est-à-dire, lorsque l'une est testée, la probabilité que l'autre soit aussi testée diminue. Cela signifie que les procédures de sélection des variables ont tendance à ne retenir qu'une seule de ces variables. Elles sont donc fortement corrélées ou leur impact sur les communautés n'est pas considéré comme important aux mêmes échelles, dans les mêmes types de milieux ou sur les mêmes caractères.

1.5.2. Etude de l'indépendance de l'occurrence de deux variables dans les variables retenues

L'objectif de cette étape est de savoir si la détection d'un effet de varA et la détection d'un effet de varB sont indépendantes.

Pour cela, la fréquence avec laquelle ces deux variables sont retenues lorsqu'elles sont testées simultanément soit $f[(A_r \cap B_r)|(A_t \cap B_t)]$ est calculée (Annexe 3). Elles sont ensuite comparées avec la valeur théorique de $P[(A_r \cap B_r)|(A_t \cap B_t)]$ sous l'hypothèse de l'indépendance entre les événements « la variable VarA est retenue sachant que les variables VarA et VarB sont testées » et « la variable VarA est retenue sachant que les variables VarA et VarB sont testées ».

Soit l'hypothèse :

(H) : $A_r|(A_t \cap B_t)$ et $B_r|(A_t \cap B_t)$ sont indépendants

Sous cette hypothèse, on a :

$$\begin{aligned}
 P_0 &= P((A_r \cap B_r)|(A_t \cap B_t)) \\
 \Leftrightarrow P_0 &= \frac{P((A_r \cap B_r) \cap (A_t \cap B_t))}{P(A_t \cap B_t)} \\
 \Leftrightarrow P_0 &= \frac{P(A_r \cap B_t \cap B_r \cap A_t)}{P(A_t \cap B_t)} \\
 \Leftrightarrow P_0 &= \frac{P([A_r \cap (B_t \cap A_t)] \cap [B_r \cap (A_t \cap B_t)])}{P(A_t \cap B_t)} \\
 \Leftrightarrow P_0 &= \frac{P([A_r \cap (B_t \cap A_t)]) * P([B_r \cap (A_t \cap B_t)])}{P(A_t \cap B_t)} \\
 \Leftrightarrow P_0 &= \frac{P([A_r|(A_t \cap B_t)]) * P(A_t \cap B_t) * P([B_r|(A_t \cap B_t)]) * P(A_t \cap B_t)}{P(A_t \cap B_t)} \\
 \Leftrightarrow P_0 &= P([A_r|(A_t \cap B_t)]) * P([B_r|(A_t \cap B_t)])
 \end{aligned}$$

Si la fréquence observée (f) est significativement différente de cette probabilité P_0 , cela signifie que les hypothèses d'indépendance ne sont pas vérifiées.

- $f = P_0 \Leftrightarrow P((A_r \cap B_r)|(A_t \cap B_t)) = P([A_r|(A_t \cap B_t)]) * P([B_r|(A_t \cap B_t)])$ donc A et B affectent les communautés de façon indépendante.

- $f < P_0 \leftrightarrow P((A_r \cap B_r)|(A_t \cap B_t)) < P([A_r|(A_t \cap B_t)]) * P([B_r|(A_t \cap B_t)])$ donc le fait que l'une des variables considérées soit retenue dans un modèle diminue la probabilité que l'autre soit retenue dans le même modèle. Cela signifie que A et B affectent les mêmes caractéristiques de la communauté étudiée et que sous certaines conditions, l'une a un impact prédominant sur la biodiversité par rapport à l'autre : cette dernière n'est donc pas retenue dans le modèle, alors qu'elle l'est si la première variable n'avait pas été testée. Dans ce cas, il est nécessaire de regarder les rapports $\frac{P(A_r|(A_t \cap B_r))}{P(A_r|A_t)}$ et $\frac{P(B_r|(B_t \cap A_r))}{P(B_r|B_t)}$ afin de déterminer si cette relation est symétrique ou si l'une des variables exclut plus souvent l'autre.
- $f > P_0 \leftrightarrow P((A_r \cap B_r)|(A_t \cap B_t)) > P([A_r|(A_t \cap B_t)]) * P([B_r|(A_t \cap B_t)])$ donc le fait que l'une des variables considérées soit retenue dans un modèle augmente la probabilité que l'autre soit retenue dans le même modèle. Cela signifie que A et B affectent les mêmes caractéristiques des communautés, dans les mêmes milieux et gammes de conditions environnementales, mais de façon indépendante. Elles sont complémentaires.

Les seuils à partir desquels le rapport est considéré comme différent de 1 ont été fixés arbitrairement à 0.8 et 1.2 après observation de la gamme des variations obtenues à l'échelle sf1.

Pour des questions de temps disponible et l'étude portant sur les effets du régime hydrique, seules l'influence des variables VE autre que le régime hydrique sur le régime hydrique et l'influence des variables de régime hydrique entre elles ont été interprétées. Afin d'éliminer les effets liés au groupe taxonomique et au type d'habitat étudié, ces rapports ont été calculés uniquement sur les modèles expliquant des caractéristiques de la végétation prairiale, groupe sur lequel porte ce rapport.

2. Résultats

2.1. Méta-analyse des articles obtenus et retenus

Plus de 70% des titres des articles publiés retenus font explicitement référence à un habitat terrestre de type prairie et 13% à un habitat aquatique. Plus de la moitié des articles font référence à la végétation dans leur titre et 30% à l'effet du bétail sur cette végétation. 70% des articles sont un titre indiquant un ou plusieurs groupes taxonomiques, les autres ont été sélectionnés sur la base de mots clés généraux type « biodiversity ». (Tableau 2)

Tableau 2 : Résultats du trie sur les mots clés présents dans le titre (un même article peut être comptabilisé dans plusieurs catégories)

Nombre d'articles par groupe taxonomique mentionné dans le titre	Total	Root_combi	Root_corr
Biodiversité en général	14	9	5
Végétation	15	8	7
Invertébrés	7	5	2
Limicoles	6	6	0
Poissons	7	2	5
Non précisé	4	3	1

Nombre d'articles par habitat mentionné dans le titre	Total	Root_combi	Root_corr
Terrestre	20	15	5
Aquatique	7	5	2
Non précisé	15	7	8

Ces tendances se retrouvent également à l'échelle des 136 modèles analysés (Tableau 3). Il serait donc intéressant de regarder de plus près les résultats obtenus pour la végétation prairiale avec 37 modèles de type GLM, mais peu pertinent de considérer un par un les autres groupes taxonomiques, en particulier la végétation aquatique (2 modèles) avant d'avoir ajouté d'autres articles à l'analyse.

Tableau 3 : Nombre de modèles associé à chaque habitat et groupe taxonomique.

Nombre de modèles par habitat	Root_combi	Root_corr
Terrestre	65	18
Aquatique	40	13
Nombre de modèles par groupe taxonomique	Root_combi	Root_corr
Végétation	39	14
Invertébrés	34	6
Limicoles	22	0
Poissons	10	11

2.2. Analyse des méthodes utilisées et des facteurs environnementaux considérés dans la littérature

Un large panel d'analyses statistiques univariées et multivariées est utilisé dans les articles retenus. Les modèles les plus utilisés sont les ANOVA, les modèles linéaires mixtes, les régressions logistiques et les analyses canoniques de correspondance.

2.2.1. Variables environnementales testées dans les modèles

On dira qu'un modèle teste une variable ou la prend en compte lorsqu'elle est sélectionnée pour être incluse dans ce modèle et qu'un modèle retient une variable lorsque cette variable est trouvée significative pour la caractéristique de la biodiversité étudiée. (diversité spécifique, indices d'Ellenberg, caractéristiques fonctionnelles...)

Dans les modèles analysés, 66 variables environnementales sf_2 (Annexe 5), 19 sous-familles de variables sf_1 et 6 familles f ont été identifiées.

La plupart des modèles testent entre 1 et 5 sous-familles sf_2 (Figure 4(b)). Cependant, 21 des 105 modèles testent 12 ou 13 variables sf_2 . Les modèles finaux, ne retiennent qu'une à 6 variables sf_2 .

Il est intéressant de noter qu'un modèle sur 5 ne teste l'effet sur la biodiversité que d'une seule famille f de variables environnementales.

Pour 80% des modèles ne retenant qu'une variable sf_2 n'ont en fait testé que cette variable sf_2 . Le faible nombre de familles ou sous-familles de variables retenues comme significatives dans chaque modèle de la littérature consultée peut donc être lié au faible

nombre de variables testées plutôt qu'à l'absence d'effet des autres familles et sous-familles. On ne peut savoir sur la base de ces informations si les variables non testées n'étaient en fait pas pertinentes ou si il y a une faible capacité explicative du travail publié du fait de leur non prise en compte.

Toutes les familles f sont testées dans au moins 10 modèles sur les 37 analysés, à l'exception du paysage, considéré par 2 modèles uniquement.

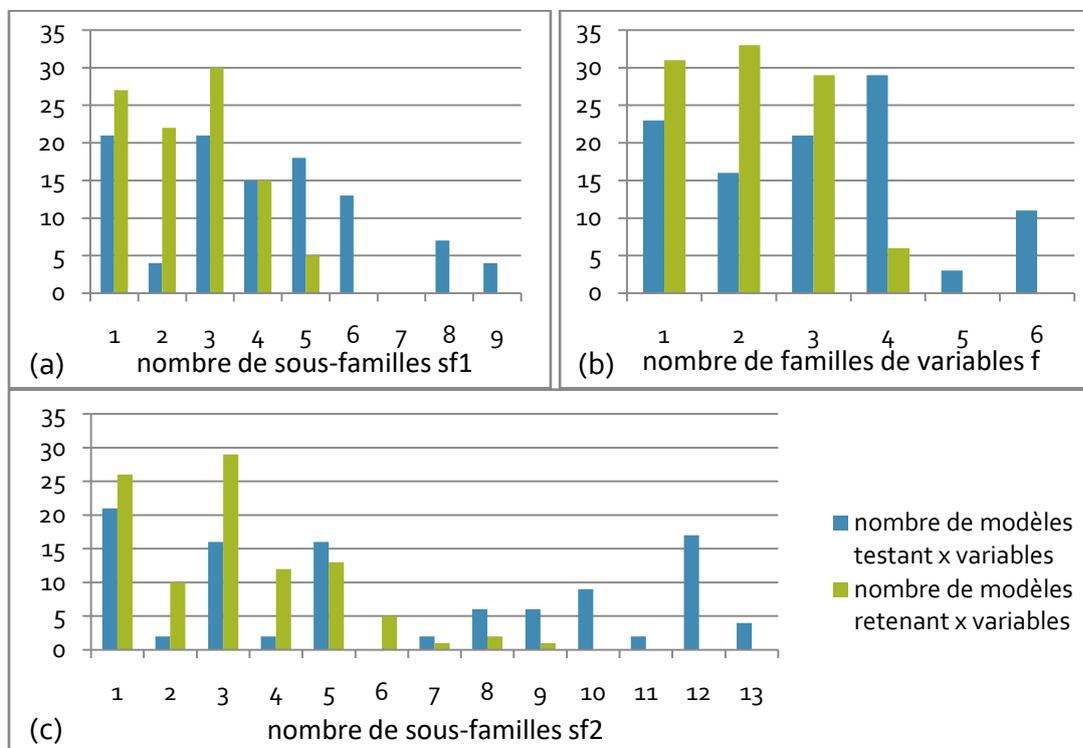


Figure 4 : Répartition des modèles univariés suivant le nombre de (a) familles f (b) sous familles sf_1 et (c) sous-familles sf_2 prises en compte. (nombre total de familles identifiées = 6; nombre total des sous-familles sf_1 identifiées = 22; nombre total de sous-familles sf_2 identifiées

Dans les modèles explicatifs de la végétation prairiale disponible dans la littérature consultée, 30 variables environnementales sf_2 sont identifiées. Elles sont regroupées en 12 variables sf_1 réparties dans les 6 familles f (Tableau 4).

Ce travail portant en particulier sur la végétation prairiale, la suite de l'analyse des conditions environnementales sera dédiée à ces variables utilisées dans la littérature pour expliquer les caractéristiques des communautés de végétation prairiale.

Sur les 30 variables sf_2 considérées, 12 ont été testées dans plus de 10 des 37 modèles (représentées en noir et en rouge dans le Tableau 4). Ces sous-familles sont donc considérées comme primordiales pour expliquer les caractéristiques de la végétation des zones humides (ou marais) dans la littérature récente. Ces variables caractérisent l'activité agricole, le niveau d'eau, la densité de la végétation, ainsi que la chimie et la structure du sol.

Tableau 4 : Liste des familles et sous-familles de variables considérées pour expliquer la composition de la végétation prairiale. Les colonnes 3 et 4 indiquent le nombre de modèles les testant et les retenant et la colonne 4 la fréquence avec laquelle elles sont testées. La liste complète est présentée en Annexe 5.

Variables (famille, sf1, sf2)	nombre de modèles testant la variable	Nombre de modèles retenant la variables	nb retenus/ nb testés
anthropic impact	27	23	0,85
accident	2	1	0,50
fire	4	1	0,25
agriculture	25	22	0,88
agricultural intensity	10	6	0,60
agricultural management type	20	14	0,70
drainage	5	5	1,00
fertilization	4	3	0,75
bioticenvironment	10	4	0,40
vegetationabundance	10	4	0,40
vegetationproductivity	10	4	0,40
landscapefeatures	2	2	1,00
land use	2	2	1,00
arable lands	2	1	0,50
open water	2	2	1,00
woodyvegetation	4	3	0,75
substratechemistry	17	13	0,76
soilchemistry	15	12	0,80
cation exchange capacity_s	5	1	0,20
nitrogen_s	19	5	0,26
organicmatter_s	21	5	0,24
othercations_s	34	11	0,32
pH_s	12	2	0,17
phosphorus_s	14	7	0,50
potassium_s	9	3	0,33
sodium_s	4	1	0,25
water chemistry	6	2	0,33
nitrogen_w	4	3	0,75
othercations_s	3	0	0,00
pH_w	1	1	1,00
phosphorus_w	1	1	1,00
substratephysic	16	7	0,44
soilphysic	11	2	0,18
texture_s	13	2	0,15
topography	5	5	1,00
altitude	5	5	1,00
water regime	23	19	0,83
flood intensity	7	1	0,14
flood depth	7	1	0,14
flood temporality	11	6	0,55
flood duration	6	3	0,50
flood frequency	5	3	0,60
flow regime	11	6	0,55
water level	11	5	0,45
water level variations	16	6	0,38
soil water regime	17	11	0,65
hydromorphy	3	0	0,00
moisture_s	16	11	0,69

2.2.2. Variables environnementales retenues dans les modèles d'analyse des communautés végétales en prairies

Parmi les 19 variables sf2 testées dans 5 modèles ou plus, 7 sont retenues plus d'une fois sur deux (variables en rouge dans le Tableau 4). Ces variables sf2 sont : agricultural intensity, agricultural management type, drainage, altitude, flood duration, flood frequency et moisture_soil. Elles ont donc un effet important sur la végétation prairiale en contexte de marais et doivent donc être prises en compte dans toutes les études où elles sont susceptibles de varier.

2.3. Relations entre couples de variables dans les modèles appliqués à la végétation prairiale

Rappelons que l'interprétation des résultats postule que, comme il se doit les variables fortement corrélées entre elles ont été filtrées avant leur utilisation dans les modèles explicatifs de la biodiversité, pour ne garder que celles non ou faiblement corrélées. On considère également qu'au moins une variable appartenant à chaque famille sf1 ou f est disponible, le fait qu'une de ces familles ne soit pas testée dans un modèle est donc du à son exclusion lors de la sélection des variables à inclure dans le modèle et non à son indisponibilité dans la base de données.

2.3.1. Analyse des relations entre familles de variables « f »

(1) Test de l'indépendance de la prise en compte des différentes familles de variables

L'impact anthropique est peu testé avec les autres variables. L'hypothèse la plus probable étant que cet effet est généralement testé dans des conditions standardisées au niveau des autres familles.

Les autres familles : environnement biotique, chimie et physique du substrat et régime hydrique sont souvent testées ensembles donc non corrélées et considérées comme complémentaires.

Tableau 5 : Test de l'indépendance de la prise en compte des différentes familles de variables dans un modèle. Rapport $P(\text{At inter Bt}) / P(\text{At}) * P(\text{Bt})$. En orange les couples jamais testés, en rouge ceux qui sont moins testés ensembles que si elles étaient indépendantes et en vert ceux qui sont plus testés ensembles que si elles étaient indépendantes.

	Anthropic impact	Biotic environment	Landscape features	Substrate chemistry	Substrate physic	Water regime
Anthropic impact	1,37	0,41	1,37	0,56	0,69	0,77
Biotic environment	0,41	3,70	0,00	2,18	2,31	1,61
Landscape features	1,37	0,00	18,50	0,00	0,00	1,61
Substrate chemistry	0,56	2,18	0,00	2,18	1,50	1,61
Substrate physic	0,69	2,31	0,00	1,50	2,31	1,11
Water regime	0,77	1,61	1,61	1,61	1,11	1,61

(2) **Test de l'indépendance de la sélection de deux familles de variables lorsqu'elles sont testées dans le même modèle**

L'environnement biotique et la physique du substrat ne sont jamais retenus ensembles. Ceci indique que l'effet de l'une de ces deux familles de variables est toujours prédominant sur l'effet de l'autre. Les deux familles étant retenues par les modèles avec la même fréquence, il est impossible de conclure que l'une de ces familles prédomine systématiquement sur l'autre.

