Dénombrement et distribution spatiale des couples nicheurs de Barge à queue noire (*Limosa l. limosa*) dans les marais de Brière et du Brivet

Rapport d'étude (volet 2017)
Septembre 2018

Alice PETIT
Master 2 Sciences des Environnements Continentaux et Côtiers
Gestion de la biodiversité dans les écosystèmes terrestres

Direction de l'étude :
Matthieu MARQUET
Responsable du service Biodiversité
Parc naturel régional de Brière

Collaboration scientifique :
Laurent Godet
Chargé de Recherche au CNRS
Université de Nantes, UMR LETG

RÉSUMÉ

Les marais de Brière (Loire-Atlantique, France) constituent l'un des principaux sites de nidification de la Barge à queue noire (*Limosa l. limosa*) au niveau national. En déclin en Europe, cette espèce est visée à l'Annexe II de la Directive « Oiseaux » et bénéficie en France d'un Plan National de Gestion. En 2016 et 2017, le Parc naturel régional de Brière, animateur Natura 2000 de la ZPS « Grande Brière, marais de Donges et du Brivet », a mené une étude visant à accroître la connaissance de la population nicheuse et à identifier les principaux facteurs conditionnant la sélection de son habitat de reproduction. En complément de l'approche paysagère menée en 2016, cette étude s'est focalisée sur les paramètres environnementaux *in situ,* collectés en mai 2017 selon un échantillonnage régulier. Une enquête auprès des exploitants agricoles a permis de préciser la gestion des marais, où domine l'élevage bovin. Une typologie prairiale a été déterminée et mise en rapport avec les pratiques agricoles. Les facteurs les plus influents ont été estimés à l'aide d'un Modèle Linéaire Généralisé (GLM). Les résultats ont confirmé le lien fort entre le pâturage et la présence de Barge à queue noire et éclairé sur ses préférences en termes de structure de végétation. La Barge a paru répondre fortement, et positivement, à l'effet indirect du pâturage de 2016, par une sélection directe vis-à-vis du type de couvert végétal au printemps. A cette période, la proximité à l'eau est majeure. Ce travail constitue une première approche de l'habitat prairial sélectionné par *Limosa l. limosa* en Brière. Des recherches approfondies et ultérieures à partir des données obtenues sur les caractéristiques des habitats naturels prairiaux attractifs pour l'espèce lors de la nidification, et les modalités de gestion qui les façonnent, seraient de nature à alimenter la réflexion sur les pratiques agricoles à favoriser sur le territoire.

Mots-clés *: Barge à queue noire, sélection d'habitat, structure de végétation, prairie humide, pâturage, Brière*

ABSTRACT

Marshes of Brière (Loire-Atlantique, France) represent one of the main nesting sites for Black-tailed Godwit (*Limosa l. limosa*) at the national level. Declining in Europe, this species is included in Annex II of the Birds Directive and benefits in France of a National Management Scheme. In 2016 and 2017, the Parc naturel régional de Brière, assigned to the Natura 2000's management of the SPA "Grande Brière, marais de Donges et du Brivet", led a study aiming to increase the knowledge of the nesting population and to identify main factors governing breeding habitat selection. As a complement to the landscape-level approch led in 2016, this study focused on environmental on-site parameters, collected in may 2017 according to a regular sampling plan. A survey among farmers helped to clarify the agricultural management of the marshes, dominated by cattle breeding. A typology of grasslands was created and linked to agricultural practicies. Main influential factors were estimated thanks to a Generalized Linear Model (GLM). The results confirmed a strong link between grazing and Black-tailed Godwit's presence and enlights its preferences in terms of sward structures. The Godwit seemed to strongly respond, and positively, to the indirect effect of grazing in 2016, through an indirect selection towards vegetation cover in spring. At this period, proximity to water is significant. This work is a first approch of the grassland habitat selectioned by *Limosa l. limosa* in Brière. Further studies from the data collected on the attributes of natural grassland habitats which are of interest for Godwit during breeding, and on management modalities shaping this habitats, would be suitable to feed into the reflections on agricultural pratices to promote in the region.

Key-words : *Black-tailed Godwit, habitat selection, sward structures, wet grassland, grazing, Brière*

Remerciements

Nous tenons à présenter nos vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué à cette étude, notamment Didier Montfort et Alain Troffigué pour leur appui, leurs conseils avisés et l'intérêt porté à la démarche.

Nous remercions Laurent Godet pour l'approche statistique ainsi que Pauline Beillevert, Ludovic Da Silva et Oliver Massard pour leur appui technique.

Nous souhaitons également remercier Sébastien Farau en sa qualité d'animateur du Plan National de Gestion, l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne pour le soutien financier apporté, ainsi que l'ensemble des membres du groupe de réflexion sur le suivi de la Barge à queue noire en Pays-de-la-Loire, pour leur intérêt vis-à-vis de l'étude menée en Brière.

Table des matières

Introduction....1
Partie 1 : Matériel et méthodes....2
I. Les marais de Grande Brière et du Brivet....3
A/ Localisation de la zone d'étude....3
B/ Enjeux de la ZPS « Grande Brière, Marais de Donges et du Brivet »....3
II. Ecologie de l'espèce-cible : Limosa l. limosa....5
A/ Morphologie de l'espèce....5
B/ Phénologie de l'espèce et état des lieux des effectifs nicheurs....5
III. Méthodologie d'inventaire des couples nicheurs de Barge à queue noire et analyse de leur répartition sur le territoire....6
A/ Secteurs de prospection....6
B/ Description de la méthode d'inventaire....7
C/ Analyse SIG de la répartition des couples nicheurs sur le territoire....7
IV. Recherche des facteurs d'influence dans la sélection d'habitat par la Barge à queue noire....8
A/ Protocole de caractérisation de l'habitat prairial....8
B/ Etude des modalités de gestion agricole....10
V. Analyse des données d'habitat et de gestion agricole....12
A/ Constitution de la variable de présence....12
B/ Caractérisation de l'habitat prairial....12
C/ Composition floristique....13
D/ Caractérisation de la gestion agricole en lien avec les paramètres d'habitat....13
E/ Définition des facteurs influents vis-à-vis de la distribution des couples nicheurs....14
Partie 2 : Résultats....15
I. Effectifs et distribution spatiale des couples nicheurs de Barge à queue noire....16
A/ Effectifs nicheurs et approche comparative 2016/2017....16
B/ Résultats du modèle d'analyse spatiale....17
II. Caractérisation des prairies du territoire....17
A/ Description générale....17
B/ Estimation des paramètres prairiaux par le biais de l'analyse de Hill et Smith....17
C/ Typologie des prairies du territoire....19
D/ Typologie prairiale et composition floristique....21
III. Caractérisation des pratiques agricoles sur le territoire....22
A/ Résultats généraux à l'issue de l'enquête....22
B/ Mise en lien des paramètres d'habitat avec la gestion agricole des prairies....22
IV. Approche exploratoire et détermination des facteurs d'influence dans la distribution de Limosa l. limosa en Brière....27
A/ Mise en relation de la caractérisation prairiale avec la présence de Limosa l. limosa....27
B/ La gestion agricole des entités de présence de Limosa l. limosa....28
C/ Détermination des principaux facteurs influençant l'établissement des couples nicheurs....29
Partie 3 : Discussion....31
I. L'habitat prairial de Limosa l. limosa dans les marais de Brière et du Brivet....32
A/ Approche inter-scalaire....32
B/Relations entre les paramètres in situ et la présence de Barge à queue noire en Brière....33
C/ Autres facteurs d'influence....35
D/ Limites et identification des biais éventuels à l'analyse....36
II. Approfondissements de l'étude et implications dans la conservation de l'espèce....38
A/ Suivi des effectifs nicheurs & évaluation du succès reproducteur....38
B/ Habitat prairial de Limosa l. limosa et gestion agricole....39
C/ La question d'une traduction opérationnelle : le dispositif agro-environnemental en vigueur sur le territoire....40
Conclusion et perspectives....42