La physique du substrat (*Sph*) et la chimie du substrat (*Sch*) ainsi que la physique du substrat et le régime hydrique (*WR*) sont moins souvent retenus ensemble que si leur sélection par le modèle était indépendante. Pour pouvoir interpréter cette relation, il est nécessaire de savoir si l'interaction est symétrique ou si une des variables exclut généralement l'autre lorsqu'elle est retenue par le modèle. Les rapports

$$\frac{P(Sph_r|(Sph_t \cap Sch_r))}{P(Sph_r|Sph_t)} = \frac{P(Sph_r|(Sph_t \cap WR_r))}{P(Sph_r|Sph_t)} = 0,29$$

$$\frac{P(Sch_r|(Sch_t \cap Sph_r))}{P(Sch_r|Sch_t)} = 0,65 \text{ et}$$

$\frac{P(WR_r|(WR_t \cap Sph_r))}{P(WR_r|WR_t)} = 0,61$ indiquent que c'est généralement la chimie du substrat et le régime hydrique qui excluent la physique du substrat du modèle, qui s'avère donc en général moins déterminant pour la végétation prairiale que la chimie du sol et le régime hydrique.

Tableau 6 : Test de l'indépendance de la sélection de chaque couple de familles de variables par un modèle lorsque les deux familles sont testées par le modèle. En orange les couples de familles qui ne sont jamais retenus ensembles, en rouge les couples de familles qui sont moins retenus ensembles que si elles étaient indépendantes et en vert les couples de familles qui sont plus retenus ensembles que si elles étaient indépendantes. Les cellules grisées correspondent aux variables testées dans moins de 10 modèles.

	Anthropic impact	Biotic environment	Landscape features	Substrate chemistry	Substrate physic	Water regime
Anthropic impact	1,17	1,00	1,00	0,93	1,00	0,95
Biotic environment	1,00	2,50	NA	0,94	0,00	1,07
Landscape features	1,00	NA	1,00	NA	NA	1,00
Substrate chemistry	0,93	0,94	NA	1,31	0,69	1,01
Substrate physic	1,00	0,00	NA	0,69	2,29	0,69
Water regime	0,95	1,07	1,00	1,01	0,69	1,21

2.3.2. Analyse des relations entre sous-familles de variables sf1

Le projet portant sur la gestion des niveaux d'eau dans le marais, seules les interactions impliquant des variables caractérisant le régime hydrique sont présentées.

(3) Test de l'indépendance de la prise en compte des différentes familles de variables de régime hydrique

Tableau 7 : Test de l'indépendance de la prise en compte des différentes familles de variables dans un modèle. Rapport $P(A_t \text{ inter } B_t) / P(A_t) * P(B_t)$. En orange les couples de familles qui ne sont jamais testés ensemble, en rouge les couples de familles qui sont moins testés ensemble que si elles étaient indépendantes et en vert les couples de familles qui sont plus testés ensemble que si elles étaient indépendantes. Les cellules grisées correspondent aux variables testés dans moins de 5 modèles.

	Flood intensity	Flood temporality	Flow regime	Soil water regime
Flood intensity	5,29	0,00	3,36	2,18
Flood temporality	0,00	3,36	0,61	1,19
Flow regime	3,36	0,61	3,36	1,58
Soil water regime	2,18	1,19	1,58	2,18
Accident	0,00	3,36	3,36	0,00
Agriculture	0,00	1,21	0,00	0,70
Land use	0,00	3,36	0,00	2,18
Soil chemistry	2,47	1,12	2,47	1,31
Soil physic	3,36	0,92	2,45	1,58
Topography	0,00	0,00	0,00	0,00
Vegetation abundance	3,70	1,01	2,35	1,52
Water chemistry	0,00	1,68	0,00	1,09

La topographie n'est jamais testée dans les mêmes modèles que les sous-familles liées au régime hydrique. Ces deux sous-familles sf_1 de variables sont donc très corrélées dans les jeux de données utilisés dans la littérature. La topographie peut être considérée comme un proxy de la variable environnementale d'effet maximal (le régime hydrique) mais qui n'explique néanmoins pas aussi bien les contrastes de communautés végétales prairiales que les données du régime hydrique elles-mêmes.

Le régime des cours d'eau n'est jamais testé dans les modèles mobilisant des variables caractérisant l'activité agricole ou l'occupation des sols. Probablement car la gestion de l'eau se fait directement sur les cours d'eau et est déterminée par des intérêts liés à l'occupation des sols et à l'agriculture. Le même raisonnement peut expliquer que le régime hydrique du sol et l'activité agricole soient peu testés dans les mêmes modèles.

Le régime des cours d'eau n'est jamais testé non plus dans les mêmes modèles que la chimie de l'eau. Cela s'explique sans doute par le fait que, pour la végétation prairiale, la qualité chimique de l'eau des cours d'eau à proximité a peu d'effet par rapport à l'effet majeur attendu du régime d'inondation lié au régime hydrique.

(4) Test de l'(in)dépendance de la sélection de deux familles de variables lorsqu'elles sont testées dans le même modèle

Tableau 8 : Test de l'indépendance de la sélection de chaque couple de familles de variables par un modèle lorsque les deux familles sont testées par le modèle. En orange les couples de familles qui ne sont jamais retenues ensembles, en rouge les couples de familles qui sont moins retenues ensembles que si elles étaient indépendantes et en vert les couples de familles qui sont plus retenues ensembles que si elles étaient indépendantes. Les cellules en gris correspondent aux couples testés dans moins de 5 modèles.

	Flood intensity	Flood temporality	Flow regime	Soil water regime
Flood intensity	7,00	NA	0,00	2,33
Flood temporality	NA	1,83	1,00	1,00
Flow regime	0,00	1,00	1,83	0,00
Soil water regime	2,33	1,00	0,00	1,55
Accident	NA	2,00	1,00	NA
Agriculture	NA	1,03	NA	0,95
Land use	NA	1,00	NA	1,00
Soil chemistry	1,17	0,83	0,81	1,29
Soil physic	0,00	NA	1,33	0,00
Topography	NA	NA	NA	NA
Vegetation abundance	0,00	0,75	0,00	2,33
Water chemistry	NA	NA	NA	1,50

Le régime des cours d'eau et le régime d'inondation ne sont jamais retenus dans le même modèle. Cela s'explique par le lien beaucoup plus direct et logique entre le régime d'inondation et les communautés végétales de prairies par rapport au lien entre le régime des cours d'eau à proximité et la végétation en prairies.

En effet, les prairies inondables ne sont vraisemblablement pas sous influence directe, et totale, du niveau d'eau du chenal ou du cours d'eau. Le régime hydrique du cours d'eau n'est donc utilisé comme valeur approchant le régime d'inondation de la prairie seulement quand celui-ci n'est pas connu.

Le régime hydrique du sol n'est jamais retenu dans les mêmes modèles que la physique du sol (texture). La texture du sol étant généralement une mesure moins précise que le régime hydrique et affectant ce régime.

Le régime hydrique du sol n'est jamais retenu dans les mêmes modèles que l'abondance de la végétation

II. Les facteurs environnementaux pris en compte pour étudier la biodiversité dans 11 zones du Marais poitevin

1. Méthode

1.1. Protocole d'acquisition des données environnementales

Dans le cadre de ce projet "EPMP", 11 zones d'étude (Figure 5) ont été choisies dans le Marais poitevin pour y décrire plusieurs composants de la biodiversité et un grand nombre de variables environnementales de 2014 à 2019. Chaque zone correspond à une surface de 302 à 365 ha au sein d'une unité de gestion hydraulique, gérée par une ASA (association syndicale). Au sein de cette zone, 10 stations VA (pour végétation aquatique), correspondant à des segments de canaux de 125m et 10 stations VP (pour végétation

prairiale) correspondant à des transects allant d'un point haut à un point bas de 11 à 88m (Figure 6) (Olivier Gore et al. 2018).

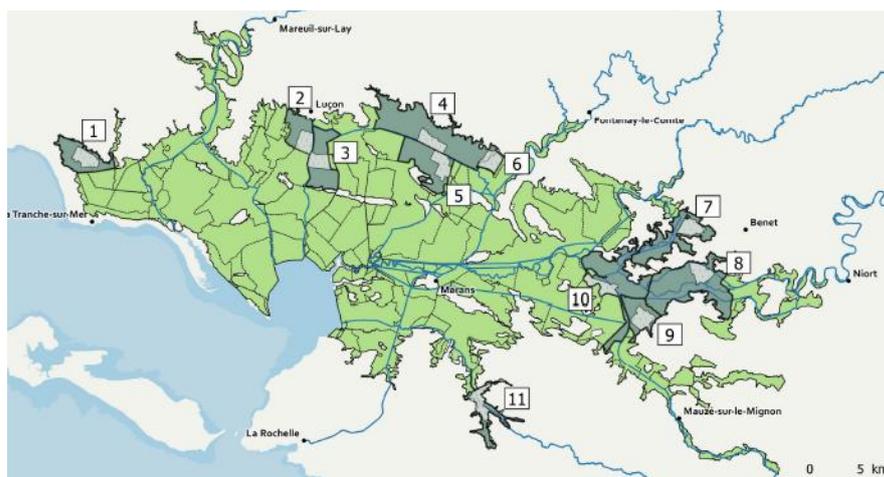


Figure 5 : Localisation des 11 zones d'étude dans le Marais poitevin

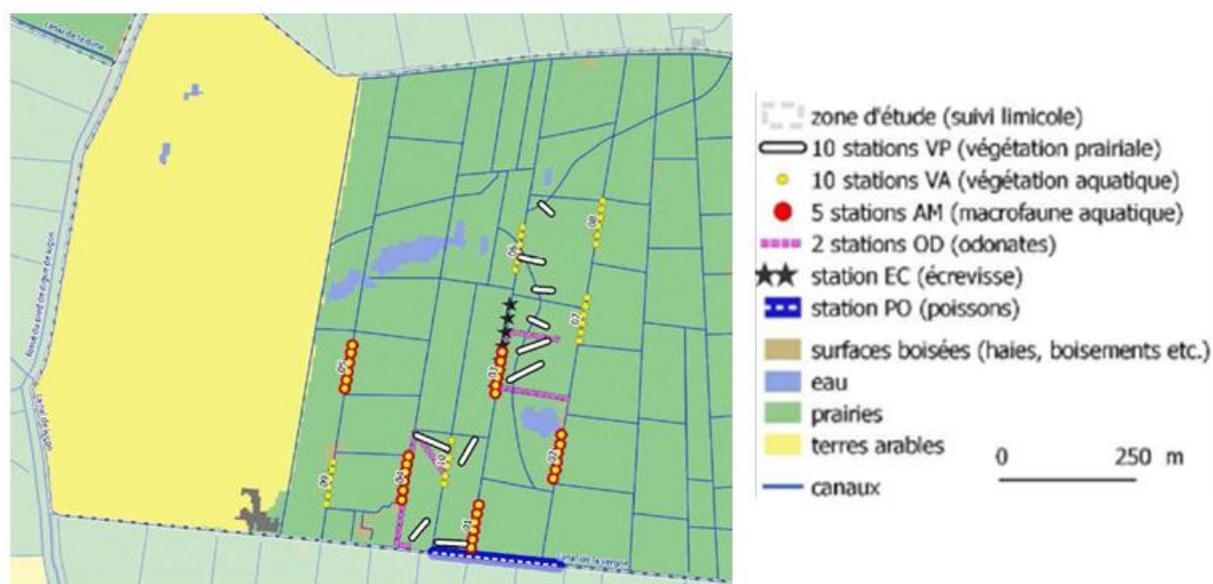


Figure 6 : Localisation des stations au sein d'une zone d'étude, ici la zone 3, Champagné

Les 351 variables environnementales sont composées de

- 62 variables paysagères, calculées sous ArcGIS, à l'échelle des zones d'étude et dans des buffers autour des stations VA.
- 255 variables de régime hydrique, acquises par sondes piézométriques dans le canal principal et dans chaque prairie et puis recalculées au niveau de chaque station VA et de chaque groupement VP (Rapinel et al. 2018)
- 14 variables de physique du substrat, caractérisant l'altitude et altitude relative des différentes stations et groupements VP, ainsi que le sol.
- 14 variables de chimie du substrat, acquises dans le canal principal et à l'échelle de la zone pour le sol.
- 1 variable caractérisant l'abondance d'écrevisses du Louisiane dans le canal principal
- 5 variables caractérisant la gestion agricole sur les prairies.

Tableau 9 : Récapitulatif des types de variables environnementales acquises dans les 11 zones d'étude du Marais poitevin et de leurs échelles spatio-temporelles d'acquisition

		Echelle temporelle	
		Variables constantes dans le temps	Variables mesurées chaque année ou mois
Echelle spatiale	Zone	Variables paysagères à l'échelle zone	Variables quantité et qualité eau canal principal et pluviométrie
	Station d'étude végétation aquatique	Variables paysagères à l'échelle station VA	Variables quantité et qualité eau stations VA
	Station d'étude végétation prairiale	Topographie à l'échelle VP	Quantité eau stations VP

1.2. Relations entre les différentes caractéristiques environnementales décrites au sein des 11 zones considérées dans le Marais poitevin

1.2.1. Etude des relations entre variables environnementales dans le Marais poitevin

L'analyse en composante principales (ACP), sur des données centrées réduites applicables aux groupements VP, permet de mettre en évidence les variables les plus discriminantes, leurs relations de corrélation et les groupes de groupements VP discriminés par ces variables.

1.2.2. Etude de la stabilité des relations entre variables dans le Marais poitevin*

Les relations de corrélation entre variables environnementales peuvent varier entre zones ou entre années, respectivement en fonction de la gestion du casier hydraulique ou des conditions climatiques.

Les variables environnementales dont la relation est stable dans l'espace et dans le temps peuvent être utilisées comme proxy l'une pour l'autre dans les analyses statistiques si leur relation est suffisamment forte et stable.

Pour tester cette stabilité, les distances entre variables sont comparées entre groupes d'observations à l'aide de tests de Mantel. Différents regroupements des observations ont été testés : par zone, par situation géographique (est-ouest), par année, par type de sol, par hiérarchie du canal principal de la zone, et par hiérarchie canal de la station VA.

- Toutes les variables déterminées à une même échelle spatio-temporelles sont rassemblées dans une matrice, qui est ensuite scindée en sous-matrices suivant les groupes considérés. La matrice se présente ainsi :

Tableau 10 : exemple de matrice utilisée pour construire un test de Mantel pour tester un effet zone sur les relations entre variables environnementales

	Zone 1			Zone 2		
	Station VA1	Station VA2	...	Station VA1	Station VA2	...
Var1	a	d				
Var2	b	e				

Var3	c	f				
------	---	---	--	--	--	--

- A partir de cette matrice centrée et réduite pour donner un poids égale à toutes les variables, une matrice des distances euclidiennes entre variables est construite pour chaque groupe (par exemple, pour chaque zone. Elle prend la forme suivante :

Tableau 11 : Exemple de matrice de distance utilisée pour un test de Mantel

Zone 1	Var1	Var2	Var3	...
Var1	0	$\sqrt{ a-b + d-e }$	$\sqrt{ a-c + d-f }$	
Var2		0	$\sqrt{ b-c + f-e }$	
Var3			0	
...				0

Chaque cellule correspond donc à la distance euclidienne entre deux des variables.

- Pour chaque couple de matrices de distance obtenu, les distances entre variables sont comparées par un test de Pearson ($r_0 = \frac{cov_{x,y}}{\sigma_x * \sigma_y}$). On obtient donc le coefficient de corrélation linéaire entre les valeurs des deux matrices, c'est la valeur observée.
- Le test est ensuite répété avec un grand nombre (n) de permutations de l'une des matrices pour obtenir la significativité de la valeur observée qui approche la p-value d'un test statistique par $s = \frac{nb(r > r_0)}{n}$.

Lorsque le test est significatif, une valeur élevée de r_0 indique donc une relation linéaire entre les deux matrices de distance et donc des distances entre variables qui co-varient entre les groupes étudiés.

Si les relations entre variables sont stables i.e. les variables indépendantes ou corrélées entre elles le sont sur l'ensemble des observations, les valeurs du coefficient de Pearson sont proches de 1. Dans le cas contraire, si ces relations sont dépendantes du paramètre de forçage testé (type de sol, zone, gestion...), elles sont proches de 0.

- Pour faciliter l'interprétation des coefficients de Mantel lorsque plus de 3 groupes sont comparés, une matrice de distance et le dendrogramme correspondant sont construits à partir de ces coefficients et les distances entre groupes sont estimées à partir de ces dendrogrammes.

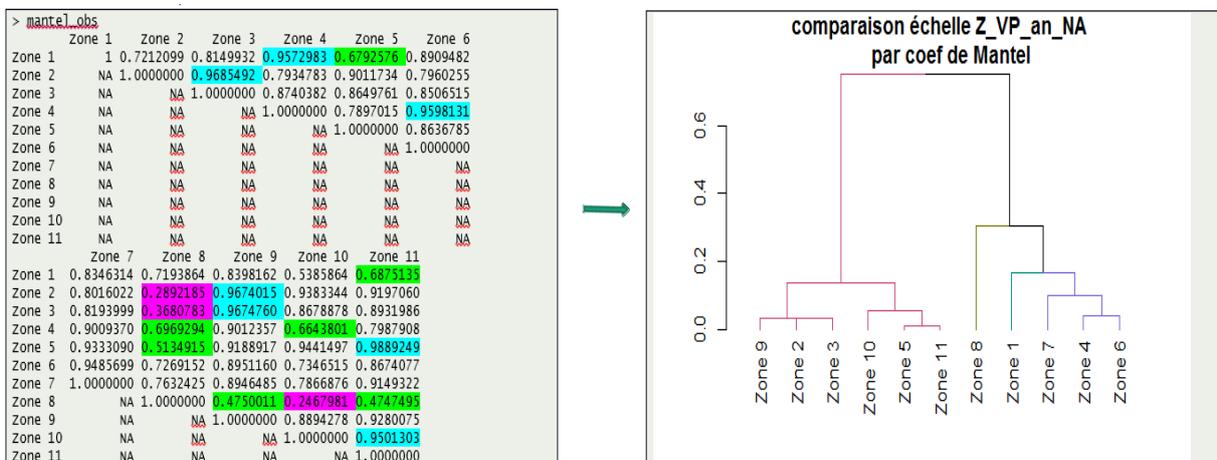


Figure 7 : Transformation des résultats du test de Mantel entre zones en dendrogramme.

2. Résultats

2.1. Variables environnementales disponibles dans l'étude : adéquation avec la littérature

Le jeu de données environnementales acquis lors de cette étude (Olivier Gore et al. 2018) se veut le plus complet possible. Les caractéristiques du marais considérés sont :

- Le régime hydrique, le paysage et la physique du substrat sont bien décrits, la totalité des sous-familles sf2 ayant une ou plusieurs variables correspondantes dans le jeu de données.
- La chimie du substrat est relativement bien décrite, mais il pourrait être judicieux de regarder le phosphore du sol et le pH de l'eau, même si l'effet salinité du sol est à priori prédominant dans le marais, en particulier sur le phosphore connu pour ne pas être limitant dans les marais occidentaux.
- L'impact anthropique n'est représenté que par l'agriculture qui est la principale activité. Les opérations de gestion et entretien des habitats, comme le curage des canaux, est une information difficile à obtenir de façon fiable du fait d'imprécision sur les dates et les portions de canaux concernées.
- L'environnement biotique est décrit dans les canaux par la teneur en chlorophylle et la quantité d'écrevisses. La structure de la végétation apparaissant comme un facteur déterminant dans la littérature, dans les canaux comme dans les prairies, il sera donc important dans les analyses portant sur d'autres groupes taxonomiques de la caractériser à partir des données de végétation prairiale et aquatique.
- Le jeu de données du MP comprend 3 variables non présentes dans la littérature : la superficie de terres artificialisées (zartif), l'évapotranspiration potentielle (etp) et la profondeur de l'horizon organique du sol (horg).

Les variables pour lesquelles les articles de la littérature trouvent un effet majeur sur la biodiversité (présentées dans le Tableau 12) sont globalement bien représentées à l'exception (i) de la structure de la végétation, qui peut être décrite à partir des observations de la végétation prairiale et aquatique et (ii) du phosphore du sol qui pourrait être mesuré.

L'étude prend donc bien en compte toutes les variables incontournables le régime hydrique en particulier, est décrit de façon très fine. Sa spécificité est de les introduire ensembles dans les analyses, dans la mesure du possible (Axe2.1.5).

Tableau 12 : Adéquation entre les variables retenues comme critiques pour la biodiversité dans la littérature, les variables considérées dans cette étude et les variables retenues pour les analyses de la végétation prairiale (VP). Sont présentés les variables testées dans plus de 5 modèles et retenues dans plus de la moitié des modèles testant.

Variables (famille , <i>sf1</i> , <i>sf2</i>)	nb modèles testant	nb modèles retenant	rapport retenu / testé	dans données du marais	dans données VP
anthropic impact	47	32	0,68	oui	non
agriculture	45	30	0,67	oui	non
agricultural management type	20	14	0,7	oui	non
drainage	13	10	0,77	non	non
biotic environment	57	39	0,68	oui	non
predator	6	4	0,67	oui	non
fish	6	3	0,5	non	non
vegetation abundance	48	27	0,56	oui	non
vegetation cover	29	17	0,59	non	non
vegetation productivity	19	10	0,53	non	non
vegetation structure	37	20	0,54	non	non
vegetation height	15	14	0,93	non	non
water regime	70	56	0,8	oui	oui
flood intensity	28	19	0,68	oui	oui
semi-permanent to permanent wetland area	16	11	0,69	non	non
wetland surface	21	17	0,81	oui	non
flood temporality	26	20	0,77	oui	oui
flood duration	21	17	0,81	oui	oui
flow regime	29	18	0,62	oui	non
water level	28	15	0,54	oui	non
soil water regime	17	11	0,65	oui	oui
moisture_s	16	11	0,69	oui	oui
substrate chemistry	40	26	0,65	oui	oui
soil chemistry	15	12	0,8	oui	non
phosphorus_s	14	7	0,5	non	non

2.2. Relations entre les différentes caractéristiques environnementales décrites au sein des 11 zones considérées dans le Marais poitevin

2.2.1. Liens entre variables

L'analyse en composante principale réalisée sur l'ensemble des variables environnementales concernant le niveau d'organisation des groupements végétaux (Figure 8 : Graph des individus de l'ACP sur l'ensemble des variables environnementales applicables aux groupements VP (les groupements sont colorés en fonction de leur zone)) permet d'analyser les relations entre variables environnementales. Les trois premières dimensions expliquant respectivement 21.8, 17.3 et 10.3 % de la variance des 279 variables considérées observée entre groupements VP (Figure 8).

Les dimensions 1 et 3 discriminent les zones entre elles (Figure 8) par

- le niveau d'eau du canal principal (relié à tous les canaux), ses variations et l'altitude de la zone (Dim1) (Figure 9) qui discrimine surtout la zone 11
- la densité de canaux, la présence de peupleraies et l'hétérogénéité du paysage (Dim3) (Figure 9) qui sépare les zones en deux groupes : les zones 1, 2, 3, 4, 5 et 6 et les zones 7, 8, 9, 10 et 11 ce qui correspond à une séparation est-ouest avec à l'ouest de grandes parcelles et des communaux et à l'est des parcelles plus petites, avec un grand linéaire de canaux et des canaux boisés.

La dimension 2 quant à elle, discrimine les groupements au sein des zones (Figure 8) selon leur altitude et le régime hydrique (durées d'inondation) qui y est lié. (Figure 9)

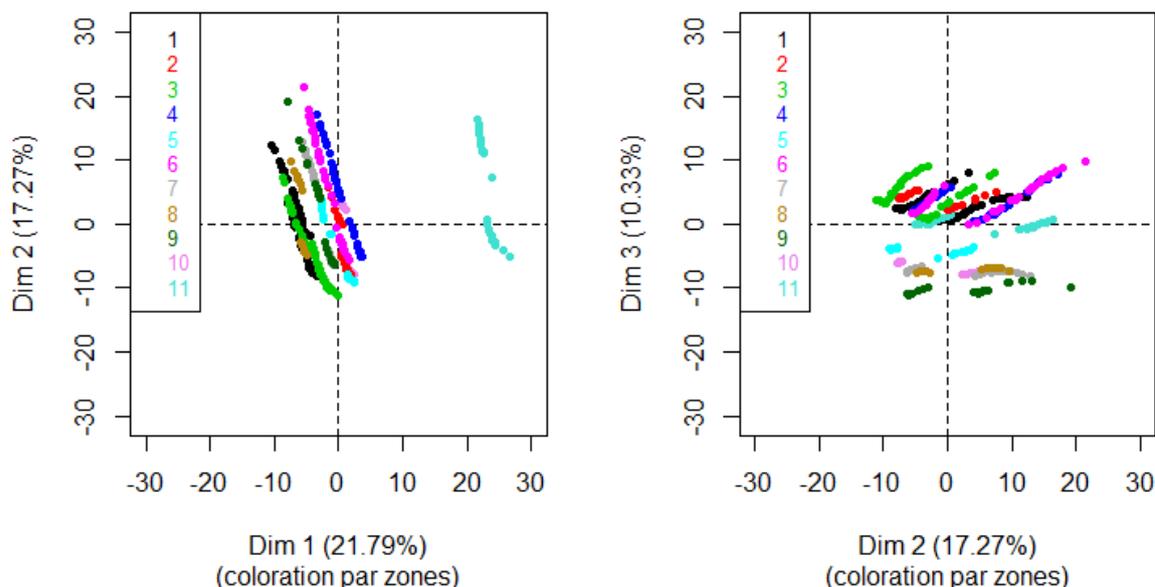


Figure 8 : Graph des individus de l'ACP sur l'ensemble des variables environnementales applicables aux groupements VP (les groupements sont colorés en fonction de leur zone)

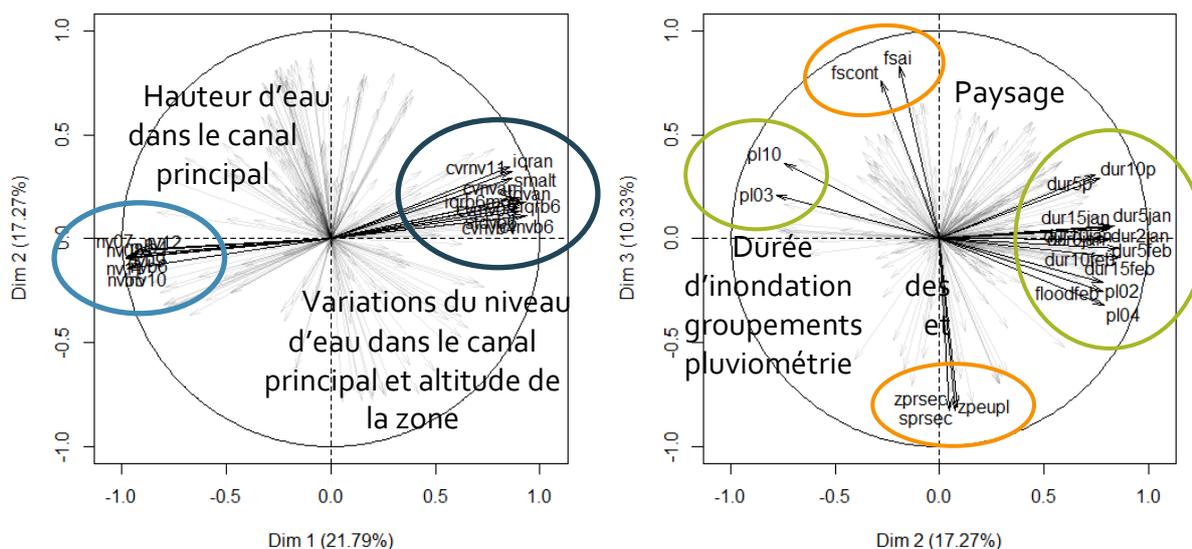


Figure 9 : Graph des variables de l'ACP sur l'ensemble des variables environnementales applicables aux groupements VP (seuls les 20 variables les mieux représentées dans chaque graph sont nommées).

La Figure 9 montre que parmi les variables permettant de discriminer les groupements entre eux, les variables de même « famille » et définies à la même échelle sont généralement très corrélées ou anti corrélées.

Deux grandes familles de variables relatives au régime hydrique, composées de variables non corrélées entre elles, peuvent être distinguées :

- les variables liées au niveau d'eau dans le canal : les hauteurs d'eau mensuelles dans le canal principal (nv) et les indicateurs de leurs variations (cvnv et iqr) correspondant à la dimension 1.
- les variables caractérisées à l'échelle des groupements : durées (dur) et intensité mensuelles d'inondation (flood) et la pluviométrie mensuelle (pl) expliquent les contrastes des conditions environnementales sur la dimension 2 de l'ACP.

Le niveau d'eau du canal principal est donc, contrairement au niveau d'eau dans les prairies, globalement déconnecté de la pluviométrie et très probablement piloté en grande partie par la gestion.

Cette analyse conduit à vouloir garder seulement quelques variables par famille f pour caractériser l'environnement dans les analyses de biodiversité (Axe2.I.5). Cependant, il est nécessaire, lorsque l'on veut représenter une variable par une autre de s'assurer au préalable de la stabilité de leur relation dans le temps et dans l'espace.

2.2.2. Stabilité des liens entre variables

Les tests de Mantel conduits permettent d'étudier la stabilité des liens entre variables environnementales suivant la zone, l'appartenance au groupe est ou ouest, l'année, le type de sol, la gestion agricole, la présence d'équins, la hiérarchie du canal principal de la zone, et la hiérarchie canal de la station VA.

Les seules variations observées dans les relations entre variables interviennent entre zones (Annexe 7) avec :

- la zone 5 qui se démarque des autres pour les relations entre variables de régime hydrique, qualité de l'eau du canal principal et pluviométrie. Ceci est probablement dû à l'utilisation de glyphosate en bordure de certaines parcelles qui affecterait la qualité de l'eau indépendamment des autres variables.
- les zones 6 et 11 qui se démarquent pour les relations entre variables décrivant le paysage, à l'échelle des stations VA. Ces zones ont la particularité d'être des communaux, la proportion de prairie autour des stations VP étant donc particulièrement élevée, indépendamment du paysage autour de ces zones.
- les relations entre les différentes variables de régime hydrique sont dépendantes de la zone. Ces variations sont probablement dues à la gestion des parcelles (bâtards d'eau vs drains) et à la topographie.

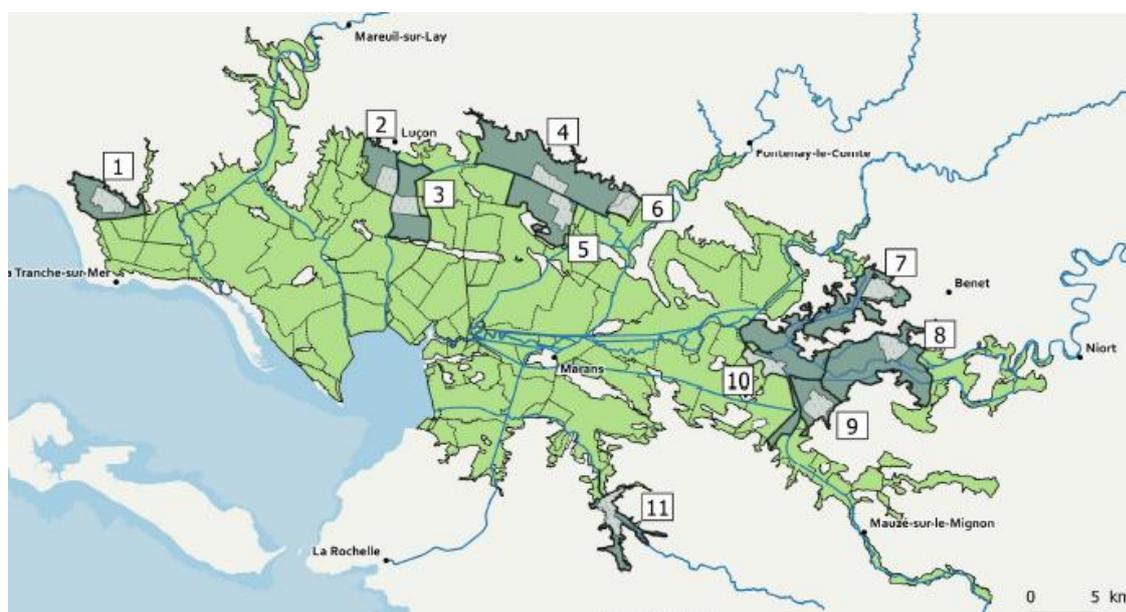
Ces variations sont à prendre en compte dans le cadre de l'étude sur les réponses de la biodiversité à la gestion du régime hydrique. En particulier, il faudra prendre soin lors de la sélection des variables caractérisant le régime hydrique des prairies à intégrer aux modèles à ne pas écarter des variables moyennement corrélées à celles retenues car elles sont susceptibles d'être fortement corrélées aux variables retenues sur certaines zones mais indépendantes d'elles sur d'autres.

AXE 2 : EFFETS DU REGIME HYDRIQUE SUR LA VEGETATION PRAIRIALE DU MARAIS POITEVIN

I. Méthode

1. Protocole d'acquisition des données végétation prairiale (VP)

Dans le cadre de ce projet "EPMP", 11 zones d'étude (Figure 10) ont été choisies pour y décrire plusieurs composants de la biodiversité du Marais poitevin de 2014 à 2019. Chaque zone correspond à une surface de 302 à 365 ha au sein d'une unité de gestion hydraulique, gérée par une ASA (association syndicale). Ces prairies humides sont très majoritairement gérées par pâturage. Au sein de chaque zone, 10 stations d'études (en général dans 10 parcelles différentes sauf dans le cas des marais communaux) correspondant à 10 transects ont été tracés dans le sens de la pente de façon à relier un point bas (baisse) et un point haut (belle). La longueur des transects varie entre 11 à 88 mètres. Au sein de ces transects, les botanistes chargés de réaliser les relevés de terrain ont déterminés des segments de transect correspondant chacun à un groupement homogène. Au sein de chaque groupement homogène, 20 quadrats de 25cm de côté ont été choisis de part et d'autre du transect, de façon aléatoire. Sur chaque quadrats, toutes les espèces végétales présentes sont notées. La fréquence de chaque espèce dans un groupement est définie comme le nombre de quadrats dans lesquels elle a été trouvée sur les 20 quadrats réalisés.