Bibliographie 43
ANNEXES..... 48

Table des figures

Figure 1 : Localisation du Parc naturel régional de Brière au sein de la presqu'île guérandaise et des entités de marais qui le composent (Source : PnrB).....3
Figure 2 : Localisation des principales entités hydrographiques et des zones bénéficiant de mesures spécifiques pour la biodiversité sur le territoire du PnrB.....4
Figure 3 : La Barge à queue noire (Limosa l. limosa) en vol (© Fran Trabalon : http://frantrabalon.blogspot.com.es) 5
Figure 4 : secteurs de marais prospectés pour les inventaires Limicoles en 2017.....6
Figure 5 : Localisation de la zone échantillonnée pour la caractérisation d'habitat en mai 2017.....9
Figure 6 : Localisation des couples nicheurs en 2016 et 2017 16
Figure 7 : Projection simultanée des mailles et des variables d'habitat dans le plan factoriel de l'AHS n°1. ..18
Figure 8 : Typologie prairiale en Brière et Boulaie projetée dans le plan factoriel de l'AHS n°1. En vert : profil 1 (n = 132), en marron : profil 2 (n = 66) et en orange : profil 3 (n = 66). 19
Figure 9 : Principales caractéristiques des profils prairiaux de la typologie établie, en rapport avec 4 variables discriminantes.....20
Figure 10 : Répartition des mailles d'inventaire parmi les principaux groupements floristiques, en rapport avec la typologie prairiale (en % de l'échantillon total avec n = 234). Les effectifs de chaque groupement au sein de l'échantillon total sont précisés. 21
Figure 11 : Pratiques agricoles dominantes sur la zone d'étude (2016).....22
Figure 12 : Schéma synthétique des variables décrivant l'habitat prairial et la gestion agricole incluses dans l'AHS n°2 23
Figure 13 : représentation conjointe des variables et des mailles dans le plan factoriel de l'AHS n°2.....23
Figure 14 : représentation de la typologie prairiale dans le plan factoriel de l'AHS n°2.....25
Figure 15 : Mise en rapport des profils prairiaux avec les principaux modes de gestion agricole (profil 1 : n = 132, profil 2 : n = 69, profil 3 : n = 66).....26
Figure 16 : Représentation des mailles de présence ou absence de Limosa l. limosa dans le plan de l'AHS n°1 27
Figure 17 : Représentation des mailles de présence ou absence de Limosa l. limosa dans le plan de l'AHS n°2 28
Figure 18 : comparaison de la distribution des mailles de présence aux mailles voisines pour les paramètres significatifs du modèle (p < 0,05).....29
Figure 19 : répartition de Limosa l. limosa (nLIMOSA = 38) dans les différentes classes de hauteur d'herbe, en comparaison avec l'échantillon total (nTOTAL = 267).....30
Figure 20 : Analyse systémique des principaux paramètres (avérés/supposés) entrant en jeu dans la sélection de l'habitat de reproduction et la conservation de la Barge à queue noire (PAEC : Projet Agro-Environnemental et Climatique ; MAEC : Mesures agro-environnementales et Climatiques).....40
Figure 21 : Démarche du gestionnaire dans la recherche d'une stratégie de gestion adaptée.....41

Index des tableaux

Tableau 1 : Paramètres in situ retenus pour la description de l'habitat prairial.....10
Tableau 2 : principaux descripteurs de la gestion agricole sur le territoire.....11
Tableau 3 : Facteurs retenus par le modèle (Codes de significativité : 0'***' 0.001'**' 0.01'*' 0.05 '.' 0.1 ' '1) 29

Table des annexes

Annexe 1 : Localisation des prairies remarquables et des sites de reproduction des anatidés et limicoles en Brière....49
Annexe 2 : Critères établis dans le cadre de l'Atlas Européen des Oiseaux Nicheurs (EBBA2) de l'European Bird Census Council (EBCC), définissant la probabilité de nidification selon les preuves de reproduction (Source : Herrando et *al*., 2015)....49
Annexe 3 : Surfaces en eau libre et raster de distance à l'eau....50
Annexe 4 : Schéma de l'unité de relevé dans le cadre de la caractérisation d'habitat : disposition des points de mesure sur la maille-cible....50
Annexe 5 : Questionnaire utilisé dans le cadre de l'enquête menée auprès des exploitants agricoles....51
Annexe 6 : Récapitulatif des MAEC sur le territoire « Grande Brière – Marais de Donges » pour les prairies (à partir de : PnrB,2014) (*TO : type d'opération, nouvelle dénomination des engagements unitaires du cadre national)....52
Annexe 7 : Matrice des corrélations selon le coefficient de Spearman, variables quantitatives d'habitat....53
Annexe 8 : Classes d'appartenance phytosociologique et espèces recensées....53
Annexe 10 : Evolution des effectifs nicheurs de *Limosa l. limosa* entre 2004 et 2016. En vert foncé, estimation minimale ; en vert clair, estimation maximale (Source : Lebrun et *al*., 2016)....55
Annexe 11 : Mailles inventoriées au cours du printemps 2017 dans le cadre de la caractérisation de l'habitat de *Limosa l. limosa* (n = 301)....55
Annexe 13 : Diagramme de décroissance des valeurs propres (inertie exprimée en %), AHS n°1 (volet Habitat)....57
Annexe 14 : Part d'inertie portée par chacun des axes (« inertia » : valeurs propres, « cum » : inertie cumulée, « cum (%) » inertie cumulée en pourcentage), AHS n°1 (volet Habitat)....57
Annexe 15 : Rapports de corrélation (variables qualitatives) et coefficients de détermination (variables quantitatives) à l'axe . RS1 : axe 1, RS2 : axe 2. AHS n°1 (volet Habitat)....57
Annexe 16 : Cercle des corrélations entre variables quantitatives, AHS n°1 (volet Habitat)....58
Annexe 17 : Représentation de la variable de densité du couvert végétal dans le plan factoriel de l'AHS n°1 (volet Habitat). 4 modalités, graduellement : couvert clairsemé, peu dense, dense, très dense....59
Annexe 18 : Représentation de la variable d'humidité du sol dans le plan factoriel de l'AHS n°1 (volet Habitat). 5 modalités, graduellement : sol sec, frais, humide, saturé, à saturation maximale....59
Annexe 19 : Significativités statistiques des comparaisons entre les trois groupes de la typologie pour les variables quantitatives ($p < 0,05$), AHS n°1 (volet Habitat)....61
Annexe 20 : Significativités statistiques des liaisons entre la typologie prairiale et les variables qualitatives d'habitat, AHS n°1 (volet Habitat)....61
Annexe 21 : Approche spatialisée de la typologie prairiale établie grâce à l'AHS n°1 (volet Habitat)....61
Annexe 22 : Répartition des entités de gestion à vocation de fauche ou de pâturage et ancienneté de la gestion pratiquée en 2016 au sein de la zone d'étude....62
Annexe 23 : Composition des groupes de la typologie prairiale ainsi que des mailles de présence et de l'échantillon global (effectifs et proportion en % au sein de l'échantillon considéré) pour les paramètres de gestion agricole retenus....63
Annexe 24 : Diagramme de décroissance des valeurs propres (inertie exprimée en %), AHS n°2 (volet Habitat & Agricole)....64
Annexe 25 : Part d'inertie portée par chacun des axes (« inertia » : valeurs propres, « cum » : inertie cumulée, « cum (%) » inertie cumulée en pourcentage), AHS n°2 (volet Habitat & Agricole)....64
Annexe 26 : Rapports de corrélation (variables qualitatives) et coefficients de détermination (variables quantitatives) à l'axe . RS1 : axe 1, RS2 : axe 2. AHS n°2....65
Annexe 27 : Cercle des corrélations entre variables quantitatives. AHS n°2 (volet Habitat & Agricole)....66
Comp. 1 : composante (axe factoriel) 1. Comp. 2 : composante (axe factoriel) 2....66
Annexe 28 : Représentation dans le plan factoriel de l'AHS n°2 de la période de 1ère mise à l'herbe en 2016. AHS n°2 (volet Habitat & Agricole)....67
Annexe 29 : Représentation dans le plan factoriel de l'AHS n°2 de la période de 1ère mise à l'herbe en 2017. AHS n°2 (volet Habitat & Agricole)....67

Annexe 30 : Représentation dans le plan factoriel de la pratique agricole mise en œuvre en 2016. AHS n°2 (volet Habitat & Agricole). 4 modalités : Fauche (stricte), Fauche & pâturage (pratique mixte), Pâturage (strict), Pâturage avec broyage/fauche des refus. 68
Annexe 31 : Comparaisons graphiques des 3 profils prairiaux mis en rapport avec les variables agricoles. Volet Habitat & Agricole. 69
Annexe 32 : Significativités statistiques des comparaisons entre les trois groupes de la typologie pour les variables quantitatives, AHS n°2 (volet Habitat & Agricole). 70

Introduction

La Barge à queue noire (*Limosa limosa* – sous-espèce *limosa*) est un limicole à fort enjeu de conservation. Son déclin est constaté en Europe depuis les années 1980 (Trolliet, 2014). La pression de prédation et la dégradation des habitats de reproduction, sous l'effet des changements d'occupation du sol et de l'intensification de l'agriculture, en seraient les causes principales (Pearce-Higgins et *al*., 2017).

La liste rouge européenne, celle des oiseaux nicheurs de France métropolitaine et celle des populations d'oiseaux nicheurs des Pays de la Loire lui confèrent le statut d'espèce « vulnérable » (« VU » ; MNHN-SPN, 2017a ; Marchadour et *al*. 2014). Elle est visée par l'Annexe II de la Directive 79/409/CEE, directive européenne dite « Directive Oiseaux » (Marquet & Berthelot (coord.), 2007), et bénéficie en France d'un Plan National de Gestion qui s'inscrit sur la période 2015-2020 (Trolliet, 2014).

Depuis les années 1970, *Limosa l. limosa* niche au sein des marais de Grande Brière et du Brivet, qui représentent son troisième site de nidification en France (Trolliet, 2014 ; Robin et *al*., 2016).