Source : Atlas du Marais poitevin

Figure 10 : Localisation des zones d'étude dans le Marais poitevin

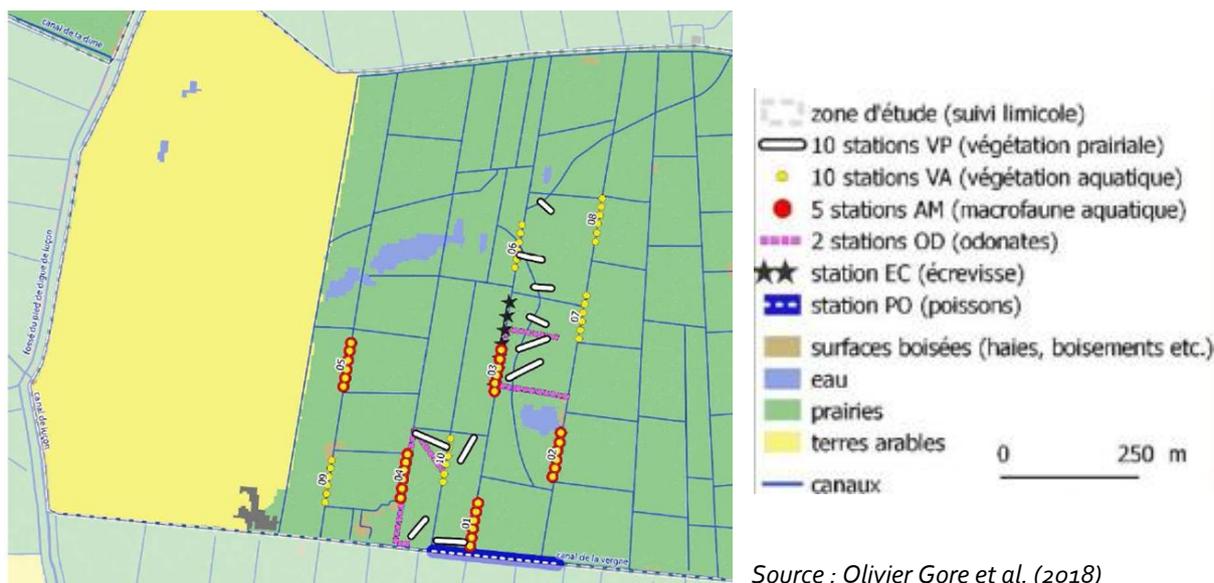


Figure 11 : Localisation des stations de suivi au sein d'une zone (ici la zone 3 : Champagné-les-Marais)

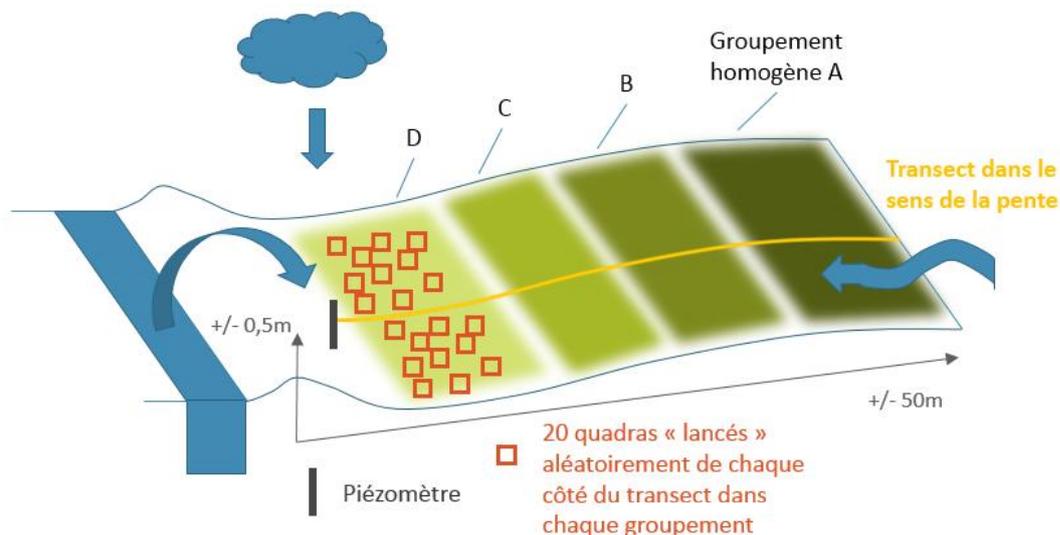


Figure 12 : Stratégie d'échantillonnage de la végétation prairiale dans chaque station de suivi

2. Indicateurs de structure de la communauté végétation prairiale

La communauté végétale de chaque groupement est caractérisée par différents indicateurs :

- Sa composition spécifique : l'ACP réalisée sur la composition spécifique des groupements (Figure 13) montre que les deux premières dimensions expliquent 30,53% de la variation totale. Cette ACP est réalisée en utilisant les fréquences brutes et non centrées-réduites afin de ne pas donner plus de poids aux espèces rares. Ce sont les coordonnées des groupements sur ces deux axes (Dim.1 et Dim.2) qui seront analysées dans les modèles statistiques.

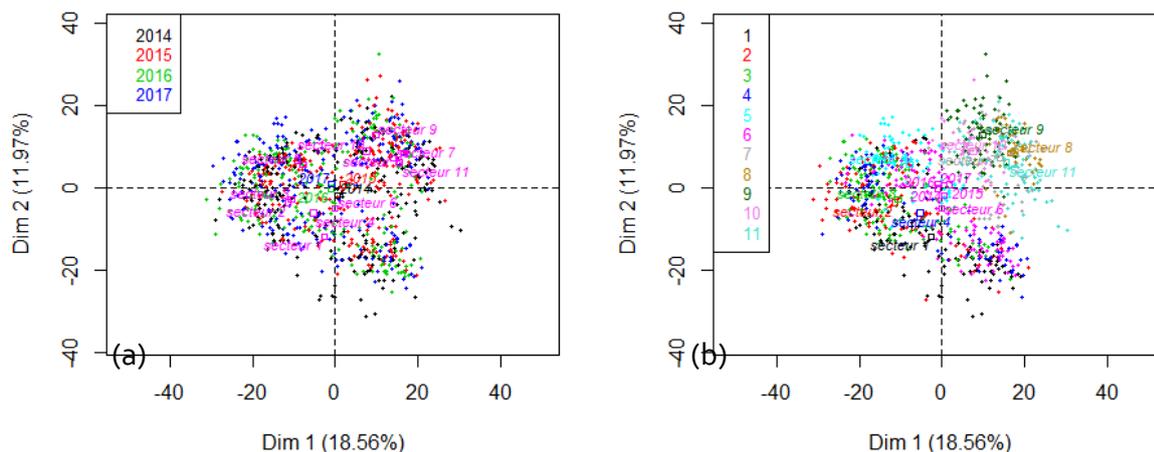


Figure 13 : Graph des individus de l'ACP sur la composition spécifique des groupements VP (a) coloré par année et (b) coloré par zone

- Sa richesse spécifique ($rich.sp$), qui peut être considérée à 3 niveaux d'organisation correspondant à 3 échelles spatiales différentes : le marais dans son ensemble (ie les 11 zones), les stations qui sont des répétitions au sein de la zone et les groupements de végétation homogènes le long de chaque transect.
- L'équitabilité de la répartition des espèces présentes est par l'exponentiel de l'indice de Shannon ($exp.shan$), sensible aux variations des espèces rares et par l'inverse de l'indice de Simpson ($inv.simp$), plus sensible aux variations des espèces dominantes (Washington 1984).
- Le caractère hygrophile de la végétation est approché par l'indice F d'Ellenberg (Hill et al. 1999, 2000) construit comme la moyenne des indices des espèces présentes pondérée par leur abondance (Figure 15 et Figure 14).

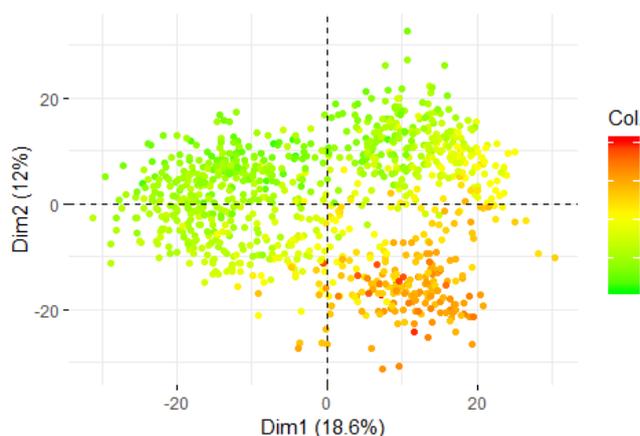


Figure 14 : Graph des individus de l'ACP sur la composition spécifique des groupements VP coloré par l'indice F d'Ellenberg des groupements.

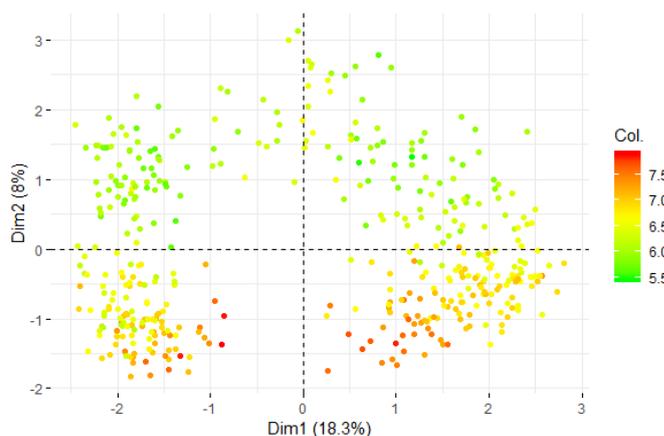


Figure 15 : Graph des individus de l'ACP sur la composition spécifique des stations VP coloré par l'indice F d'Ellenberg des stations.

Cette étude se concentre sur la structure de la communauté, mais d'autres indices pourraient être pris en compte : le nombre ou le pourcentage d'espèces patrimoniales, le nombre ou pourcentage d'espèces exotiques envahissantes ou des indicateurs de qualité fourragère par exemples.

Un test utilisant les fonctions `gofstat` et `fitdist` du package `Fitdistplus` permet de déterminer les lois suivies par ces indicateurs et donc les transformations à réaliser lors des modèles linéaires généralisés (GLM).

3. Protocole d'acquisition des variables environnementales

Dans le cadre de ce projet, 351 variables ont été considérées, dont 194 sont acquises ou peuvent être déclinés à l'échelle des stations et des groupements VP. (Axe1.II.1.1)

4. Analyses statistiques réalisées pour expliquer les caractéristiques de la végétation par les variables environnementales

Afin d'identifier les facteurs impactant la végétation prairiale et leur importance respective dans la détermination de la composition et des caractéristiques des communautés végétales, 3 analyses ont été combinées.

Cette approche se base sur le fait que la VP comme les variables environnementales sont acquises à deux échelles majeures : (i) à l'échelle du paysage, déterminant le pool d'espèces capables de s'implanter et « disponibles » et (ii) à l'échelle locale, le régime hydrique et les interactions biotiques déterminent la communauté effective. On peut faire l'hypothèse que ces deux échelles d'acquisition des données correspondent aussi à deux échelles de filtre environnemental sur la communauté.

D'après les résultats des tests de Mantel présentés dans l'Axe2.II.2.2.2, le comportement des variables de régime hydrique est fortement dépendent de la zone. Il est donc judicieux d'éliminer toute la variance liée à la zone avant de s'intéresser à l'effet du régime hydrique sur la variance résiduelle.

- La salinité du sol un élément déterminant dans la composition spécifique des groupements (Tournade et Bouzillé 1995) et étant indépendant de la gestion du régime hydrique (Amiaud et al. 1998), c'est le premier facteur dont l'effet sur les communautés végétales est considéré. Pour chaque indicateur de la structure de la communauté végétale choisi (I.2) on considère un modèle linéaire généralisé (GLM) considérant comme variables explicative la moyenne pondérée de l'indice S d'Ellenberg (Hill et al. 1999, 2000) qui approche la salinité du sol est appliqué à chaque caractéristique de la végétation. La fonction de lien utilisée dépend de la loi probabiliste dont la fonction de répartition s'adaptant le mieux à la distribution de la variable (Tableau 13 : Tableau récapitulatif des fonctions de lien appliquées à chaque caractéristique de la communauté végétale dans les GLM). Les résidus de ces GLM sont extraits et sont considérés comme représentant la part des variations de ces caractéristiques non soumise à la salinité du sol.

Tableau 13 : Tableau récapitulatif des fonctions de lien appliquées à chaque caractéristique de la communauté végétale dans les GLM

Caractéristique de la communauté végétale	Richesse totale	exponentiel de l'indice de Shannon	inverse de Simpson	indice F d'Ellenberg	PC1 (18,56%)	PC2 (11,97%)
Loi de probabilité	Gamma	Gamma	Gamma	Gaussienne inversée	Gaussienne	Gaussienne
Fonction de lien associée	inverse	inverse	inverse	$1/\mu^2$	identité	identité

- Une régression linéaire, prenant en compte les variables décrites à l'échelle de la zone, i.e. les variables caractérisant le paysage et le sol, est appliquée aux résidus de chaque variable caractérisant la communauté végétale. Les résidus de ces GLM sont

extraits est sont considérés comme représentant la part des variations de ces caractéristiques n'étant soumises ni aux caractéristiques du sol, ni au paysage.

- Une régression linéaire, prenant en compte les variables décrites à l'échelle de la zone, i.e. les variables caractérisant le paysage et le sol, est appliquée aux résidus de chaque variable caractérisant la communauté végétale. Du fait du nombre important de variables sélectionnées (Axe2.1.5) par rapport au nombre d'observations, une procédure de dreading-averaging a été appliqué à ce modèle (Burnham, Anderson, et Burnham 2002). Cette procédure consiste à tester tous les modèles possibles de 1 à 3 variables parmi les variables du modèle total**. Les meilleurs modèles, i.e. ceux dont le delta d'AIC (Akaike's information criterion) avec le modèle ayant le plus faible AIC est inférieur à 10 (Burnham, Anderson, et Burnham 2002; Zuur, Ieno, et Elphick 2010). Si plusieurs modèles sont ainsi retenus, les coefficients attribués aux variables explicatives sont moyennés, ce qui permet d'identifier les variables ayant un effet constant sur le paramètre observé quelles que soient les autres variables incluses dans le modèle.

Deux façon d'exprimer les données de régime hydrique ont été considérées:

- un jeux de données relatives au régime hydrique via les niveaux d'eau dans les piézomètres de chacune des zones qui permet de déduire, via l'altitude de chaque groupement, la durée d'inondation et les variations de niveau d'eau au niveau du groupement
- un jeu de données construit pour correspondre aux données de régime hydrique repères utilisées par l'EPMP pour caractériser la gestion de l'eau dans le marais.

Les résultats de ces régressions nous apprennent quelle part de la variance des caractéristiques des communautés végétales est expliquée et ne peut être expliquée que par le régime hydrique dans les prairies humides du Marais poitevin.

Cette approche est menée à deux échelles, celle des groupements VP qui sont des communautés homogènes et celle des stations VP qui contiennent plusieurs groupements et sont construits pour être représentatifs de la gamme de variation présente dans chaque secteur.

5. Sélection des variables environnementales prises en compte dans les analyses

La méthode proposée ici est destinée aux études où les variables "explicatives candidates" sont très nombreuses et potentiellement redondantes. Elle permet de sélectionner une liste de variables telle que :

- l'ensemble du spectre des caractérisations environnementales disponibles est couvert.
- les variables non retenues peuvent être rattachées de façon fiable aux variables retenues, leur potentiel explicatif étant donc disponible pour l'interprétation.
- les variables retenues ne sont pas fortement corrélées, ou pas de façon stable dans l'espace et dans le temps.

** Pour stabiliser les variables retenues et les coefficients qui leurs sont associés, il faudrait aussi tester les modèles incluant 4 et 5 variables, mais le temps nécessaire à cette analyse ne permettait pas de la réaliser durant le stage. Il sera cependant intéressant de vérifier la stabilité des résultats pour confirmer les résultats trouvés.

Etape 1 : Sélection des variables S1 ayant un effet potentiel sur la communauté étudiée, ici la végétation prairiale. (Annexe 6)

Exemple : sélection sur l'ensemble des variables applicables aux stations VP

A l'issue de l'étape 1, on obtient 69 variables qui discriminent les groupements en fonction de la pluviométrie, fortement liée à l'année et de la durée d'inondation, fortement liée à l'altitude. (Figure 16) Cette répartition ne permet cependant pas d'expliquer (au moins pour les deux premiers axes) la singularité des zones 7, 8, 9, 10 et 11 observée dans l'ACP sur la composition de la communauté végétale (Figure 13). Ces zones se démarquant par la faible salinité de leur nappe superficielle, la salinité est probablement le seul élément les distinguant et n'est pas représentée dans les 20 variables les mieux représentées par les dimensions 1 et 2, mais devra être pris en compte dans les modèles.