Les marais de Grande Brière et du Brivet constituent une vaste zone humide au sein de la presqu'île guérandaise, en Loire-Atlantique (Pays de la Loire). Il s'agit d'un site régi par la Convention de Ramsar de 1971 (RAMSAR, 2017). Ces marais, d'une surface de 19 000 hectares, font ainsi partie des zones humides d'importance internationale. L'intérêt avifaunistique de ces espaces a aussi conduit à la mise en place d'une Zone de Protection Spéciale (ZPS) dans le cadre du réseau européen Natura 2000 (MNHN-SPN, 2017b).

Le Parc naturel régional de Brière est en charge de l'animation du site Natura 2000 (MNHN-SPN,2017b). Il s'implique notamment dans le maintien de l'agriculture d'élevage qui participe au façonnement d'habitats propices à la nidification des limicoles (PnrB, 2014a). Nicheuse au sol dans les prairies hygrophiles à méso-hygrophiles, la Barge à queue noire voit sa conservation intimement liée à la gestion agricole (Sabatier et *al.*, 2015).

L'Agence de l'Eau Loire-Bretagne appuie les missions scientifiques du Parc liées à la gestion des milieux aquatiques (PnrB, 2014a). En 2016 et 2017, cet appui a permis la réalisation d'une étude ciblée sur la Barge à queue noire. En référence au Document d'Objectifs défini pour la ZPS (Marquet & Berthelot (coord.), 2007), il apparaissait nécessaire d'accroître la connaissance de l'habitat recherché par l'espèce.

En 2016, un premier volet a permis de mettre en évidence les principaux secteurs de nidification et de relever plusieurs paramètres paysagers influençant la répartition de la Barge à queue noire (Lebrun et *al*., 2016). L'objectif en 2017 était de caractériser l'habitat en travaillant désormais à l'échelle de la prairie.

Cela s'est traduit par la recherche des principaux paramètres environnementaux *in situ* qui conditionnent l'installation des couples au printemps. La pression de pâturage a en outre une influence sur la physionomie d'un habitat prairial (Smart et *al.*, 2006). Une enquête auprès des exploitants agricoles a permis d'identifier les pratiques agricoles usuelles et de mieux cerner le rapport entre la physionomie des prairies et les modalités de gestion. L'étude visait à décrire l'attractivité des prairies du territoire pour les barges au printemps et à identifier les mécanismes sous-jacents.

- **Quels sont les principaux paramètres d'habitat qui conditionnent le choix du site de nidification chez *Limosa l. limosa* en Brière ?**
- **Quel est le rôle des pratiques agricoles dans la distribution spatiale des couples nicheurs ?**

Il est possible d'émettre l'hypothèse que l'espèce sélectionne en priorité son habitat de reproduction selon la structure de végétation des prairies, en rapport avec les pratiques agricoles qui participent à son façonnement.

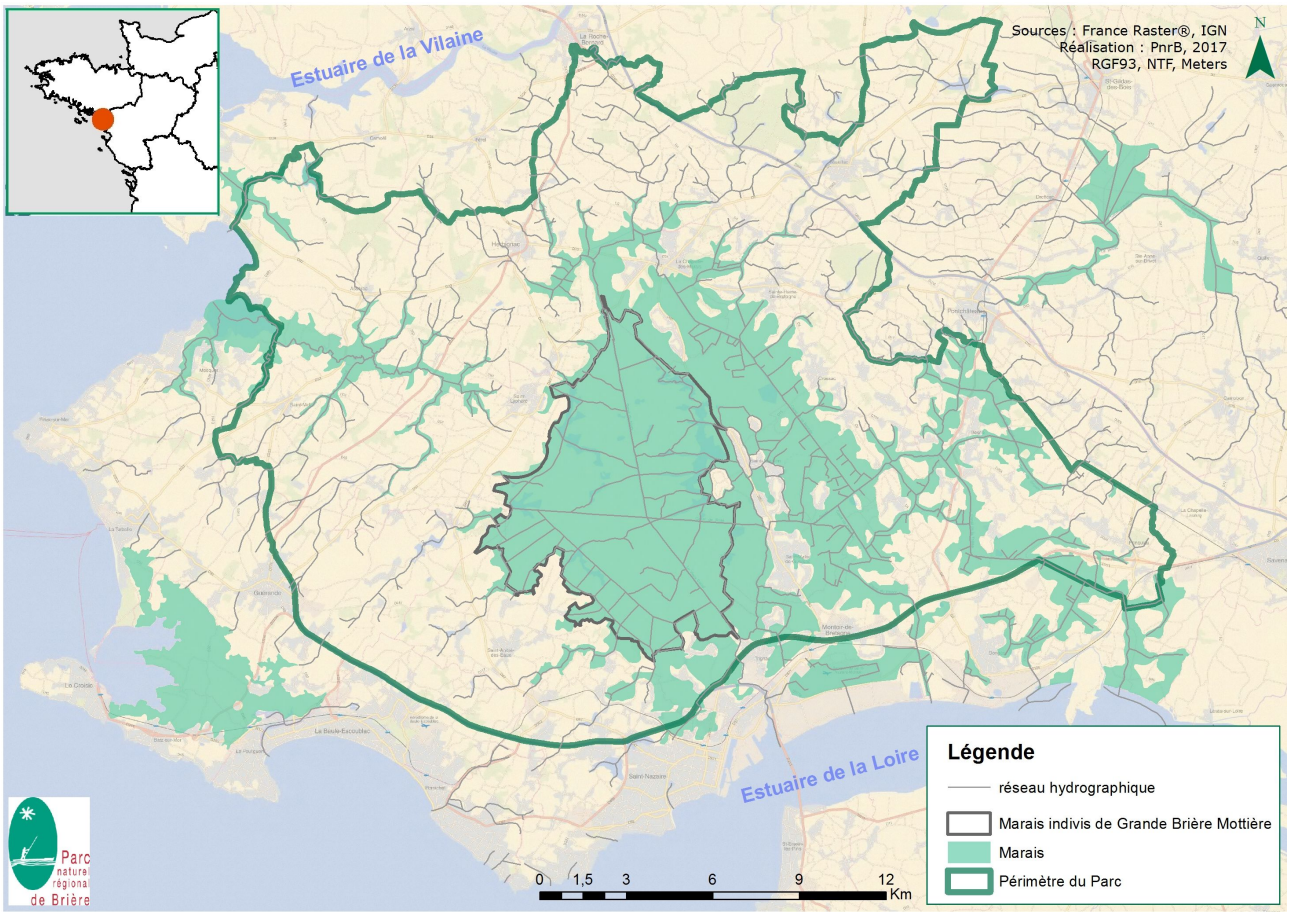
En premier lieu, la méthodologie d'inventaire des couples nicheurs et le protocole mis en œuvre au printemps 2017 afin de caractériser l'habitat prairial et la gestion agricole seront présentés. Les résultats seront exposés, puis discutés à la lumière de la connaissance des facteurs du maintien de l'espèce en Europe. Plusieurs pistes de réflexion auxquelles ouvre l'étude de 2017, en rapport avec la conservation de l'espèce en Brière, seront abordées.

Partie 1 : Matériel et méthodes

I. Les marais de Grande Brière et du Brivet

A/ Localisation de la zone d'étude

Les marais du bassin versant du Brivet s'étendent entre l'estuaire de la Loire et celui de la Vilaine, sur une surface de 19 000 ha (PnrB, 2014a) à l'est de la presqu'île guérandaise (Loire-Atlantique, Figure 1). Le réseau des marais briérons est connecté à l'estuaire de la Loire grâce au Brivet et ses affluents (PnrB, 2014a, Fig. 1). La Brière fait en effet partie d'un vaste réseau de zones humides au sein de la façade ouest de la France, grâce à sa proximité aux estuaires de la Loire et de la Vilaine, au golfe du Morbihan et au lac de



Grand-Lieu (Maman & Vienne, 2010).

Figure 1 : Localisation du Parc naturel régional de Brière au sein de la presqu'île guérandaise et des entités de marais qui le composent (Source : PnrB)

Une particularité des marais présents sur le territoire du Parc naturel régional de Brière (PnrB) réside dans le statut d'indivision. En effet, la Grande Brière Mottière, d'une surface de 6 500 ha, est une portion de marais qui constitue la propriété foncière indivise des habitants briérons (Muscat (coord.), 2003). Ils disposent ainsi d'un droit d'usage historique (Muscat (coord.), 2003). De ce fait, le marais indivis (Fig. 2) se distingue des marais privés du Brivet et sa gestion est assurée par la Commission Syndicale de Grande Brière Mottière (CSGBM).

B/ Enjeux de la ZPS « Grande Brière, Marais de Donges et du Brivet »

Dans le cadre du réseau européen Natura 2000, le PnrB est opérateur de la Zone de Protection Spéciale (ZPS) « Grande Brière, Marais de Donges et du Brivet » (Fig. 2) ainsi que de la Zone Spéciale de Conservation (ZSC) « Grande Brière et Marais de Donges ». Il s'agit d'une reconnaissance du patrimoine faunistique et floristique ainsi que des habitats naturels remarquables de la Brière. La gestion des sites est

appliquée dans le cadre de la directive 79/409/CEE du Conseil des communautés européennes (dite « Oiseaux »), ainsi que de la directive 92/43/CEE (dite « Habitats-Faune-Flore »)(Muscat (coord.), 2003 ; Marquet & Berthelot (coord.), 2007). La création de la Réserve Naturelle Régionale (RNR) Marais de Brière est un autre volet associé à la conservation de la biodiversité en marais (Fig. 2).