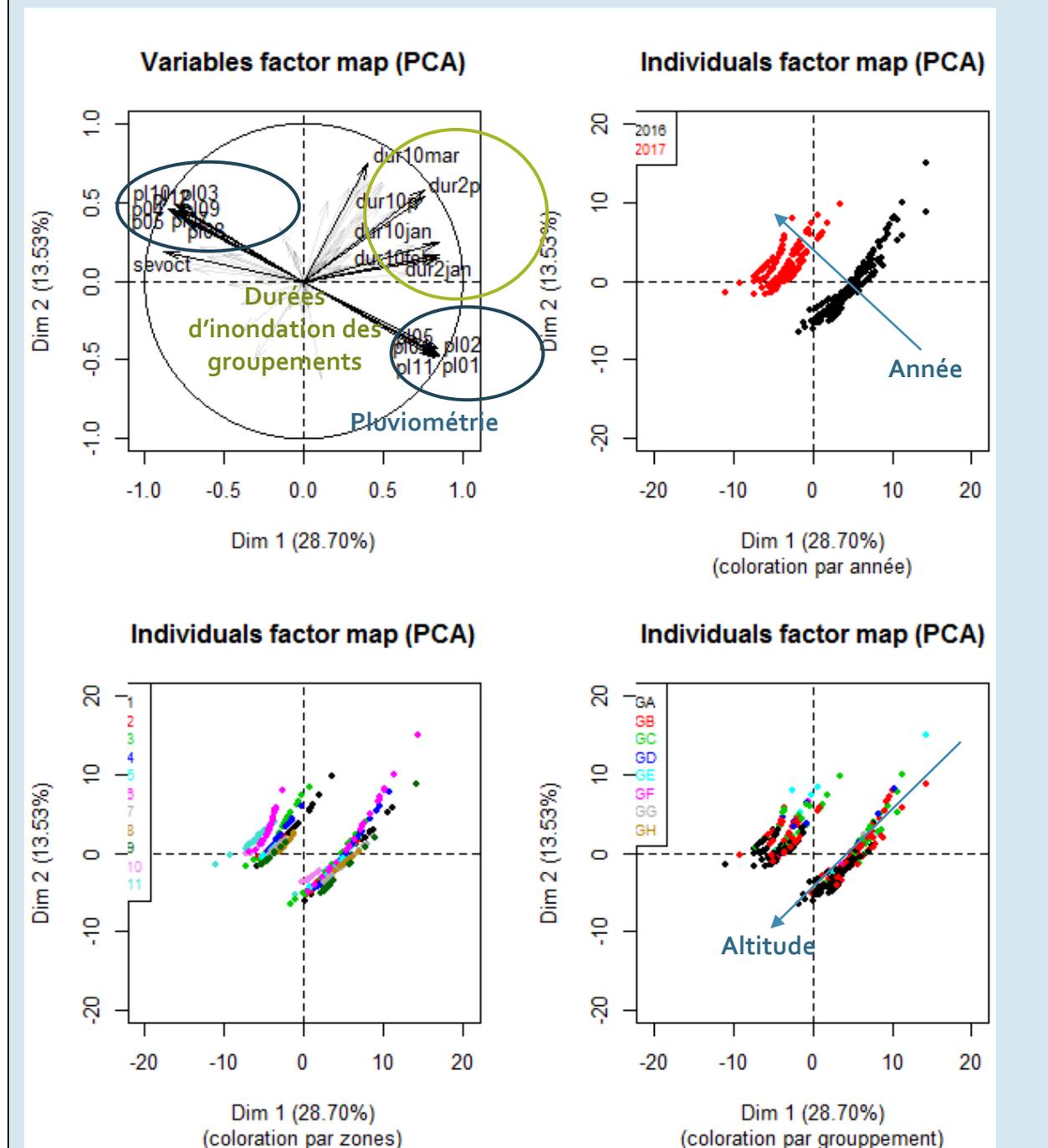
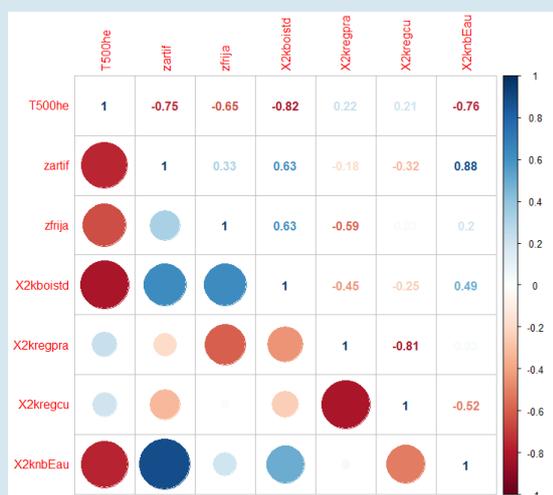


Figure 16 : Graph des variables et graph des individus de l'ACP sur les variables issues de la première sélection

Etape 2 : Regroupement des variables de même famille ou sous-famille (Annexe 5) et sélection au sein de chaque familles de la variable (S2) qui a le plus sens d'un point de vue biologique, pour chaque groupe de variables corrélées avec un seuil de $R < 0,7$.

Exemple : sélection sur l'ensemble des variables applicables aux stations VP



2 groupes sont identifiables :

- T500he, zartif, 2kboistd et 2knbEau
- 2kregcu et 2hregpra

Reste zfrija

Seules 2kboistd, 2kregpra et zfrija sont gardés dans la sélection S2 car elles sont celles représentant le mieux les variations de paysage dans le Marais poitevin.

Figure 5 : Matrice de corrélation des variables paysagères

Etape 3 : Application de la procédure VIF à chaque famille de variables. Cette procédure est réalisée à l'aide des fonctions vifstep et vifcor du package usdm. Les variables ayant un VIF (variation inflation factor, caractérisant la corrélation de la variable à l'ensemble des autres variables) supérieur à 10 puis les variables ayant un coefficient de corrélation supérieur à 0,7 (Dormann et al. 2013) sont progressivement retirées de la liste, pour ne laisser que des variables non fortement corrélées entre elles (S3).

Etape 4 : Application de la procédure VIF à l'ensemble des variables S3. On obtient les variables S4.

Afin de ne pas perdre la trace des variables exclues dans l'interprétation, une liste des variables fortement corrélées positivement ($R > 0,7$) et négativement ($R < -0,7$) est construite pour chaque variable inclut dans les modèles.

II. Résultats

1. Résultats des sélections de variables

Sur les 194 variables applicables aux groupements et stations VP, 29 variables de régime hydrique et 7 variables autres ont été retenues dans deux procédures de sélection indépendantes Tableau 14 et Tableau 15. La majorité des variables écartées le sont lors des deux premières étapes, et aucune ne l'est lors de la dernière étape, ce qui indique que les familles de variables considérées ne sont pas fortement corrélées les unes des autres dans le Marais poitevin.

Tableau 14 : Tableau récapitulatif de la composition des variables environnementales aux différentes étapes de la sélection sur l'ensemble des variables applicables aux groupements VP.

Famille	Régime hydrique						Nombre total de variables sélectionnées
	<i>etp</i>	<i>pluviométrie</i>	<i>durée d'inondation</i>	<i>sécheresse</i>	<i>intensité d'inondation</i>	<i>variations du niveau d'eau</i>	
S1	3	12	26	12	12	12	75
S2	3	7	10	7	9	11	47
S3	0	1	8	4	6	10	29
S4	0	1	8	4	6	10	29

Tableau 15 : Tableau récapitulatif de la composition des variables autres que le régime hydrique aux différentes étapes de la sélection sur l'ensemble des variables applicables aux groupements VP.

Famille	<i>Paysage</i>	<i>Chimie du substrat</i>	<i>Physique du substrat</i>	Nombre total de variables sélectionnées
S1	6	1	4	11
S2	4	1	3	8
S3	3	1	3	7
S4	3	1	3	7

La liste des variables retenues et de leurs définitions est présentée dans le Tableau 16.

Tableau 16 : Liste des variables retenues lors des procédures de sélection pour intégrer les analyses

Variables S4	Sous-famille2	Sous-famille1	Famille	Echelle spatiale	definition
zfrija	woody vegetation	land use	landscape features	zone	% friches et jachères sur la zone
2kboistd	woody vegetation	land use	landscape features	zone	% surface boisée dans un buffer de 2km autour du centre de la zone
2kregpra	grassland	land use	landscape features	zone	% habitat agricole source RPG 2016 prairie dans un buffer de 2km autour du centre de la zone
horg	soil depth	soil physic	substrate physic	zone	épaisseur de l'horizon organique
altgr	altitude	topography	substrate physic	grpt	altitude NGF du groupement
altgrz	altitude	topography	substrate physic	grpt	altitude du groupement - altitude du groupement le plus bas de la zone
pl06	rainfall	rainfall	water regime	zone	pluviométrie mensuelle (cumul des précipitations)
dur2jul	flood duration	flood temporality	water regime	grpt	durée en jours avec plus de 2 cm d'eau de surface (inondation réelle) pendant le mois concerné.
dur2aug	flood duration	flood temporality	water regime	grpt	
dur2oct	flood duration	flood temporality	water regime	grpt	
dur2nov	flood duration	flood temporality	water regime	grpt	
dur2dec	flood duration	flood temporality	water regime	grpt	
dur2feb	flood duration	flood temporality	water regime	grpt	
dur2mar	flood duration	flood temporality	water regime	grpt	
dur2may	flood duration	flood temporality	water regime	grpt	
sevaug	moisture_s	soil water regime	water regime	grpt	
sevfeb	moisture_s	soil water regime	water regime	grpt	
sevapr	moisture_s	soil water regime	water regime	grpt	
sevmay	moisture_s	soil water regime	water regime	grpt	
floodjul	flood depth	flood intensity	water regime	grpt	somme mensuelle 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	flood depth	flood intensity	water regime	grpt	
floodoct	flood depth	flood intensity	water regime	grpt	
flooddec	flood depth	flood intensity	water regime	grpt	
floodmar	flood depth	flood intensity	water regime	grpt	
floodapr	flood depth	flood intensity	water regime	grpt	
cvpjan	water level variations	flow regime	water regime	st VP	coefficients de variation mensuels du niveau d'eau dans le piezomètre prairie de la zone
cvpfev	water level variations	flow regime	water regime	st VP	
cvpmar	water level variations	flow regime	water regime	st VP	
cvpapr	water level variations	flow regime	water regime	st VP	
avpmay	water level variations	flow regime	water regime	st VP	
cvpjun	water level variations	flow regime	water regime	st VP	
cvpsep	water level variations	flow regime	water regime	st VP	
cvpoct	water level variations	flow regime	water regime	st VP	
cvpnov	water level variations	flow regime	water regime	st VP	
cvpdec	water level variations	flow regime	water regime	st VP	

2. Analyse des données de végétation des groupements VP par les variables environnementales

1.1. Effets des variables environnementales hors régime hydrique

- L'effet de la salinité du sol explique une grande partie (respectivement 36 et 25%) des dimensions 1 et 2 de l'ACP sur la composition spécifique des groupements VP (Figure 17). C'est donc une caractéristique environnementale qui discrimine particulièrement la composition spécifique de la végétation. Son effet est cependant faible sur la diversité de la communauté et nul sur son hygrophylie (Tableau 17).

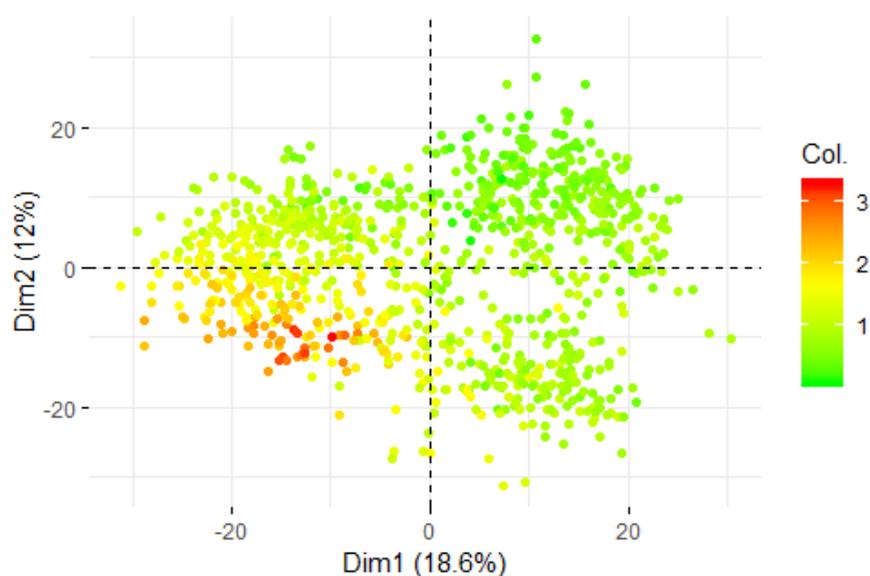


Figure 17 : Graph des individus de l'ACP sur la composition spécifique des groupements VP coloré par l'indice S d'Ellenberg des groupements

Tableau 17 : Tableau récapitulatif de l'effet de la salinité du sol estimée par l'indice S d'Ellenberg sur les caractéristiques des communautés des groupements VP.

Variables VP	S.ell	R ² estimé
rich.spe	(+)	0,08
F.ell	(+)	E-05
Dim.1	-	0,36
Dim.2	-	0,25
exp.shan	(+)	0,08
inv.simp	(+)	0,07

- L'effet des variables sélectionnées à l'échelle paysage sur la composition de communauté végétale est faible. On remarque que la superficie de prairies (2kregpra) et de friches (frija) a un effet positif sur les indices de diversité des communautés. Cela peut être dû, en particulier pour la superficie en jachère, à la disponibilité en graines, cet effet reste cependant faible ($0,03 < R^2 < 0,07$). A

l'inverse, l'épaisseur de sol organique (horg), ici de la tourbe, a un effet négatif sur cette diversité. Cela peut être dû au lien entre l'épaisseur de tourbe et la position dans le marais (est-ouest) ou à l'acidité des sols tourbeux qui agit comme un filtre supplémentaire sur les espèces susceptibles de s'établir. Aucune variable paysagère n'a d'impact sur l'hygrophyllie de la communauté.

Tableau 18 : Tableau récapitulatif de l'effet des variables paysagères et de l'épaisseur de l'horizon organique sur les caractéristiques des communautés des groupements VP.

Variables VP	zfrija	2kboistd	2kregpra	horg	R ² estimé
rich.spe	+		+	-	0,07
F.ell		(-)			0,01
Dim.1	-	+	-	+	0,11
Dim.2	+			+	0,12
exp.shan	+		+	-	0,04
inv.simp	+		+	-	0,03

1.2. Effets du régime hydrique sur la variance restante

Les variables retenues sont des variables de durée d'inondation (dur), d'intensité d'inondation (flood) et de stress hydrique (sev), les variations du niveau d'eau n'étant jamais retenues. La période mars, avril, mai semble être particulièrement importante dans la composition de la communauté. Cette période, correspondant à la levée des graines et à la reprise de l'activité végétative en puisant dans les réserves accumulées lors de la saison précédente est effet déterminante dans le cycle des végétaux.

L'hygrophyllie des groupements est expliquée à 57% par un effet positif de la durée(dur) et l'intensité d'inondation (flood) du mois de mars et un effet négatif du stress hydrique (sev) au mois d'août.

Les indices de diversité subissent un effet négatif de la durée (dur) et de l'intensité (flood) d'inondation d'hiver et de printemps, un niveau d'eau élevé durant de longues périodes étant un filtre pour les espèces dont les graines, les jeunes stades ou la forme hivernal ne supporte pas d'être immergée.

Tableau 19 : Tableau récapitulatif de l'effet des variables paysagères et de l'épaisseur de l'horizon organique sur les caractéristiques des communautés des groupements VP.

Résultats dreaging-averaging (delta AIC <=10)	Richesse totale (gamma)	exponentiel de l'indice de Shannon (gamma)	inverse de Simpson (gamma)	indice F d'Ellenberg (inv.gaussian)	PC1 (18,56%) (gaussian)	PC2 (11,97%) (gaussian)
R² estimé du meilleur modèle	0,18	0,18	0,18	0,58	0,48	0,50
% de la variance initiale correspondant	0,15	0,16	0,16	0,57	0,27	0,33
nombre de modèles retenus (n<=50)	526	448	382	12	12	8

Variables retenues par les meilleurs modèles	Sens de l'effet sur la variable biotique					
dur2nov	-	-	-			
dur2dec	-	-	-			
dur2feb	-	-	-			
dur2mar				+	+	-
dur2may	-	-			+	-
sevaug	+			-	-	
sevapr		-	-		+	
sevmay	-	-	-			
floodfeb	-					
floodmar	-	-	-	+		-
floodapr	-	-	-		+	

2. Analyse des données de végétation des groupements VP par les variables environnementales

2.1. Effets des variables environnementales hors régime hydrique

- L'effet de la salinité du sol explique 63% de la première dimension de l'ACP sur la composition spécifique. Cette relation est observable sur la Figure 18. La salinité est donc un aussi très déterminante pour la composition spécifique à l'échelle des groupements, mais son effet est faible et négatif sur les autres caractéristiques des communautés (Tableau 20). Les communautés halophiles sont donc moins diversifiées, même à l'échelle des stations, malgré les fortes variations de la salinité le long du transect (Tournade et Bouzillé 1995).

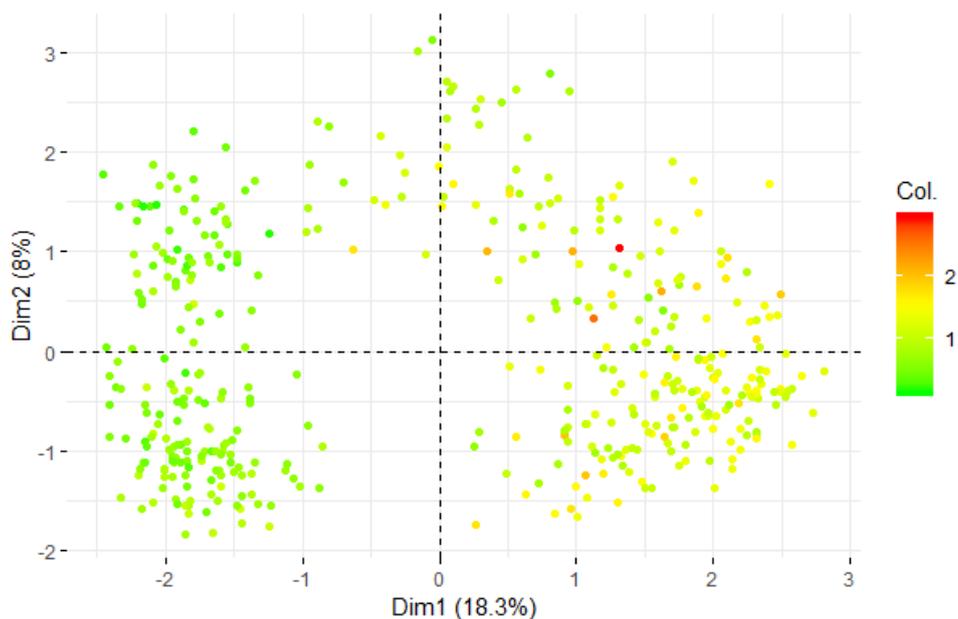


Figure 18 : Graph des individus de l'ACP sur la composition spécifique des groupements VP coloré par l'indice S d'Ellenberg des groupements

Tableau 20 : Tableau récapitulatif de l'effet de la salinité du sol estimée par l'indice S d'Ellenberg sur les caractéristiques des communautés des stations VP.

Variables VP	S.ell	R ²
rich.spe	(-)	0,09
F.ell	(-)	0,07
Dim.1	+	0,63
Dim.2	(-)	E-03
exp.shan	(-)	0,06
inv.simp	(-)	0,04

- L'effet des variables sélectionnées à l'échelle paysage sur la composition de communauté végétale est plus importante à l'échelle des stations que des groupements, mais on retrouve globalement les mêmes relations. La superficie de friches (frija) a un effet positif sur les indices de diversité des communautés, agissant probablement comme un réservoir d'espèces. Les variations d'altitude ont aussi un effet positif sur la diversité, dû en grande partie à la séquence de groupements (diversité beta) qui s'installe en présence de baisses (Tournade et Bouzillé 1995). A l'inverse, l'épaisseur de sol organique (horg), ici de la tourbe, a un effet négatif sur cette diversité, probablement du fait de l'acidité des sols tourbeux qui agit comme un filtre supplémentaire sur les espèces susceptibles de s'établir. L'effet de ces variables sur l'hygrophyllie moyenne des communautés reste très faible.

Tableau 21 : Tableau récapitulatif de l'effet des variables paysagères et de l'épaisseur de l'horizon organique sur les caractéristiques des communautés des stations VP.

Variables VP	zfrija	2kboistd	2kregpra	horg	delta_alt	R ² estimé
rich.spe	+			-	+	0,38
F.ell	-			+		0,04
Dim.1			+	-	+	0,24
Dim.2	+			-		0,22
exp.shan	+			-	+	0,22
inv.simp	+				+	0,16

2.2. Effets du régime hydrique sur la variance restante

Les variables retenues sont des variables de durée d'inondation (dur), d'intensité d'inondation (flood) et de stress hydrique (sev), les variations du niveau d'eau n'étant jamais retenues. Comme à l'échelle des groupements, la période mars, avril, mai semble être particulièrement importante dans la composition de la communauté.

L'hygrophyllie des groupements est expliquée à 39% par un effet positif de la durée (dur) et l'intensité d'inondation (flood) du mois de mars et un effet négatif du stress hydrique (sev) au mois d'août.

Les indices de diversité subissent un effet négatif de la durée (dur) et de l'intensité (flood) d'inondation d'hiver et de printemps, un niveau d'eau élevé durant de longues

périodes étant un filtre pour les espèces dont les graines, les jeunes stades ou la forme hivernal ne supporte pas d'être immergée.

Tableau 22 : Tableau récapitulatif des effets des variables de régime hydrique retenues comme significatives sur les caractéristiques de la végétation des stations VP.

Résultats dreaging-averaging (delta AIC <=10)	Richesse totale (gamma)	exponentiel de l'indice de Shannon (gamma)	inverse de Simpson (gamma)	indice F d'Ellenberg (inv.gaussian)	PC1 (18,3%) (gaussian)	PC2 (8,0%) (gaussian)
R² du meilleur modèle	0,08	0,11	0,14	0,44	0,15	0,32
part de la variance initiale correspondante	0,05	0,08	0,11	0,39	0,04	0,25
nombre de modèles retenus (n<=50)	551	112	100	71	45	26
Variables retenues par les meilleurs modèles (delta AIC<50)	Sens de l'effet sur la variable biotique					
dur2oct		-	-	+		
dur2jul			-			
dur2feb	+	+	+			
dur2mar				+	-	+
dur2may						+
sevfeb	-					
sevapr	-					
sevmay						-
floodsep				+		
floodmar	-	-	-			-

III. Discussion

Les variables sélectionnées permettent d'expliquer une part importante des variations des communautés végétales, tant à l'échelle des groupements que des stations (Tableau 23). L'attention portée à la caractérisation fine de l'environnement, et en particulier du régime hydrique a permis d'expliquer une grande part des variations de la composition spécifique et de l'hygrophyllie des communautés végétales. Cependant, une grande part de la variance des indices de diversité reste à expliquer. Cette variance pourrait peut-être être expliquée à la lumière d'une description plus fine de la gestion et notamment du chargement des parcelles (Collins et al. 1998) et une analyse plus poussée de la structure et de la chimie du sol qui n'était pas disponible pour cette étude.

Les indices de diversité sont mieux expliqués à l'échelle des stations que des groupements, ce qui est probablement dû à l'intégration du delta d'altitude entre le point le plus haut et le point le plus bas de la station. A l'inverse, la composition

spécifique et l'hygrophyllie sont mieux expliquées à l'échelle des groupements qui est l'échelle naturelle pour ces indices.

Tableau 23 : Tableau récapitulatif de la part de la variance des 6 indices biotiques expliqués par les variables environnementales considérées

Variables VP	Variance totale expliquée	
	groupements	stations
rich.spe	0,30	0,48
F.ell	0,58	0,50
Dim.1	0,70	0,76
Dim.2	0,67	0,47
exp.shan	0,28	0,35
inv.simp	0,26	0,31

Les effets des variables environnementales sur les variables caractérisant les communautés végétales doivent être interprétés à la lumière des corrélations existant entre ces variables environnementales et les variables environnementales écartées par la procédure de sélection (Tableau 24). Les variables fortement corrélées ($R > 0,7$) aux variables de régime hydrique retenues par les modèles sont des variables de la même sous-famille sf2 et de mois adjacents, à l'exception du stress hydrique (sev) de mai qui est fortement corrélé à celui de novembre et décembre. Cette structure se retrouve avec les variables corrélées ($0,5 < R < 0,7$). Les facteurs déterminants pour les communautés végétales sont donc bien l'inondation hivernale et printanière et le stress hydrique estival et automnal. Ces deux facteurs agissant comme filtres sur la composition spécifique et le caractère hygrophile des communautés.

Tableau 24 : Tableau des variables corrélées aux variables retenues par les modèles

Variables S4	variables de S1 fortement corrélées + ($R > 0,7$)	variables de S1 fortement corrélées - ($R < -0,7$)	variables de S1 corrélées + ($0,5 < R < 0,7$)	variables de S1 corrélées - ($-0,7 < R < -0,5$)
zfrija			X2kboistd	T500he, X2kregpra
2kboistd		T500he	zartif, zfrija, horg	cnap
2kregpra		X2kregcu	cnap	zfrija
horg			X2kboistd	cnap, sevjul, sevaug
dur2nov	dur10nov		dur2sep, dur2oct, dur2dec, dur2jan, dur10dec	pl03, sevaug
dur2dec			dur2p, dur10p, dur2nov, dur2jan, dur2may, dur10nov, dur10dec, dur10jan, dur10feb, dur10may	
dur2feb	dur2p, dur10p, dur2jan, dur10jan, dur10feb	sevopt	dur2mar, floodjan	altgrz, etp04, etp05, sevaug, sevsep, sevnov
dur2mar	dur2p, dur2apr, dur10mar		dur10p, dur2jan, dur2feb, dur10feb, dur10apr, floodmar	altgrz, sevjul, sevaug
dur2may	dur10may		dur2p, dur10p, dur2dec, dur2jan, dur2apr, dur2jun, dur10mar, dur10apr, floodmay	

sevaug	sevjul		altgrz, sevsep	horg, dur2p, dur2nov, dur2feb, dur2mar
sevapr				
sevmay	sevnov, sevdec, sevjun		sevoct	
floodfeb	floodjan		dur10p, dur10jan, dur10feb, floodmar	sevsep, sevoct
floodmar	dur10mar		dur10p, dur2mar, dur10apr, floodjan, floodfeb, floodapr	
floodapr	dur10apr, floodjun		dur10p, dur2apr, dur2jun, dur10mar, dur10may, dur10jun, floodmar, floodmay	

CONCLUSION

Cette étude a permis de mettre en évidence, à partir de l'étude de la littérature, une liste de variables «à prendre en compte» dans toute étude portant sur les communautés de végétation prairiale en milieu de marais.

Elle a aussi montré que l'on pouvait sélectionner parmi un grand nombre de variables environnementales, un nombre restreint de variables permettant d'expliquer une part importante des variations de différents indices de biodiversité. L'objectif étant de pouvoir appliquer cette sélection de variables à différents groupes taxonomiques échantillonnés dans le même habitat.

Nous avons montré que, de façon générale, la diversité des communautés végétales est liée à la gamme d'altitude, et donc à la diversité des régimes d'inondations de chaque prairie. La composition spécifique, est fortement déterminée par la salinité du sol, sans une moindre mesure, par le régime hydrique printanier. Enfin, l'hygrophyllie des communautés est, comme on pouvait s'y attendre pilotée par le régime hydrique de printemps et d'automne.

Cependant, plusieurs axes restent à étudier avant de pouvoir proposer des mesures de gestion adaptées à chaque parcelle et aux objectifs choisis (Bouzillé et al. 2010) sur la base de ces analyses. En particulier, les relations entre variables environnementales doivent être étudiées plus en détail et ordonnées, afin de pouvoir anticiper les effets de modification en cascade suite à la modification d'un paramètre environnemental donné.

BIBLIOGRAPHIE

- Amiaud, Bernard, Jan-Bernard Bouzillé, Frédéric Tournade, et Anne Bonis. 1998. « Spatial Patterns of Soil Salinities in Old Embanked Marshlands in Western France ». *Wetlands* 18 (3): 482-94. <https://doi.org/10.1007/BF03161540>.
- « Atlas du Marais poitevin ». s. d. Consulté le 16 septembre 2018. <http://www.epmp-marais-poitevin.fr/atlas-marais-poitevin/>.
- Billaud Jean-PAUL. s. d. « Marais poitevin : rencontres de la terre et de l'eau / Jean-Paul Billaud. Alternatives paysannes. Écrits et travaux du groupe de Sociologie rurale ». Les archives de la Vendée. Consulté le 16 septembre 2018. <http://recherche-archives.vendee.fr/ark:/22574/vta735ba8ef7fa98124>.
- Bouzillé, Jan-Bernard, Anne Bonis, Ahmed Aidoud, Benoît Marion, Amandine Merlin, et Nicolas Rossignol. 2010. « Variations et successions des associations végétales : des clés pour une gestion raisonnée des habitats naturels ». *Revue Forestière Française*, n° 3-4. <https://doi.org/10.4267/2042/38953>.
- Burnham, Kenneth P., David Raymond Anderson, et Kenneth P. Burnham. 2002. *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*. 2nd ed. New York: Springer.
- Collins, Scott L., Alan K. Knapp, John M. Briggs, John M. Blair, et Ernest M. Steinauer. 1998. « Modulation of Diversity by Grazing and Mowing in Native Tallgrass Prairie ». *Science* 280 (5364): 745-47. <https://doi.org/10.1126/science.280.5364.745>.
- « Communiqué_Presse_1anEPMP.pdf ». s. d. Consulté le 16 septembre 2018. http://www.epmp-marais-poitevin.fr/wordpress/wp-content/uploads/Communiqué_Presse_1anEPMP.pdf.
- Dormann, Carsten F., Jane Elith, Sven Bacher, Carsten Buchmann, Gudrun Carl, Gabriel Carré, Jaime R. García Marquéz, et al. 2013. « Collinearity: A Review of Methods to Deal with It and a Simulation Study Evaluating Their Performance ». *Ecography* 36 (1): 27-46. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>.
- Hill, Mark O., David B. Roy, J. Owen Mountford, et Robert G. H. Bunce. 2000. « Extending Ellenberg's Indicator Values to a New Area: An Algorithmic Approach ». *Journal of Applied Ecology* 37 (1): 3-15. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2000.00466.x>.
- Hill, J. O. Mountford, D. B. Roy, et R. G. H. Bunce. 1999. *Ellenberg's indicator values for British plants: ECOFACT volume 2 technical annex*. HMSO.
- Olivier Gore, Mauchamp André, Paillisson Jean-Marc, Bergerot Benjamin, et Bonis Anne. 2018. « Rapport II - Caractérisation des stations et des zones de suivi sur le plan environnemental ».
- Rapinel, Sébastien, Nicolas Rossignol, Olivier Gore, Olivier Jambon, Guillaume Bouger, Jérôme Mansons, et Anne Bonis. 2018. « Daily Monitoring of Shallow and Fine-Grained Water Patterns in Wet Grasslands Combining Aerial LiDAR Data and in Situ Piezometric Measurements ». *Sustainability (Switzerland)* 10 (3): 708. <https://doi.org/10.3390/su10030708>.
- Tournade, F, et J-B Bouzillé. 1995. « Déterminisme pédologique de la diversité végétale d'écosystèmes prairiaux du Marais Poitevin ». *Étude et Gestion des Sols*, 16.

- Washington, H. G. 1984. « Diversity, biotic and similarity indices: A review with special relevance to aquatic ecosystems ». *Water Research* 18 (6): 653-94. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(84\)90164-7](https://doi.org/10.1016/0043-1354(84)90164-7).
- Zuur, Alain F., Elena N. Ieno, et Chris S. Elphick. 2010. « A Protocol for Data Exploration to Avoid Common Statistical Problems ». *Methods in Ecology and Evolution* 1 (1): 3-14. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2009.00001.x>.

ANNEXES

Annexe 1 : Requête bibliographique réalisée

Les valeurs données pour le nombre d'articles dans la table sont potentiellement surestimés du fait de doublons lorsqu'un tri manuel n'a pas pu être réalisé (valeurs en noir).

Annexe 1.1 : Requête bibliographique sur la caractérisation générale de l'environnement de marais dans le cadre d'études sur la structure de la biodiversité

objectif		mots clés	nb articles
Sélectionner les articles portant spécifiquement sur un environnement de marais	TI	(wetland* OR swamp* OR marsh* OR bog* OR fen* OR floodplain* OR alluvial)	121195
Sélectionner les articles donnant des éléments sur le caractérisation ou l'identification de ces milieux	AND TI	(characteri* OR identif* OR determin* OR defin* OR factors OR features OR drivers OR enviro*)	9512
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*)	1263
Eliminer 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*)	1098
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*)	736
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*)	722
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*)	51
	AND TI	(meadow* OR grassland* OR pasture* OR prairie* OR rangeland* OR channel* OR canal* OR duct* OR ditch*)	17
	AND SU	(meadow* OR grassland* OR pasture* OR prairie* OR rangeland* OR channel* OR canal* OR duct* OR ditch*)	10
TOTAL			55

Annexe 1.2 : Requête bibliographique sur la caractérisation de l'environnement de marais dans le cadre d'études sur la structure de la biodiversité par grandes familles de variables

En noir, la partie de la requête répétée pour chaque type de variables et en orange, séparé par des lignes épaisses, les parties des requêtes spécifiques à chaque type de variables.

objectif		mots clés	nb articles
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)	121195
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*)	45570
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*)	1200
Eliminer les articles sur le stockage de carbone, les habitats forestiers et les communautés bactériennes ou n'ayant pas été menés sur le terrain	NOT TI	(carbon* OR bact* OR fisher* OR wood OR image* OR photo* OR experi*)	1123
	NOT SU	(carbon* OR bact* OR fisher* OR wood OR image* OR photo* OR experi*)	1094
	NOT AB	(carbon* OR bact* OR fisher* OR wood OR image* OR photo* OR experi*)	1006
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)	21
	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	AND TI	(soil* caracteri* OR soil* propriete* OR soil* chimi* 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* chimi* OR ground* nutrient* OR ground* composition OR ground* structu* OR	23

		ground* content OR geolog* OR pedolog*)	
Sélectionner les articles en lien avec les activités anthropiques Rajouter exploitation ?	AND TI	TI : (anthrop* OR management* OR agricultu* OR "land use" OR crop* OR graz* OR cattle OR livestock OR pasture* OR breeding)	107 (éliminer ceux trop axés agro)
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	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	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*)	32
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	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*)	4
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")	29
	NOT TI ou AB ou SU	(stream* OR lake* OR pond* OR "greenhouse experiment" OR "glasshouse experiment" OR mesocosm*)	

Annexe 2 : Liste des publications utilisées dans l'analyse des modèles de la littérature

Title	Author	Publication.Year	localisation
A landscape approach to conserving wetland bird habitat in the prairie pothole region of eastern South Dakota	Johnson, Rex R.; Higgins, Kenneth F.; Naugle, David E.; Estey, Michael E.	2000	USA
Assessing the net effect of anthropogenic disturbance on aquatic communities in wetlands: community structure relative to distance from canals	Rehage, Jennifer S.; Trexler, Joel C.	2006	USA
Biodiversity in low-intensity pastures, straw meadows, and fallows of a fen area-A multitrophic comparison	Bucher, Roman; Andres, Christian; Wedel, Martin F.; Entling, Martin H.; Nickel, Herbert	2016	Germany
biotic interactions as determinants of ecosystem structure in prairie wetlands: an example using fish.	Hanson, Mark A.; Zimmer, Kyle D.; Butler, Malcolm G.; Tangen, Brian A.; Herwig, Brian R.; Euliss Jr., Ned H.	2005	USA
Control of Environmental Variables on Species Density in Fens and Meadows: Importance of Direct Effects and Effects through Community Biomass	H. Olde Venterink, author; M. J. Wassen, author; J. D. M. Belgers, author; J. T. A. Verhoeven, author	2001	Belgium
Dominant environmental factors in wetland plant communities invaded by <i>Phragmites australis</i> in East Harbor, Ohio, USA.	Welch, Bradley A.; Davis, Craig B.; Gates, Robert J.	2006	USA
Effects of ditch management patterns on Odonata at Wicken Fen, Cambridgeshire, UK	Painter, Duncan	1998	Netherlands
Effects of food availability and habitat features on the Ephemeroptera species composition at seasonal and spatial scales from neotropical floodplain rivers.	Melo, S. M.; Ragonha, F. H.; Pinha, G. D.; Takeda, A. M.	2018	Brazil
Effects of mowing cessation and hydrology on plant trait distribution in natural fen meadows	Opdekamp, W.; Beauchard, O.; Backx, H.; Franken, F.; Cox, T.J.S.; van Diggelen, R.; Meire, P.	2012	Poland
Effects of scale-dependent factors on herbaceous vegetation patterns in a wetland, northern Japan.	Tsuyuzaki, Shito; Haraguchi, Akira; Kanda, Fusayuki	2004	Japan
Effects of water level and grassland management on alpha and beta diversity of birds in restored wetlands.	Å»mihorski, MichaÅ»; PÅrt, Tomas; Gustafson, Tomas; Berg, Å...ke	2016	Sweden