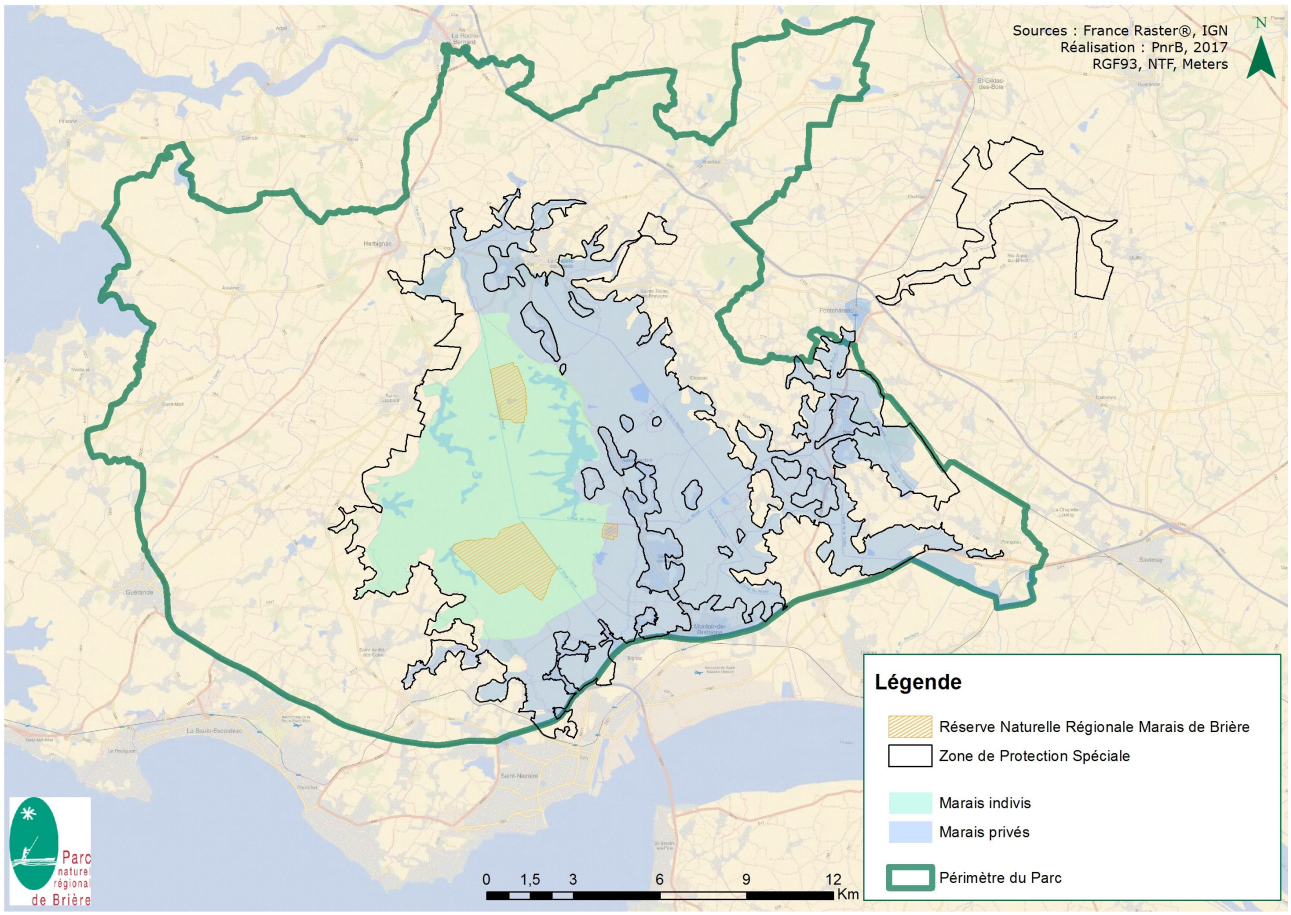


Figure 2 : Localisation des principales entités hydrographiques et des zones bénéficiant de mesures spécifiques pour la biodiversité sur le territoire du PnrB

Les habitats prairiaux retrouvés au sein de la zone humide briéronne sont appréciés par plusieurs espèces d'anatidés et limicoles pour leur reproduction (Annexe 1). Le statut de ces espèces peut être défavorable à l'échelle de la France ou de l'Europe, malgré des effectifs relativement importants en Brière (Marquet & Berthelot (coord.), 2007), où elles bénéficient de la présence de 9 000 ha de prairies naturelles humides. Il s'agit par exemple du Vanneau huppé (*Vanellus vanellus*) et de la Barge à queue noire (*Limosa l. limosa*) (PnrB, 2014b). La conservation de ces espèces et de leur habitat constitue un enjeu d'importance majeure (Marquet & Berthelot (coord.), 2007).

L'animation du volet Natura 2000 intègre la gestion agricole. La protection réglementaire est déclinée à travers l'outil financier que constituent les Mesures Agro-Environnementales et Climatiques (MAEC), dont le PnrB est opérateur. Les parcelles déclarées à la Politique Agricole Commune (PAC) peuvent bénéficier de contrats MAEC d'une durée de 5 ans, renouvelables (PnrB, 2014a). Le Programme Agro-Environnemental et Climatique (PAEC) construit par le PnrB, fait ainsi mention d'une mesure ayant trait à la conservation des anatidés et limicoles nicheurs ciblés par le Document d'objectifs (Docob) « Oiseaux », dont la Barge à queue noire (PnrB, 2014a). L'un des principaux enjeux des mesures mises en œuvre réside dans le maintien des milieux ouverts face au risque d'abandon des pratiques.

II. Ecologie de l'espèce-cible : *Limosa l. limosa*

A/ Morphologie de l'espèce

De la famille des scolopacidés, *Limosa l. limosa* est un limicole de grande taille (34 à 44 cm), dont l'envergure des ailes est de 70 à 82 cm (Fig. 3 ; Gejl, 2016). Ses longues pattes et son long bec droit lui permettent de s'alimenter au sein des dépressions humides formées dans les prairies et de sonder efficacement le sol à la recherche d'invertébrés (Gejl, 2016). La « sensibilité tactile du bec » est notée chez cette espèce (Géroudet, 1983). La chasse s'effectue principalement à vue sur des proies présentes dans le sol et à la surface, telles que les lombrics, les mollusques et les coléoptères.

En tous plumages, la large barre alaire blanche, le croupion blanc ainsi que les sous-caudales blanches contrastent avec le reste du corps plus sombre et rendent caractéristique l'allure générale de l'oiseau en vol (Fig. 3 ; Gejl, 2016).

Figure 3 : La Barge à queue noire (Limosa l. limosa) en vol (© Fran Trabalon : http://frantrabalon.blogspot.com.es)

En période nuptiale, le mâle se dote d'un plumage roux sur la tête, la poitrine et le cou (Gejl, 2016). Le ventre est blanc et le dos beige à roux. La femelle est souvent plus pâle que le mâle durant cette période. Elle est généralement plus grande, de masse corporelle plus importante, et dotée d'un bec plus long (Schroeder et *al*., 2008 ; Gejl, 2016). Une étude néerlandaise a montré que le dimorphisme sexuel relevant de la longueur du bec était un critère moins fiable que ceux de la taille et du plumage pour différencier les deux sexes (Schroeder et *al*., 2008).

La différence de poids et de taille entre les deux sexes peut s'expliquer par la nécessité pour les mâles d'être très agiles lors des parades nuptiales effectuées en vol pour la formation des couples reproducteurs (Jönsson & Alerstam, 1990). L'hypothèse d'une fertilité accrue chez les individus femelles de grande taille peut également être avancée, cette pression de sélection conduisant alors au dimorphisme observé.

En plumage internuptial, le bec se colore de rouge, le plumage (brun-gris) devient plus discret (Gejl, 2016). Ce plumage est proche de celui acquis par le juvénile, dont la base du bec est légèrement rouge.

B/ Phénologie de l'espèce et état des lieux des effectifs nicheurs

Il existe deux autres sous-espèces : *Limosa l. melanuroides,* présente en Sibérie et Asie, et *Limosa l. islandica,* nicheuse au nord-ouest de l'Europe (îles Shetland et Islande notamment) (Gejl, 2016). Les effectifs de la population de *Limosa l. islandica* sont notables et en augmentation : de l'ordre de 50 000 à 75000 individus sont recensés aujourd'hui en Islande, contre 2 000 à 3000 en 1900 (Gill et *al*., 2007).