Fen-meadow succession in relation to spatial and temporal differences in hydrological and soil conditions.	van der Hoek, D.; Sykora, K. V.	2006	USA
fish community characteristics of the lower gambia river floodplains: a study in the last major undisturbed west african river.	LOUCA, VASILIS; LINDSAY, STEVE W.; MAJAMBERE, SILAS; LUCAS, MARTYN C.	2009	Gambia
Fish community structure in relation to environmental variation in floodplain lakes of the A raguaia River, A mazon Basin.	Tejerina-Garro, Francisco L.; Fortin, RÃ©jean; RodrÃ©guez, Marco A.	1998	Brazil
Grassland Ecosystems in the Varied Hydrological and Ecological Conditions of the Kulawa River Valley.	Prajs, BoÅ—ena; Antkowiak, Wojciech	2010	Ukraine
Influence of hydrological changes on the fish community in two lotic environments of the Middle Parana Floodplain, Argentina	Abrial, Elie; Rabuffetti, Ana P.; Espinola, Luis A.; Amsler, Mario L.; Blettler, Martin C.M.; Paira, Aldo R.	2014	Argentina
Long-term morphologic and hydrologic effects on benthic invertebrates in a minor channel of the ParanÃ¡ River floodplain (Argentina)	Blettler, MartÃ¡n C.M.; Amsler, Mario L.; de Drago, InÃ©s Ezcurra; Bullo, Juan M.; Paira, Aldo R.; Drago, Edmundo E.; Espinola, Luis A.; Fontana, Livia O.; Eberle, Eliana; Rodrigues-CapÃ¡tulo, Alberto	2014	Argentina
Macroinvertebrate Assemblages in Iowa Prairie Pothole Wetlands and Relation to Environmental Features.	Hentges, Valerie A.; Stewart, Timothy W.	2010	USA
Macroinvertebrate patterns along environmental gradients and hydrological connectivity within a regulated river-floodplain.	Belinda Gallardo; Mercedes GarcÃ­a; Ãlvaro Cabezas; Eduardo GonzÃ¡lez; MarÃ­a GonzÃ¡lez; Cecilia Ciancarelli; Francisco ComÃ¡n	2008	Spain
managing water levels on wet grasslands to improve foraging conditions for breeding northern lapwing vanellus vanellus	Eglinton, Sarah M.; Bolton, Mark; Smart, Mark A.; Sutherland, William J.; Watkinson, Andrew R.; Gill, Jennifer A.	2013	UK
managing water levels on wet grasslands to improve foraging conditions for breeding northern lapwing vanellus vanellus	Eglinton, Sarah M.; Bolton, Mark; Smart, Mark A.; Sutherland, William J.; Watkinson, Andrew R.; Gill, Jennifer A.	2011	UK
Multi-scale analysis of environmental constraints on macrophyte distribution, floristic groups and plant diversity	Morandeira, Natalia Soledad; Kandus, Patricia	2015	Paraguay

in the Lower Paraná River floodplain			
relationships among environmental factors, vegetation zones, and species richness in a north american calcareous prairie fen.	Bowles, Marlin L.; Kelsey, Patrick D.; McBride, Jenny L.	2005	USA
Relationships between fish assemblages, macrophytes and environmental gradients in the Amazon River floodplain.	Petry, P.; Bayley, P.B.; Markle, D.F.	2003	Brazil
Relative importance of management and natural flooding on spider, carabid and plant assemblages in extensively used grasslands along the Loire	Lafage, Denis; Pétillon, Julien	2016	France (Loire)
Scale-dependent habitat use in three species of prairie wetland birds.	Naugle, David E.; Higgins, Kenneth F.; Nusser, Sarah M.; Johnson, W. Carter	1999	USA
Siltation and hydrologic regime determine species composition in herbaceous floodplain communities.	Sluis, William; Tandarich, John	2004	USA
Spatial Dependency of Vegetation-Environment Linkages in an Anthropogenically Influenced Wetland Ecosystem.	King, Ryan S.; Richardson, Curtis J.; Urban, Dean L.; Romanowicz, Edwin A.	2004	USA
the microdistribution of three uncommon freshwater gastropods in the drainage ditches of british grazing marshes.	Alisa M. Watson; S.J. Ormerod	2004	UK
The relationship of environmental factors to spatial and temporal variation of fish assemblages in a floodplain river in Texas, USA.	Li, R. Y.; Gelwick, F. P.	2005	USA
the role of emergent vegetation in structuring aquatic insect communities in peatland drainage ditches	Whatley, Merrin H.; van Loon, E. Emiel; Vonk, J. Arie; van der Geest, Harm G.; Admiraal, Wim	2014	Netherlands
the role of life history traits and habitat characteristics in the colonisation of a secondary floodplain by neobiota and indigenous macroinvertebrate species.	Pander, Joachim; Mueller, Melanie; Sacher, Marita; Geist, Juergen	2016	Germany
use of wetlands by spring-migrant shorebirds in agricultural landscapes of north dakota's drift prairie.	Niemuth, Neal D.; Estey, Michael E.; Reynolds, Ronald E.; Loesch, Charles R.; Meeks, William A.	2006	USA

vegetation maps based on remote sensing are informative predictors of habitat selection of grassland birds across a wetness gradient	Besnard, A.G.; Davranche, A.; Maugenest, S.; Bouzille, J.B.; Vian, A.; Secondi, J.	2015	France (Loire)
vegetation response after restoring the connectivity between a river channel and its floodplain	Vercoutere, B.; Honnay, O.; Hermy, M.	2007	Belgium
Vegetation responses to environmental conditions in floodplain grasslands: Prerequisites for preserving plant species diversity	Hårdtke, Werner; Redecker, Bernd; Assmann, Thorsten; Meyer, Hartmut	2006	Germany
weak correspondence between macroinvertebrate assemblages and land use in prairie pothole region wetlands, usa.	Tangen, Brian A.; Butler, Malcolm G.; Ell, Michael J.	2003	USA
Zonation of plant cover and environmental factors in wetlands of the Sanjiang Plain, northeast China.	Lou, Yanjing; Wang, Guoping; Lu, Xianguo; Jiang, Ming; Zhao, Kuiyi	2013	China

Annexe 3 : Formules utilisées sous Excel

Annexe 2.1 : Recherche des mots clés présents dans les titres des articles retenus

La fonction suivante permet d'attribuer à tous les articles dont le titre comporte un des mots clés utilisés pour chercher un habitat de prairie la valeur 1 et aux autres la valeur 0.

```
=SI(ESTNUM(CHERCHE("meadow";C7));1;  
SI(ESTNUM(CHERCHE("grassland";C7));1;  
SI(ESTNUM(CHERCHE("pasture";C7));1;  
SI(ESTNUM(CHERCHE("prairie";C7));1;  
SI(ESTNUM(CHERCHE("rangeland";C7));1;0))))
```

Annexe 2.2 : Détermination de la fréquence avec laquelle deux variables sont retenues lorsqu'elles sont testées simultanément

L'information des variables testées et retenues est obtenue en réalisant un tableau croisé dynamique avec en ligne les modèles et en colonnes les variables avec des 1 si la variable est testée (Table 1 dans **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) ou retenue (Table 3 dans **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) dans le modèle au moins une fois et un 0 sinon.

La fonction SOMMEPROD permet de compter le nombre de fois où deux variables apparaissent dans un même modèle. En l'appliquant aux Tables 1 et 3, on obtient les Tables 2 et 4 (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**)

Le rapport entre la Table 4 et la Table 2 (Table 5 de la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) donne la fréquence avec laquelle les deux variables d'un couple sont retenues par les modèles dans lesquels elles sont testées ensemble.

1-Variables testées

Table 1	Variable 1	Variable 2	Variable 3
Modèle 1	1	0	1
Modèle 2	0	1	1
Modèle 3	1	0	1
Modèle 4	0	1	0



Table 2	Variable 1	Variable 2	Variable 3
Variable 1		0	2
Variable 2	0		1
Variable 3	2	1	



Table 5	Variable 1	Variable 2	Variable 3
Variable 1		NA	0.5
Variable 2	NA		0
Variable 3	0.5	0	

2-Variables retenues

Table 3	Variable 1	Variable 2	Variable 3
Modèle 1	1	0	0
Modèle 2	0	1	0
Modèle 3	1	0	1
Modèle 4	0	1	0



Table 4	Variable 1	Variable 2	Variable 3
Variable 1		0	1
Variable 2	0		0
Variable 3	1	0	



Annexe 4 : Organisation de la table root (articles lus, une ligne par variable explicative par modèle)

Echelle	Colonne	Définition
Par article	id_publi	le même que dans marais_tot3
	id_model	= id_publi_var expliquée
	Title	
	Author	
	Publication.Year	
	multitaxti	analyse multitaxons
	multifacti	analyse multifacteurs (d'après le titre)
	habti_pra	étude menée dans un habitat de prairie (d'après titre)
	habti_can	étude menée dans un habitat de canaux (d'après titre)
	taxti_bio	étude menée sur la biodiversité en général (d'après le titre)
	taxti_veg	étude menée sur la végétation (d'après le titre)
	taxti_mac	étude menée sur les macro-invertébrés (d'après le titre)
	taxti_ois	étude menée sur les oiseaux (d'après le titre)
	taxti_poi	étude menée sur la poissons (d'après le titre)
	localisation	pays où l'étude a été menée (+région en France)
	gestion ?	zone gérée ou non
	type d'étude	
	cara_env	article ressource pour la caractérisation environnementale
	cara_com	article ressource pour la caractérisation des communautés
	an_croisée	article ressource pour l'analyse croisée des données environnementales et des communautés
support_env	type de variations environnementales sur lesquelles portent les analyses	
nb sites	nombre de sites étudiés (la plus large échelle)	
nb placettes_site	nombre total de placettes (la plus fine échelle analysée / =nb sites *(nb placettes/site))	
répétitions	nombre d'années de passage * nombre de passages par année	
par model	type habitat	habitat sur lequel porte le modèle
	groupe taxo	groupe taxonomique sur lequel porte le modèle
	classification	l'analyse porte-elle sur des types de végétation issus d'une classification ?
	type_model	modèle statistique utilisé
	famille	famille de modèle (corrélation vs combinaison)
	var expliquée	variable biodiversité expliquée par le modèle
par variable explicative	famille var env	famille de la variable environnementale
	var env	variable environnement
	type variable	type de la variable environnementale
	retenu	1 si la variable est retenue dans le modèle final, 0 sinon
	Remarques	
	sf2_var_env	sous-famille2 attribuée à la variable
	sf1_var_env	sous-famille 1 attribuée à la variable
famille_var_env	famille attribuée à la variable	

Annexe 5 : Classification des variables considérées dans la littérature

Annexe 5.1 : Liste complète des variables considérées dans la littérature

Variables (<i>famille, sf1, sf2</i>)	nb modèles testants	nb modèles retenants	rapport retenu/testé
anthropic impact	47	32	0,68
accident	2	1	0,50
fire	2	1	0,50
agriculture	45	30	0,67
agricultural intensity	7	5	0,71
agricultural management type	20	14	0,70
drainage	13	10	0,77
fertilization	7	4	0,57
grazingintensity	8	1	0,13
maintenance	3	2	0,67
chanel cleaning machine	3	2	0,67
chanel cleaningperiod	3	2	0,67
last chanel cleaning	3	2	0,67
bioticenvironment	57	39	0,68
predator	6	4	0,67
fish	6	3	0,50
salamander	5	1	0,20
vegetationabundance	48	27	0,56
chlorophyll_w	6	2	0,33
Periphyton volume	3	1	0,33
vegetationcover	29	17	0,59
vegetationproductivity	19	10	0,53
vegetation structure	37	20	0,54
plant diversity	18	3	0,17
vegetationheight	15	14	0,93
vegetation type	12	4	0,33
woodyvegetationcover	4	0	0,00
water regime	70	56	0,80
flood intensity	28	19	0,68
flood depth	7	1	0,14
semi-permanant to permanant wetland area	16	11	0,69
temporary to seasonal wetland area	8	1	0,13
wetland surface	21	17	0,81
flood temporality	26	20	0,77
flood duration	21	17	0,81
flood frequency	5	3	0,60
flow regime	29	18	0,62
discharge			
flow width	4	0	0,00
flow velocity	4	0	0,00
flow-interferingelements	4	2	0,50
hydrological phases	1	1	1,00
water level	28	15	0,54
water level variations	9	4	0,44
rainfall	1	1	1,00
rainfall	1	1	1,00
soil water regime	17	11	0,65

hydromorphy	1	0	0,00
moisture_s	16	11	0,69
substratechemistry	40	26	0,65
Soil chemistry	15	12	0,80
cation exchange capacity_s	5	1	0,20
nitrogen_s	13	5	0,38
organicmatter_s	15	4	0,27
othercations_s	14	6	0,43
pH_s	12	2	0,17
phosphorus_s	14	7	0,50
potassium_s	9	3	0,33
sodium_s	4	1	0,25
water chemistry	29	15	0,52
conductivity_w	15	4	0,27
nitrogen_w	14	4	0,29
organicmatter_w	6	1	0,17
otheranions_w	9	4	0,44
othercations_w	6	5	0,83
oxygen_w	14	4	0,29
pH_w	16	6	0,38
phosphorus_w	12	1	0,08
Substrate physic	35	13	0,37
air physic			
light-a			
temperature_a			
Soil physic	20	6	0,30
texture_s	20	6	0,30
topography	5	5	1,00
altitude	5	5	1,00
water physic	29	3	0,10
punctualelements			
temperature_w	9	2	0,22
turbidity_w	9	1	0,11
Landscape features	34	15	0,44
connectivity	18	6	0,33
connectivity_a_a	14	5	0,36
connectivity_a_t	4	1	0,25
land use	12	9	0,75
arable lands	2	1	0,50
grassland	8	5	0,63
land use	1	1	1,00
open water	3	2	0,67
woodyvegetation	10	4	0,40
Other landscape attributes	7	0	0,00
otherlandscapeattributes	3	0	0,00
habitat complexity			

Les trois colonnes de droite sont calculées sur la base de root-combi.xls. Elles sont grisées lorsque la variable n'est utilisée que dans des analyses multivariées.

Annexe 5.2 : Liste des variables considérées dans les modèles explicatifs des caractéristiques de la végétation terrestre

Variables (<i>famille</i> , <i>sf1</i> , <i>sf2</i>)	nb modèles testants	nb modèles retenants	rapport retenu/testé
anthropic impact	27	23	0,85
<i>accident</i>		2	0,50
fire		4	0,25
<i>agriculture</i>		25	0,88
agricultural intensity		10	0,60
agricultural management type		20	0,70
drainage		5	1,00
fertilization		4	0,75
bioticenvironment	10	4	0,40
<i>vegetationabundance</i>	10	4	0,40
vegetationproductivity		10	0,40
landscapefeatures	2	2	1,00
<i>land use</i>	2	2	1,00
arable lands		2	0,50
open water		2	1,00
woodyvegetation		4	0,75
substratechemistry	17	13	0,76
<i>soilchemistry</i>	15	12	0,80
cation exchange capacity_s		5	0,20
nitrogen_s		19	0,26
organicmatter_s		21	0,24
othercations_s		34	0,32
pH_s		12	0,17
phosphorus_s		14	0,50
potassium_s		9	0,33
sodium_s		4	0,25
<i>water chemistry</i>	6	2	0,33
nitrogen_w		4	0,75
othercations_s		3	0,00
pH_w		1	1,00
phosphorus_w		1	1,00
substratephysic	16	7	0,44
<i>soilphysic</i>	11	2	0,18
texture_s		13	0,15
<i>topography</i>	5	5	1,00
altitude		5	1,00
water regime	23	19	0,83
<i>flood intensity</i>	7	1	0,14
flood depth		7	0,14
<i>flood temporality</i>	11	6	0,55
flood duration		6	0,50
flood frequency		5	0,60
<i>flow regime</i>	11	6	0,55
water level		11	0,45

water level variations	16	6	0,38
soil water regime	17	11	0,65
hydromorphy	3	0	0,00
moisture_s	16	11	0,69
residual variations	7	4	0,57
inter-annual variation	5	2	0,40
year	5	2	0,40
spatial variations	2	2	1,00
site	2	2	1,00

Annexe 6 : Liste des variables déclinables à l'échelle des groupements et stations VP dans le Marais poitevin

Les cases en jaune correspondent aux familles de variables qui n'étaient pas présentes dans la littérature analysée.