La Barge est une espèce migratrice. Arrivés sur les sites de nidification entre mars et avril, les individus de *Limosa l. limosa* se regroupent entre juin et août en vue de regagner les terres d'hivernage en Afrique de l'Ouest (Géroudet, 1983 ; Gejl, 2016). Plusieurs milliers d'oiseaux se regroupent autour des rizières de Guinée-Bissau, des marais du lac Tchad, du delta intérieur du Niger et du delta du Sénégal. *Limosa l. islandica* hiverne en France sur la façade atlantique ainsi qu'en Grande-Bretagne, sur la péninsule ibérique et au Maroc.

A l'échelle de l'Europe, les Pays-Bas rassemblent les plus gros effectifs nicheurs de *Limosa l. limosa* : la population néerlandaise a ainsi été estimée à 32 000 couples nicheurs en 2011 (Kentie, 2015).

Néanmoins, les effectifs sont en baisse depuis les années 1960 où plus de 100 000 couples étaient présents.

En France, l'essentiel de la population nicheuse est localisé sur la façade atlantique, notamment en Vendée au sein du Marais Breton (95 à 105 couples nicheurs en 2015) et du Marais Poitevin (22 à 26 couples nicheurs en 2015), ainsi qu'en Loire-Atlantique dans les marais de Brière (17 à 20 couples en 2016). L'espèce est présente en plus faibles effectifs sur d'autres sites, dont les marais de Brouage (Charente-Maritime), l'estuaire de la Seine (Seine-Maritime), la baie de Somme (Somme), le Val de Saône (Ain) et la Plaine des Moëres (Nord) (Robin et *al*., 2016). Quelques sites colonisés par le passé sont aujourd'hui désertés par les nicheurs : il s'agit par exemple de l'estuaire de la Loire (Loire-Atlantique).

III. Méthodologie d'inventaire des couples nicheurs de Barge à queue noire et analyse de leur répartition sur le territoire

A/ Secteurs de prospection

Le dénombrement des couples nicheurs de Barge à queue noire a été effectué entre la mi-avril et la fin du mois de mai. Au cours de cette période propice à leur installation, des transects séparés de 400 à 500 m ont été parcourus sur la zone d'étude globale, d'une surface d'environ 5000 hectares (Fig. 4).

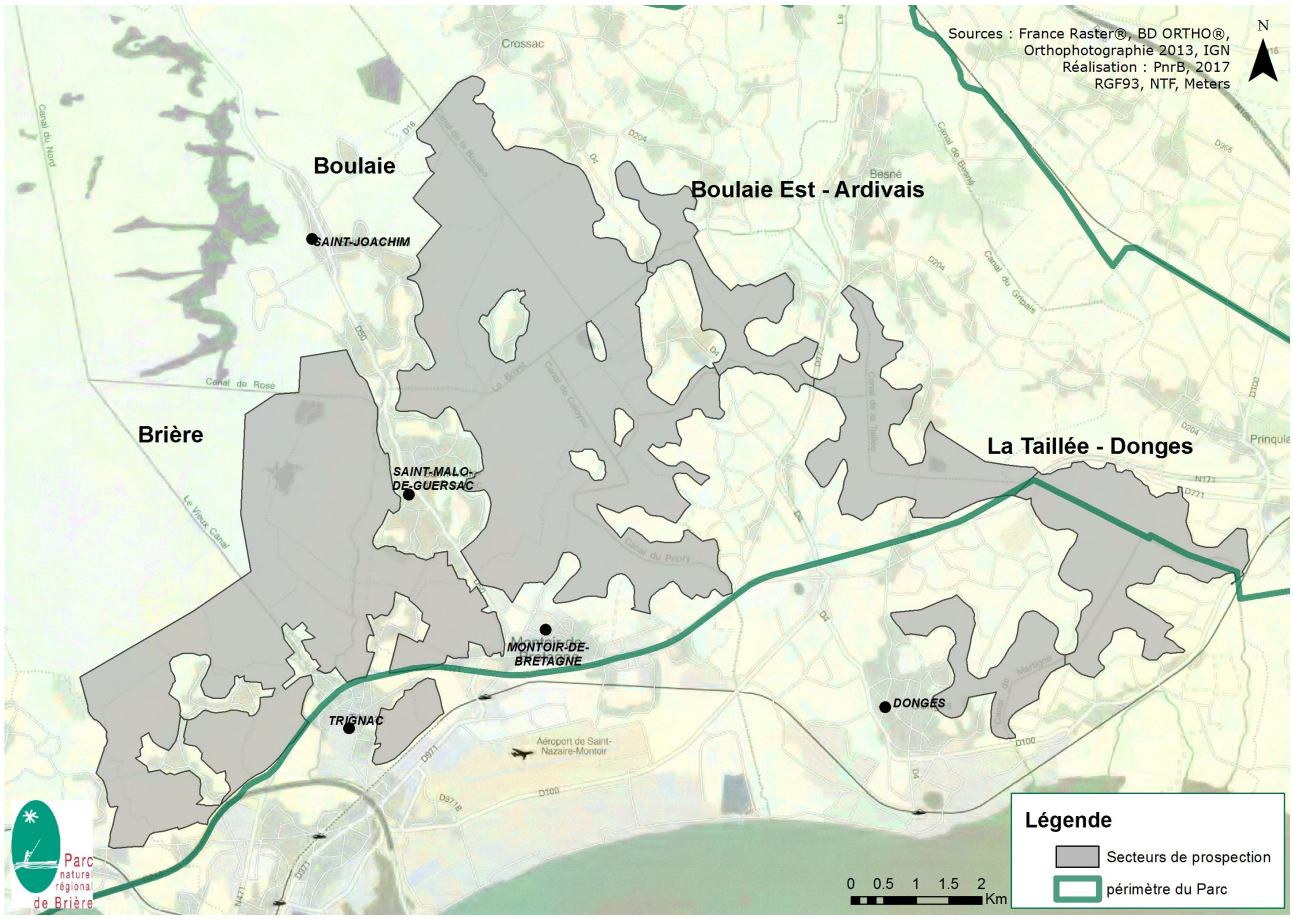


Figure 4 : secteurs de marais prospectés pour les inventaires Limicoles en 2017

Le secteur « Brière » désigne l'entité englobant les prairies à l'ouest de la commune de Saint-Malo-de-Guersac et au sud-ouest de Montoir-de-Bretagne. Il s'agit des prairies à proximité ou au sein de la Grande Brière Mottière. Le secteur de « Boulaie » correspond à des marais privés uniquement, à l'est de Saint-Malo-de-Guersac. Les autres secteurs (« Boulaie Est - Ardivais » et « La Taillée - Donges ») sont des entités de marais moins étendues, localisées à l'est. Historiquement, les principaux sites de reproduction des limicoles se localisent dans les secteurs de Brière et Boulaie.

B/ Description de la méthode d'inventaire

Déroulement des prospections

Les prospections se sont déroulées selon la méthode des « point transects » (Gregory et *al*., 2004). Chaque transect est jalonné de points d'écoute et d'observation tous les 200 à 300 m (environ 10 minutes par point). Les passages sont espacés de 3 à 10 jours, un même transect faisant l'objet de trois passages au minimum durant la période de reproduction. Les parcelles sont renseignées une à une sur la base du « field by field » (O'Brien & Smith, 1992), le but étant d'identifier les couples nicheurs présents sur chaque entité prairiale. Les passages sont effectués en considération de la phénologie de l'espèce.

Identification du statut nicheur

L'objectif est d'estimer la probabilité de nidification (possible, probable ou certaine) à partir des critères établis dans le cadre du nouvel Atlas Européen des Oiseaux Nicheurs construit par l'European Bird Census Council (EBCC) (Herrando et *al.*, 2015 – Annexe 2). Les autres espèces de limicoles nicheurs sont également recensées, notamment le Vanneau huppé et le Chevalier gambette (*Tringa totanus*). Pour l'attribution de la probabilité de nidification, une attention est donc portée aux comportements des individus contactés au cours des prospections. Les comportements territoriaux, tels que les alarmes et les attaques envers des prédateurs aériens, peuvent par exemple être attribués à un nicheur « probable » selon les critères EBCC. Au terme des prospections, chaque observation (pour chaque passage) dispose ainsi d'un indice selon les critères EBCC. L'ensemble des observations et leurs indices sont confrontés afin d'établir la localisation des couples nicheurs et leur statut.

Individualisation et cartographie des couples nicheurs

A l'issue du recensement de terrain visant au dénombrement et à la localisation des couples nicheurs de barges, une cartographie des observations est réalisée. Une analyse SIG permet de combiner différents paramètres en vue de localiser les couples avec précision, en rapport notamment avec les indices de probabilité de nidification associés à chaque observation. Les paramètres considérés sont la densité et le nombre d'observations faites à des dates différentes, la fréquence de contacts avec comportement nicheur (indices EBCC), la distance entre les observations à même date et/ou simultanées et la distance entre observations faites à des dates différentes. Le nombre de couples en 2017 est confronté aux données des années antérieures afin d'estimer la tendance générale de la population.