Variable	definition	Sous-famille2	Sous-famille1	Famille	Echelle spatiale	Sélection 1
long_grpt	longueur du groupement			station	grpt	non retenu
altgr	altitude NGF du groupement	altitude	topography	substrate physic	grpt	retenu
altgrst	altitude relative / à l'altitude du groupement le plus bas de la station	altitude	topography	substrate physic	grpt	retenu
altgrz	altitude relative / à l'altitude du groupement le plus bas de la zone	altitude	topography	substrate physic	grpt	retenu
flood(x)	somme mensuelle 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).	flood depth	flood intensity	water regime	grpt	retenu
durfloodp	de novembre 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).	flood depth	flood intensity	water regime	grpt	non retenu
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).	flood depth	flood intensity	water regime	grpt	non retenu
dur0p	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	flood duration	flood temporality	water regime	grpt	non retenu
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	flood duration	flood temporality	water regime	grpt	non retenu

	groupement					
dur5p	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	flood duration	flood temporality	water regime	grpt	non retenu
dur10p	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	flood duration	flood temporality	water regime	grpt	non retenu
dur15p	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	flood duration	flood temporality	water regime	grpt	non retenu
dur0(x)	Durée en jours avec plus de x cm d'eau de surface pendant le mois concerné	flood duration	flood temporality	water regime	grpt	non retenu
dur2(x)	Durée en jours avec plus de 0 cm d'eau de surface pendant le mois concerné	flood duration	flood temporality	water regime	grpt	retenu
dur5(x)	Durée en jours avec plus de 5 cm d'eau de surface pendant le mois concerné	flood duration	flood temporality	water regime	grpt	non retenu
dur10(x)	Durée en jours avec plus de 10 cm d'eau de surface pendant le mois concerné	flood duration	flood temporality	water regime	grpt	retenu
dur15(x)	Durée en jours avec plus de 15 cm d'eau de surface pendant le mois concerné	flood duration	flood temporality	water regime	grpt	non retenu
sev(x)	somme mensuelle 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).	moisture_s	soil water regime	water regime	grpt	retenu
dursevp	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).	moisture_s	soil water regime	water regime	grpt	non retenu

sevdry	de septembre 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).	moisture_s	soil water regime	water regime	grpt	non retenu
type agri	type de gestion agricole			gestion	st VP	non retenu
agr1	gestion principale			gestion	st VP	non retenu
agr2	gestion secondaire si il ya deux gestion ssuccessives			gestion	st VP	non retenu
agr1agr2	concatenation des deux gestions			gestion	st VP	non retenu
equin	présence de chevaux en pâturage			gestion	st VP	non retenu
T500he	surface en herbe sur un tampon de 500m autour de chaque station vp	grassland	land use	landscape features	st VP	retenu
superficie	superficie de la parcelle			station	st VP	non retenu
typesal	type de salinité selon étude sol poitier (voir onglet "sol poitiers")	sodium_s	soil chemistry	substrate chemistry	st VP	non retenu
altmoy	Moyenne de l'atitute de la station	altitude	topography	substrate physic	st VP	non retenu
altmin	altitude min de al station	altitude	topography	substrate physic	st VP	non retenu
altmax	altitude max de la station	altitude	topography	substrate physic	st VP	non retenu
dalt	amplitude d'altitude de la station (max-min)	altitude	topography	substrate physic	st VP	non retenu
nbecr	nombre d'écrevisse pêchés sur la station EC	crayfish	predetor	biotic environment	zone	non retenu

fsdiv	indice de fragmentation, 1=1 seul patch, plus on a de petits patches de différentes nature, plus on s'approche de 0	fragmentation	connectivity	landscape features	zone	non retenu
fsai	indice d'aggregation, = 100 quand un seul patch	fragmentation	connectivity	landscape features	zone	non retenu
2kgel	% habitat agricole source RPG 2016 gel	?	land use	landscape features	zone	non retenu
zculture	% cultures sur la zone	arable lands	land use	landscape features	zone	non retenu
2kcerea	% habitat agricole source RPG 2016 céréales dans un rayon de 2km	arable lands	land use	landscape features	zone	non retenu
2kmais	% habitat agricole source RPG 2016 maïs dans un rayon de 2km	arable lands	land use	landscape features	zone	non retenu
2koleop	% habitat agricole source RPG 2016 oleoprot dans un rayon de 2km	arable lands	land use	landscape features	zone	non retenu
2kregcu	% habitat agricole source RPG 2016 culture	arable lands	land use	landscape features	zone	retenu
zartif	% terres artificialisées dans la zone	artificial land	land use	landscape features	zone	retenu
zprai	% prairies sur la zone	grassland	land use	landscape features	zone	non retenu
2kfourage	% habitat agricole source RPG 2016 fourage dans un rayon de 2km	grassland	land use	landscape features	zone	non retenu
2kprper	% habitat agricole source RPG 2016 prairie permanente dans un rayon de 2km	grassland	land use	landscape features	zone	non retenu
2kprtemp	% habitat agricole source RPG 2016 prairie temporaire dans un rayon de 2km	grassland	land use	landscape features	zone	non retenu
2kregpra	% habitat agricole source RPG 2016 prairie	grassland	land use	landscape features	zone	retenu

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.	heterogeneity	land use	landscape features	zone	non retenu
fspr	nombre de modalité (max 5)	heterogeneity	land use	landscape features	zone	non retenu
fssh	indice de diversité de shannon (+ sensible au patchs rare que simpson)	heterogeneity	land use	landscape features	zone	non retenu
fssi	indice de diversité de simpson (- sensible au patchs rare que shannon)	heterogeneity	land use	landscape features	zone	non retenu
zsurfEau	% surface en eau sur la zone d'étude	open water	land use	landscape features	zone	non retenu
2knbEau	nb de plans d'eau sur tampon 2k	open water	land use	landscape features	zone	retenu
sprsec	linéaire de canaux primaires et secondaires / ha	open water	land use	landscape features	zone	non retenu
ster	linéaire de canaux tertiaires / ha	open water	land use	landscape features	zone	non retenu
scan	linéaire de canaux / ha	open water	land use	landscape features	zone	non retenu
zprsec	linéaire de canaux primaires et secondaires / ha	open water	land use	landscape features	zone	non retenu
zter	linéaire de canaux tertiaires / ha	open water	land use	landscape features	zone	non retenu
zcan	linéaire de canaux / ha	open water	land use	landscape features	zone	non retenu
zautre	% autre sur la zone	other	land use	landscape features	zone	non retenu
2kautre	% habitat autre dans un rayon de 2km	other	land use	landscape features	zone	non retenu

2ksau	% habitat agricole source RPG 2016 SAU (prairie + cultures) dans un rayon de 2km	SAU	land use	landscape features	zone	non retenu
canbois	% de linéaire de canaux qui traverse la couche boisement par teledetection	woody vegetation	land use	landscape features	zone	non retenu
zboishu	% habitat en boisement humide sur la zone	woody vegetation	land use	landscape features	zone	non retenu
zfrija	% friches et jachères sur la zone	woody vegetation	land use	landscape features	zone	retenu
zpeupl	% peupleraies sur la zone	woody vegetation	land use	landscape features	zone	non retenu
2kboistd	% boisement dans un rayon de 2km	woody vegetation	land use	landscape features	zone	retenu
fsteci	indice de contraste de lisières,	other landscape attributes	other landscape attributes	landscape features	zone	non retenu
etalim	note de réalimentation : 1 mal réalimenté ; 2 réalimentation par pompage/nappe ; 3 réalimentation lay par accoups espacés ; 4 réalimentation vendée par accoups réguliers ; 5 réalimentation axe sèvre continue)			station	zone	non retenu
cnap	conductivité de la nappe de surface	conductivity_w	water chemistry	substrate chemistry	zone	retenu
horg	épaisseur de l'horizon organique	soil depth	soil physic	substrate physic	zone	retenu
smalt	altitude moyenne du secteur	altitude	topography	substrate physic	zone	non retenu
zmalt	Altitude moyenne Zone d'étude	altitude	topography	substrate physic	zone	non retenu
etp04	ETP (evapotranspiration) au mois d'avril	ETP	?	water regime	zone	retenu
etp05	ETP (evapotranspiration) au mois de mai	ETP	?	water regime	zone	retenu
etp12m	ETP sur 12 mois avant les suivis (juin année-1 à mai)	ETP	?	water regime	zone	retenu
2kplaine	% hors zone humide sur tampon 2K	wetland surface	flood intensity	water regime	zone	non

						retenu
hivnv	niveau d'eau moyen en hiver (16nov-15mars) - alt moy de la zone	water level	flow regime	water regime	zone	non retenu
trint	niv moyen autour du 31 mars (niv moyen = sur 5 jours autour de la date cible)	water level	flow regime	water regime	zone	non retenu
prhom	hauteur d'eau moyenne dans les canaux sur la période 16 avril 31 mai	water level	flow regime	water regime	zone	non retenu
hivamp	amplitude des variations de niveau d'eau en hiver (16 nov-15mars)	water level variations	flow regime	water regime	zone	non retenu
trpente	pente de la décrue = niv moyen autour du 15 mars - niv moyen autour du 15 avril (niv moyen = sur 5 jours autour de la date cible)	water level variations	flow regime	water regime	zone	non retenu
tramp	amplitude des variations de niveau d'eau pdt l apériode de transition printanière (15mars-15avril)	water level variations	flow regime	water regime	zone	non retenu
pramp	amplitude des variations de niveau d'eau pdt la période printanière (16 avril-31mai)	water level variations	flow regime	water regime	zone	non retenu
etamp	amplitude des variations de niveau d'eau pdt la période estivale (1er juin 15 sept)	water level variations	flow regime	water regime	zone	non retenu
cvp(x)	coefficient de variation mensuel du niveau d'eau dans le piezomètre prairie de la zone	water level variations	flow regime	water regime	zone	retenu
pl9m	pluviométrie 9 mois avant les suivis	rainfall	rainfall	water regime	zone	non retenu
pl4m	pluviométrie 4 mois avant les suivis	rainfall	rainfall	water regime	zone	non retenu
pl(x)	pluviométrie mensuelle (cumul des précipitations)	rainfall	rainfall	water regime	zone	retenu
plb(x)	pluviométrie bimestrielle (cumul des précipitations)	rainfall	rainfall	water regime	zone	non retenu

Annexe 7 : Résultats détaillés des tests de Mantel sur les données environnementales Marais poitevin

Annexe 5.1 : Récapitulatif des résultats des tests de Mantel aux différentes échelles spatio-temporelles

	R	an_NA
Z	Paysage large	Quantité + qualité eau canal principal + pluvio
	<ul style="list-style-type: none"> - zone : (Z8 et Z9) se distinguent du reste (~0,08) et dans une moindre mesure (Z2 et Z3) (~0,06) - est-ouest : effet négligeable (~0,02) - hiérarchie canal PO : effet négligeable (~0,02) - type de sol : effet négligeable (~0,03) 	<ul style="list-style-type: none"> - zone : Z5 se distingue fortement (~0,25), le reste divisé en 2 groupes (~0,05) sans explication triviale - est-ouest : pas de différence observée (~0,00) - année : pas d'effet observé (~0,01) - hiérarchie canal PO : effet moyen (~0,10) - type de sol : effet négligeable (~0,03), A/T se comporte plus comme To que comme Ar
	<p>⇒ Les rapports entre variables paysagères (échelle zone) ne sont impactés que par les zones (légèrement). Probablement du au linéaire de canaux beaucoup plus important et aux haies dans les secteurs Z8 et Z9.</p>	<p>⇒ Effet fort des zones (Z5 = celle où on a vu des herbes brûlées au glyphosate sur les berges, non ?) sur les relations entre variables de quantité et qualité d'eau à l'échelle PO. ⇒ Effet léger de la hiérarchie du canal PO</p>
VA	Paysage autour des stations	Quantité + qualité eau stations
	<ul style="list-style-type: none"> - zone : (Z6 et Z11) se distinguent fortement du reste (~0,35), le reste divisé entre (Z1, Z2 et Z3) et le reste (~0,05) - est-ouest : effet négligeable (~0,02) - hiérarchie canal PO : pas d'effet (~0,00) - hiérarchie canal VA : pas d'effet (~0,00) - type de sol : pas d'effet Ar/To (~0,00), mais A/T (=Z11) se démarque (~0,10) 	<ul style="list-style-type: none"> - zone : pas d'effet (~0,01) - est-ouest : pas d'effet (~0,00) - année : pas d'effet (~0,00) - hiérarchie canal PO : pas d'effet (~0,00) - hiérarchie canal VA : pas d'effet (~0,00) - type de sol : pas d'effet (~0,00)
	<p>⇒ Les zones 6 et 11 (=grands communaux, mais Z4 aussi et ne sort pas) se démarquent par des relations entre variables paysagères à l'échelle VA différentes. Etonnant car elles ne se démarquent pas du tout pour les variables paysagères à l'échelle zone (pourtant, +/- les mêmes variables à une échelle plus petite...) lié aux variations intra-zone? (grands communaux => plus d'homogénéité?)</p>	<p>⇒ Les relations entre variables de quantité et de qualité de l'eau à l'échelle VA sont homogènes pour tous les groupes testés.</p>

VP	Topographie et gestion agricole	Quantité eau
	<ul style="list-style-type: none"> - zone : pas d'effet (~0.00) - est-ouest : pas d'effet (~0.00) - type de sol : pas d'effet (~0.00) - gestion agri : pas d'effet (~0.00) - présence équins : pas d'effet (~0.00) 	<ul style="list-style-type: none"> - zone : deux groupes bien distincts (~0.80), pas du tout est-ouest, pas de couple déterminés avant non plus, 3 et 5 qui ne sortent pas... 8(~0.30) et 1(~0.20) qui se distinguent dans le second groupe et (9,2,3) (~0.20) du reste dans le premier - est-ouest : pas d'effet (~0.00) - année : pas d'effet (~0.04) - type de sol : pas d'effet (~0.02) - gestion agri : effet négligeable fauche vs pas de fauche (~0.04) mais léger effet p_f vs f_p (~0.08) - présence d'équins : effet faible (~0.05)
	<p>⇒ Les relations entre variables de topographie à l'échelle VP sont homogènes pour tous les groupes testés.</p>	<p>⇒ De grandes variations dans les relations entre variables de quantité d'eau à l'échelle VP, probablement du à la gestion des parcelles (batards d'eau vs drains) et à la topographie.</p> <p>⇒ 2015 qui se distingue de 2016 et 2017, probablement à cause des précipitations... à vérifier (Olivier ?)</p>

Annexe 5.2 : Récapitulatif des effets de chaque groupe choisis pour la comparaison aux différentes échelles spatio-temporelles

Quel effet des zones sur les relations entre variables ?	
<p>. Z_R : (Z8 et Z9) se distinguent du reste (~0,08) et dans une moindre mesure (Z2 et Z3) (~0,06)</p> <p>. Z_an_NA : Z5 se distingue fortement (~0,25), le reste divisé en 2 groupes (~0,05) sans explication triviale</p> <p>. VA_R : (Z6 et Z11) se distinguent fortement du reste (~0,35), le reste divisé entre (Z1, Z2 et Z3) et le reste (~0,05)</p> <p>. VA_an_NA : pas d'effet (~0,01)</p> <p>. VP_R : pas d'effet (~0.00)</p> <p>. VP_an_NA : deux groupes bien distincts (~0.80), pas du tout est-ouest, pas de couple déterminés avant non plus, 3 et 5 qui ne sortent pas... 8(~0.30) et 1(~0.20) qui se distinguent dans le second groupe et (9,2,3) (~0.20) du reste dans le premier</p>	<p>⇒ Les relations entre variables varient en fonction des zones... mais les zones se distinguant ne sont pas les mêmes suivant l'échelle (et donc la famille de variables) considérées.</p> <p>⇒ Pas d'effet sur les relations entre variables de quantité et qualité d'eau à l'échelle VA ni entre les variables de topographie à l'échelle VP.</p>
Quel effet est(1-2-3-4-5-6)-ouest(7-8-9-10-11) sur les relations entre variables ?	

<ul style="list-style-type: none"> . Z_R : effet négligeable (~0,02) . Z_an_NA : pas de différence observée (~0,00) . VA_R : effet négligeable (~0,02) . VA_an_NA : pas d'effet (~0,00) . VP_R : pas d'effet (~0.00) . VP_an_NA : pas d'effet (~0.00) 	<p>⇒ Pas d'effet est-ouest, (logique étant donné que cette distinction n'apparaît pas dans l'analyse par zones).</p>
Quel effet des années sur les relations entre variables ?	
<ul style="list-style-type: none"> . Z_an_NA : pas d'effet observé (~0,01) . VA_an_NA : pas d'effet (~0,00) . VP_an_NA : 2015 se démarque de 2016 et 2017 (~-0.30) 	<p>⇒ Pas d'effet année observée de façon générale, mais 2015 se démarque fortement à l'échelle VP_an soit par les relations entre variables de quantité d'eau à l'échelle VP.</p> <p>Hyp (à faire valider par Olivier) : stations VP pas toujours bien raccordées au réseau d'où impact important des précipitations (batard d'eau, baisses déconnectées...), pas nécessairement bien pris en compte dans le modèle des niveaux d'eau ? Devrait aussi avoir un impact sur la qualité de l'eau / chimie du sol, mais on n'a pas les données.</p>
Quel effet de la hiérarchie du canal PO sur les relations entre variables ?	
<ul style="list-style-type: none"> . Z_R : effet négligeable (~0,02) . Z_an_NA : effet moyen (~0,10) . VA_R : effet négligeable (~0,02) . VA_an_NA : pas d'effet (~0,00) 	<p>⇒ Pas de biais lié à la hiérarchie du canal PO</p>
Quel effet de la hiérarchie du canal VA sur les relations entre variables ?	
<ul style="list-style-type: none"> . VA_R : pas d'effet (~0,00) . VA_an_NA : pas d'effet (~0,00) 	<p>⇒ Pas d'effet de la hiérarchie du canal VA sur les relations entre variables (pas de biais)</p>
Quel effet du type de sol sur les relations entre variables ?	
<ul style="list-style-type: none"> . Z_R : effet négligeable (~0,03) . Z_an_NA : effet négligeable (~0,03), A/T se comporte plus comme To que comme Ar . VA_R : pas d'effet Ar/To (~0,00), mais A/T (=Z11) se démarque (~0,10) . VA_an_NA : pas d'effet (~0,00) . VP_R : pas d'effet (~0.00) . VP_an_NA : pas d'effet (~0.02) 	<p>⇒ Pas d'effet du type de sol, alors qu'on s'attendrait à en avoir au moins sur les aspects de quantité (infiltration / capacité à retenir l'eau) et de qualité (piégeage / relargage d'éléments chimiques) de l'eau.</p>
Quel effet du management (agr1agr2) sur les relations entre variables ?	
<ul style="list-style-type: none"> . VP_R : pas d'effet (~0.00) . VP_an_NA : effet négligeable fauche vs pas de fauche (~0.04) mais léger effet p_f vs f_p (~0.08) 	<p>⇒ Pas de biais lié à la gestion agricole, ce qui paraît normal, les stations ayant été choisies pour être les plus homogènes possibles pour ce facteur.</p>
Quel effet de la présence d'équins sur les relations entre variables ?	
<ul style="list-style-type: none"> . VP_R : pas d'effet (~0.00) . VP_an_NA : effet faible (~0.05) 	<p>⇒ idem</p>