C/ Analyse SIG de la répartition des couples nicheurs sur le territoire

Un modèle d'analyse spatiale proposé par le logiciel ArcGis 10.1 (ESRI, 2011) a été appliqué en vue de qualifier la répartition des couples nicheurs de Barge à queue noire sur le territoire. Il s'agit ainsi d'estimer le caractère agrégatif ou non de la distribution des couples à l'aide des Systèmes d'Information Géographique (SIG). Le modèle est fourni par l'outil « Average Nearest Neighbor ». Cet outil calcule la distance entre chaque entité (ou couple) et l'emplacement de l'entité voisine la plus proche. La moyenne des distances au voisin le plus proche est calculée, puis comparée à celle obtenue pour une distribution aléatoire hypothétique (attendue selon le même nombre d'entités et la même superficie). Si la distance observée est inférieure à la distance attendue, la distribution est dite agrégée (dispersée si inversement). Un indice, le rapport « voisin le plus proche », est calculé en divisant la distance moyenne observée par celle attendue. Si la valeur du rapport est supérieure à 1, il y a dispersion des entités dans la zone-cible. Si la valeur est inférieure à 1, les entités sont spatialement agrégées.

L'outil SIG intègre une vérification statistique des relations spatiales estimées, à travers le calcul d'une statistique Z et de la valeur p associée, renseignant la significativité statistique du résultat (au seuil $\alpha = 0,05$). Le modèle a été appliqué à l'échelle de l'ensemble des secteurs de prospection puis à celle des secteurs identifiés comme les plus favorables aux limicoles (secteurs Brière et Boulaie).

IV. Recherche des facteurs d'influence dans la sélection d'habitat par la Barge à queue noire

A/ Protocole de caractérisation de l'habitat prairial

Pour une caractérisation optimale des conditions d'habitat préférentielles, des paramètres *in situ*, à l'échelle de la prairie, ont été relevés. Plusieurs travaux font mention de l'importance des conditions d'humidité et de la structure de végétation des prairies vis-à-vis des limicoles nicheurs (Tichit et *al*., 2005a ; Durant et *al.*, 2008 ; Groen et *al.*, 2012). Il s'agissait donc d'étudier l'influence de ces paramètres dans les prairies humides briéronnes. La majorité des paramètres *in situ* retenus pour l'étude ont fait l'objet de relevés de terrain spécifiques.

Délimitation de la zone-cible et élaboration du plan d'échantillonnage

La méthodologie d'inventaire nécessitait de tenir compte de la vaste surface concernée par le suivi des limicoles nicheurs (plus de 5000 hectares). Il s'agissait aussi de tenir compte du dérangement que peuvent occasionner, lors des relevés, des visites longues ou répétées des parcelles en période de nidification. Des biais à l'analyse peuvent également être encourus par l'étalement dans le temps des relevés spécifiques.

Il a donc semblé judicieux de cibler une zone assez restreinte où réaliser les relevés d'habitat (Fig. 5). Les données historiques fournies par Montfort et Troffigué, naturalistes locaux, puis celles dont dispose le PnrB, permettent de délimiter les secteurs occupés de manière préférentielle depuis les années 1990 (entre 1995 et 2016). Une zone d'étude plus restreinte a ainsi été constituée à l'aide du Registre Parcellaire Graphique (RPG – 2013) en veillant à ne pas omettre les sites où au moins un couple avait niché entre 1995 et 2016.

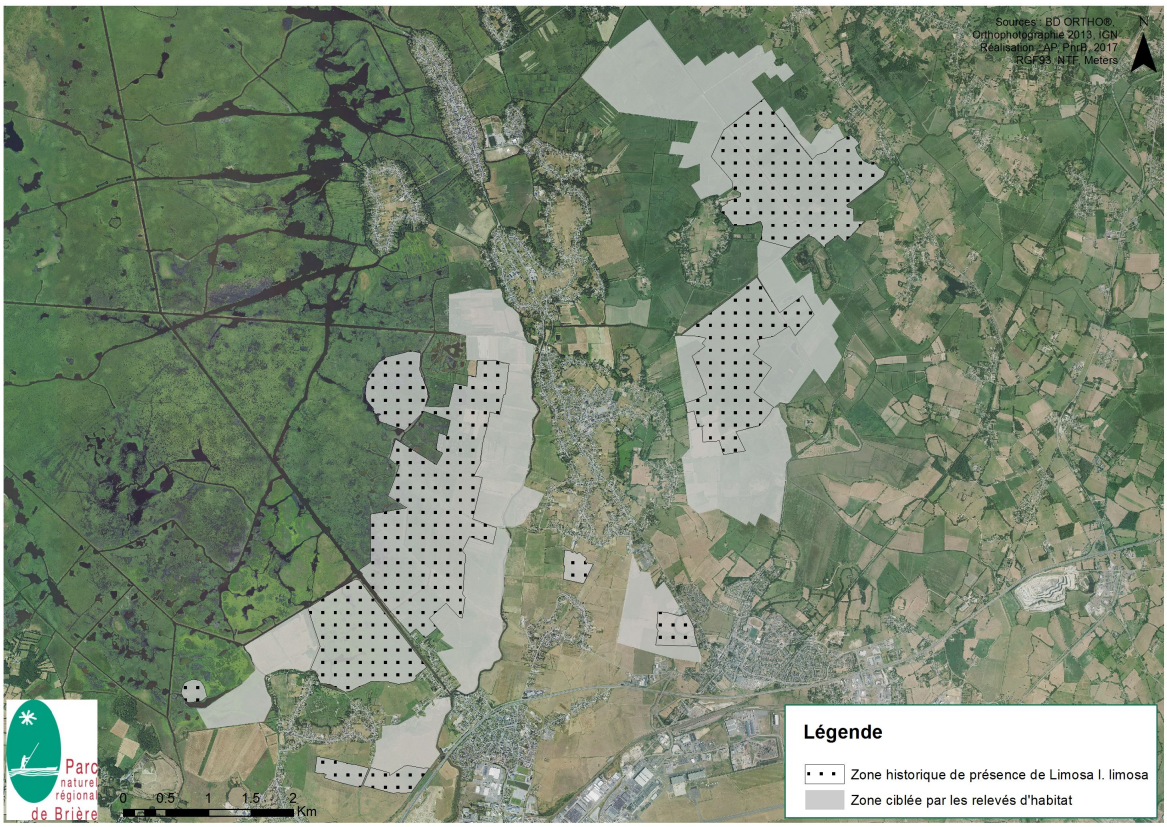


Figure 5 : Localisation de la zone échantillonnée pour la caractérisation d'habitat en mai 2017

A l'aide d'outils issus des Systèmes d'Information Géographique (SIG), un maillage a été généré sur la zone d'étude (outil « Grille Vecteur » du logiciel QGIS 2.10.1 – Quantum GIS Development Team, 2009), la surface de chaque maille étant de 900 m² (30x30 m). Cette unité surfacique a paru cohérente pour caractériser l'habitat prairial au regard des contraintes évoquées. Une sélection régulière d'un jeu d'environ

300 mailles de 30x30 m a été réalisée (outil « Points réguliers »). La distance entre les mailles est fixée à 230 m. Le choix de l'échelle de relevé et de la distance entre les mailles s'est fait dans une recherche d'équilibre entre une description optimale de l'habitat et un nombre limité de mailles à renseigner dans les délais fixés.

Paramètres in situ retenus : structure de végétation et conditions d'humidité

Les variables retenues sont notamment la hauteur de végétation, la hauteur d'eau, la distance à une surface en eau libre et le degré d'humidité du sol (Tableau 1). Une attention est aussi prêtée à la densité des plantes composant le couvert végétal. La fréquence de touffes enherbées est estimée. Ce paramètre concerne la présence de touffes d'herbe compactes et plus hautes d'au moins 10 cm par rapport à la végétation environnante (Milsom et *al*., 2000).

La variable de distance à l'eau résulte d'un calcul sous SIG (Tableau 1). Une image de type raster renseignant les surfaces en eau libre est utilisée, à partir de laquelle l'outil « Proximité » permet de construire un « raster de distance ». Pour chacune des cellules (0,6x0,6 m) de ce raster, la valeur de distance à la surface en eau libre la plus proche est calculée (Annexe 3). Il s'agit ensuite de rapporter la valeur de distance à l'échelle de la maille d'inventaire de 30x30m (outil « Statistiques de zone » du logiciel QGIS).

D'autre part, les variables de hauteur d'eau et de hauteur de végétation sont acquises à l'aide de 5 points de mesure par maille et estimées via un mètre-ruban. Pour chacun des 5 points, 4 mesures sont prises de manière aléatoire afin d'obtenir un total de 20 mesures de hauteur par maille. Le premier point de chaque relevé de végétation et d'eau correspond au centroïde de la maille, généré sous SIG puis repéré sur le terrain à l'aide des outils Global Positioning System (GPS). Quatre autres points sont répartis dans un rayon de 10 m à partir du centroïde, suivant les points cardinaux (Annexe 4).

Tableau 1 : Paramètres in situ retenus pour la description de l'habitat prairial

PARAMETRE	DESCRIPTION
Hauteur de végétation moyenne (cm)	calcul de la hauteur moyenne sur la maille à partir de l'ensemble des points de mesures
Indice d'hétérogénéité des hauteurs de végétation	calcul par application de l'indice de diversité spécifique de Shannon-Weaver à partir du classement des mesures en 5 classes de hauteurs ([<5cm] ; [5-10cm] ; [10-15cm] ; [15-20cm] ; [>20cm])
Hauteur d'eau moyenne (cm)	calcul de la hauteur moyenne sur la maille à partir de l'ensemble des points de mesures
Distance à l'eau (m)	calcul sous SIG de la distance à la surface en eau libre (hors canaux) la plus proche
Humidité du sol (variable catégorielle)	degré d'humidité du sol estimé selon 5 catégories : [sec] ; [frais] ; [humide] ; [saturé] ; [à saturation maximale] (pellicule d'eau superficielle mesurable)
Densité du couvert végétal (variable catégorielle)	degré d'agrégation des plantes composant le couvert végétal estimé selon 4 catégories : [clairsemé] ; [peu dense] ; [dense] ; [très dense]
Fréquence de touffes enherbées (variable catégorielle)	fréquence de touffes enherbées estimée selon une classification adaptée de Milsom et *al.* (2000), en 4 catégories : [<5%] (aucune/épars) ; [5-20%] (occasionnel) ; [20-50%] (fréquent) ; [>50%] (abondant)

Les mesures de végétation ont pour objectif d'estimer la hauteur à laquelle 80 % des organes végétatifs étaient présents (Stewart et *al.*, 2001). Les points échantillonnés sur des placettes de sol nu sont isolés du calcul final (hauteur moyenne sur la maille). Pour chaque maille, le rangement des valeurs de hauteur de végétation parmi 5 classes (moins de 5 cm, de 5 à 10 cm, de 10 à 15 cm, de 15 à 20 cm, plus de 20 cm) permet d'évaluer la variabilité en hauteur de végétation, grâce au calcul de l'indice de diversité spécifique de Shannon-Weaver (Shannon & Weaver, 1949) appliqué à ces classes.

L'humidité du sol est estimée sur le terrain afin de qualifier les conditions d'humidité générales de la maille, en complément des mesures de hauteur d'eau. L'humidité du sol est un paramètre important pour l'alimentation des barges, notamment en termes de capacité à sonder efficacement le sol (Kentie, 2015).

Composition floristique

Les principales espèces composant le couvert végétal sont également relevées. Des coefficients d'abondance-dominance adaptés de la classification de Braun-Blanquet leur sont attribués (Braun-Blanquet et *al.*, 1952 In : Meddour, 2011). Les classes suivantes sont constituées : « r et + (0,5) » (<5 %), « 1 » (5 à 20 %), « 2 » (20 à 40 %), « 3 » (40 à 60 %) ou « 4 » (>60 %). Elles sont affectées en considération de chacune des espèces présentes sur la maille d'inventaire.

B/ Etude des modalités de gestion agricole

Protocole d'enquête

Afin d'estimer l'influence des modalités de gestion agricole sur la structure de végétation observée au sein des mailles en 2017, une enquête auprès des exploitants agricoles a été menée aux mois de juin et juillet. L'objectif était d'aboutir à une caractérisation de la gestion agricole sur l'ensemble des mailles ayant fait l'objet de relevés d'habitat. 142 entités de gestion ont ainsi été ciblées par l'enquête.

La gestion agricole de 2016, qui a pu conditionner la structure de végétation observée au printemps 2017 (Tichit et *al.*, 2005b), est ainsi qualifiée. Les pratiques au cours de la nidification en 2017, pouvant notamment avoir un impact en termes de dérangement par piétinement des nids (Sabatier et *al.*, 2015), sont aussi recensées (Annexe 5).

Pour les entités pâturées, une attention est portée au nombre de bêtes, aux dates de mise à l'herbe et à la période de pâturage. La contractualisation en MAEC est elle aussi renseignée (Annexe 6), ainsi que l'historique général de la gestion, mais ces paramètres, appréciés dans un objectif opérationnel, ne sont pas inclus dans les analyses. Les paramètres retenus pour les analyses figurent en Tableau 2.

Tableau 2 : principaux descripteurs de la gestion agricole sur le territoire

PARAMETRE	DESCRIPTION
Jours pâturés en 2016	calcul de la proportion de jours pâturés sur l'entité de gestion (durée de pâturage), par rapport à la période considérée, exprimé en pourcentage. La valeur obtenue est renseignée pour chacune des mailles concernées.
A l'année (% de la période, n = 365 jours)	
Entre le 15 mars et le 31 mai 2016 (% de la période, n = 77j)	
Entre le 1er juin et le 15 août 2016 (% de la période, n = 75j)	
Entre le 16 août et le 31 décembre 2016 (% de la période, n = 137j	
Jours pâturés en 2017	
Entre le 15 mars et le 15 avril 2017 (% de la période, n = 31j)	
Entre le 16 avril et le 31 mai 2017 (% de la période, n = 45j)	
Chargements en 2016	calcul du chargement sur l'entité de gestion pour la période considérée (chargement en bovins, équins, ovins*), en considération du nombre de jours pâturés sur la période et de la (des) valeur(s) de chargement instantané. La valeur obtenue est renseignée pour chacune des mailles concernées. **coefficients UGB : bovin de -6 mois : 0,4 ; bovin entre 6 mois et 2 ans : 0,6 ; bovin de +2 ans : 1 ; équidé de +6 mois : 1 ; ovin : 0,15*
A l'année (UGB*/ha/an) **UGB : Unité Gros Bétail*	
Entre le 15 mars et le 31 mai 2016 (UGB/ha)	
Entre le 1er juin et le 15 août 2016 (UGB/ha)	
Entre le 16 août et le 31 décembre 2016 (UGB/ha)	
Chargements en 2017	
Entre le 15 mars et le 15 avril 2017 (UGB/ha)	
Entre le 16 avril et le 31 mai 2017 (UGB/ha)	
Variables catégorielles	
Pratique agricole en 2016	vocation agricole en 2016 selon 4 catégories : [fauche] ; [fauche & pâturage] (pratique mixte) ; [pâturage strict] (sans gestion des refus) ; [pâturage avec fauche/broyage des refus]
Période de mise à l'herbe en 2016	1ère mise à l'herbe selon 5 catégories : [aucune] ; [printemps] (début mars à fin mai) ; [été] (début juin à début août) ; [automne] (mi-août à fin octobre) ; [hiver] (début novembre à fin décembre/janvier)
Période de mise à l'herbe en 2017	1ère mise à l'herbe selon 4 catégories : [aucune] ; [printemps précoce] (avant mi-mars) ; [printemps] (de mars à mai) ; [été ou automne] (de juin à octobre)

V. Analyse des données d'habitat et de gestion agricole

La totalité de la zone inventoriée pour la caractérisation d'habitat n'ayant pu être renseignée par la suite en termes de gestion agricole, 267 mailles (n_{TOTAL} = 301) réparties au sein de 111 entités de gestion (n_{TOTAL} = 142) sont retenues pour l'ensemble des analyses statistiques. Celles-ci sont effectuées sous le logiciel R 3.3.3 (R Development Core Team, 2005). Le seuil de significativité est fixé à $\alpha < 0,05$.

A/ Constitution de la variable de présence

La caractérisation de l'habitat de la zone d'étude s'est basée sur un plan d'échantillonnage régulier. Pour mettre en lien ces conditions avec la nidification de la Barge à queue noire, il était nécessaire de partir d'une estimation de la probabilité de présence de l'espèce au sein de chacune des mailles.

Une pré-sélection des mailles de présence a été établie sur la base de leur localisation au sein d'une même entité de gestion où au moins un couple était présent en mai 2017. Au vu des différences de surface entre les entités de gestion, il n'est pas certain que l'ensemble des mailles d'une même entité reflète les conditions d'habitat des individus qui y nichent. Ainsi, la sélection des mailles de présence est basée sur la proximité de chaque maille aux individus nicheurs au sein de l'entité de gestion concernée. Sous SIG, la distance de chaque maille à la barge la plus proche est estimée, à l'aide de zones-tampons de 230 m de rayon autour de chaque couple nicheur. Les mailles situées à moins de 230 m d'un couple nicheur sont conservées. Cela aboutit à un total de 38 mailles de présence.

B/ Caractérisation de l'habitat prairial

Approche exploratoire : analyse factorielle des paramètres d'habitat

L'Analyse mixte de Hill et Smith (AHS) permet de résumer l'information contenue dans le jeu de données (Hill & Smith, 1976). Cette analyse multivariée, réalisée à des fins exploratoires, conserve le caractère mixte (qualitatif et quantitatif) d'un jeu de données. La fonction « dudi.mix » (package « ade4 »), cas généralisé de l'analyse de Hill et Smith, permet de traiter les variables qualitatives ordinales.

Le nombre de composantes (ou axes factoriels) conservées est établi selon le critère du Coude de Cattell par visualisation du diagramme de décroissance des valeurs propres. Les premiers axes d'une AHS portent la plus grande part de l'inertie (variance) totale du jeu de données. Les variables les plus contributives à la formation des axes sont retenues pour des valeurs de coefficient de détermination ou rapport de corrélation supérieures à 0,3. Cette AHS est nommée AHS n°1.

Estimation des liaisons entre variables

En complément des corrélations estimées grâce à l'AHS n°1 et en appui à l'interprétation, les liaisons entre variables explicatives quantitatives sont renseignées sous la forme d'une matrice de corrélation (Annexe 7). Celle-ci est générée sur la base des coefficients de corrélation de Spearman ; les distributions des variables ne suivant pas une Loi normale (test de Shapiro). Les significativités statistiques des corrélations sont prises en compte. Les liaisons entre variables qualitatives sont calculées sur la base du test d'indépendance du Khi-2 après vérification de la règle de Cochran, ou d'un test exact de Fisher dans le cas contraire.

Classification par partitionnement : constitution d'une typologie prairiale

Afin de distinguer des profils prairiaux à partir des paramètres retenus, une classification est opérée sur le jeu de 267 mailles. Cette classification se base sur l'AHS n°1 dans l'objectif de dresser les principaux profils prairiaux de la zone d'étude. Il s'agit de regrouper les mailles correspondant à des critères de végétation ou d'humidité semblables. Afin de savoir si les individus statistiques sont réellement classables, la statistique de Hopkins est calculée, permettant d'estimer le degré de structuration des individus (Guigourès, 2013). Cette statistique (fonction « hopkins » du package « clustertend ») fournit une valeur

comprise entre 0 (individus structurés) et 0,5 (distribution aléatoire).

La matrice de distance euclidienne entre mailles est générée à partir de la table normalisée par l'AHS. Une classification par partitionnement basée sur la méthode des K-médoïdes (Partitionnement Autour de Médoïdes – PAM, fonction « pam » du package « cluster ») est opérée. Cette méthode est estimée statistiquement plus robuste qu'une Classification par Ascendance Hiérarchique (Cornillon et *al*., 2008) et peu sensible aux individus extrêmes (Park & Jun, 2009).

Le PAM permet de former des groupes d'individus statistiques en minimisant la distance d'un individu d'un profil à l'individu médian (central) de ce groupe. Le nombre de groupes étant fixé à l'avance, plusieurs essais sont réalisés (pour 2 à 6 groupes) à l'aide de la fonction « pam ». Les valeurs des coefficients de silhouette moyens obtenus pour chacun des partitionnements sont ensuite comparées. Le partitionnement à valeur de coefficient la plus élevée est retenu.

Qualité de la typologie et caractérisation des groupes

La significativité de l'appartenance de chaque individu au groupe (ou profil) fait l'objet d'une vérification pour chaque variable explicative. Il s'agit d'estimer la qualité de la classification et de déterminer les meilleurs descripteurs d'un profil parmi l'ensemble des variables d'habitat.

Pour cela, le test d'indépendance du Khi-2 est appliqué aux variables qualitatives. Il s'agit d'estimer si la répartition des mailles selon les modalités d'une variable donnée est significativement liée à la typologie établie. Dans le cas de non-respect de la règle de Cochran, le test exact de Fisher peut être utilisé.

En raison de l'absence de normalité dans la distribution des variables (estimée via le test de Shapiro), le test non-paramétrique Kruskal-Wallis est appliqué sur les variables quantitatives, suivi, quand au moins deux médianes différent entre elles, d'un test *post-hoc* de comparaisons multiples (selon la méthode de Fisher des plus petites différences significatives, avec ajustement des p-values selon la méthode de Holm ; fonction « kruskal() » du package « *agricolae* »).

C/ Composition floristique

La description de la physionomie des prairies du territoire au travers de la typologie établie est complétée par l'analyse de la composition floristique. Ce paramètre a été appréhendé en-dehors de l'ensemble des autres variables d'habitat, la structure de végétation ayant été supposée plus importante dans le choix du site de nidification. 234 mailles ont pu être décrites en termes de composition floristique du couvert, après exclusion des relevés fragmentaires au sein du jeu de 267 mailles.

Les relevés effectués sur ces mailles sont classés sous le logiciel Excel® (2007) par adaptation de la méthode des tableaux et diagonalisation, décrites par Meddour (2011). Plusieurs classes sont identifiées à partir des espèces recensées (Annexe 8). Les relevés les plus semblables sont regroupés en sous-ensembles selon la classe et le coefficient d'abondance-dominance. Des « groupements floristiques » sont distingués à partir des comparaisons établies.

Les attributs floristiques sont confrontés à la typologie prairiale établie. Après vérification de la règle de Cochran, la liaison éventuelle entre la composition floristique et les profils prairiaux est évaluée à l'aide d'un test exact de Fisher. Etant donné le nombre important de modalités (ou classes), la p-value n'est pas exacte mais obtenue à l'issue d'une simulation ($1{,}00^7$ réitérations).

D/ Caractérisation de la gestion agricole en lien avec les paramètres d'habitat

Une seconde AHS mêle variables d'habitat et variables agricoles, de manière à offrir une visualisation des liaisons entre ces deux types de paramètres et de la répartition des mailles-cibles. La typologie prairiale et les variables de mise à l'herbe sont projetées dans les graphiques générés mais ne sont pas incluses à la formation des axes. Il s'agit de l'AHS n°2.

En complément de l'AHS, une estimation des liaisons entre les paramètres quantitatifs est effectuée

à l'aide d'une matrice de corrélation, comprenant à la fois les variables d'habitat et de gestion agricole (Annexe 9). Les liaisons entre variables qualitatives sont visualisées à l'aide du test d'indépendance du Khi-2, ou encore du test exact de Fisher (après vérification de la règle de Cochran).

Les liens entre les paramètres quantitatifs de gestion agricole et les profils prairiaux sont estimés via le test non-paramétrique Kruskal-Wallis avec test *post-hoc* de comparaisons multiples (selon la méthode de Fisher des plus petites différences significatives). Les effets des paramètres qualitatifs sont appréhendés via le Khi-2 d'indépendance ou, à défaut, du test exact de Fisher.

E/ Définition des facteurs influents vis-à-vis de la distribution des couples nicheurs

Approche exploratoire

La variable de présence/absence de *Limosa l. limosa* n'est pas incluse dans celles participant à la construction des axes factoriels des deux AHS, mais visualisée dans les graphiques produits en sortie. La position de chacune des mailles de présence est ainsi estimée au regard de l'ensemble des paramètres et des autres mailles inventoriées.

Une approche descriptive de la répartition des mailles de présence au sein de la typologie prairiale est menée en parallèle. Le lien entre la présence de barges et la typologie est visualisé via un test du Khi-2.

Estimation des facteurs via le Modèle Linéaire Généralisé (GLM)

En complément de l'approche exploratoire réalisée par le biais des deux AHS, ainsi que de la typologie constituée, il semblait important de quantifier le pouvoir explicatif des différents paramètres retenus vis-à-vis de *Limosa l. limosa*. Les paramètres d'habitat et de gestion agricole sont analysés dans le même temps, bien que la gestion agricole pratiquée en 2016 soit supposée avoir un effet indirect.

La significativité de l'influence des variables quantitatives est estimée à l'aide de la régression logistique. La variable à expliquer étant codée en présence/absence, la régression suit la Loi Binomiale. Il s'agit d'un cas particulier du Modèle Linéaire Généralisé (Generalized Linear Model - GLM). Les variables entrées dans ce modèle font l'objet d'un examen des corrélations (Annexe 9). Seules des variables quantitatives non-corrélées (au seuil 75 %) sont retenues pour ce modèle.

La fontion « glm » employée (argument « family = binomial (logit) ») pour construire le modèle complet sur lequel la fonction « step » (package « MuMIn ») est appliquée. Cela permet d'estimer les différents modèles « pas-à-pas » selon une stratégie descendante (Cornillon et *al*., 2008). Le modèle proposant le critère d'information d'Akaike (Akaike Information Criterion ou AIC) le plus faible, c'est-à-dire le modèle le plus parcimonieux, est retenu et présenté en résultats.

La fonction « lrm » (package « rms ») est ensuite utilisée afin d'obtenir plusieurs indices nécessaires à l'estimation de la qualité d'ajustement du modèle. Cette fonction fournit notamment les résultats du test du Maximum de Vraisemblance par rapport au modèle nul. Parmi les indicateurs de qualité du modèle, le coefficient R^2 de Nagelkerke (pseudo-R^2) peut être estimé afin de rapprocher l'interprétation de celle menée vis-à-vis d'une régression linéaire à travers la valeur du coefficient de détermination (Nagelkerke, 1991). Plus la valeur du R^2 Nagelkerke est proche de 1, meilleur est l'ajustement du modèle aux conditions observées. En complément, le test d'estimation de la qualité d'ajustement d'Hosmer-Lemeshow est généré (fonction « hoslem.test() », package « ResourceSelection »). Ce test est basé sur le principe d'une comparaison entre valeurs prédites par le modèle et valeurs observées (Rakotomalala, 2017).

Les liens éventuels entre la variable de présence et les variables qualitatives sont quant à eux estimés via le test du Khi-2 d'indépendance (ou le test exact de Fisher).

Partie 2 : Résultats

I. Effectifs et distribution spatiale des couples nicheurs de Barge à queue noire

A/ Effectifs nicheurs et approche comparative 2016/2017

Bien que plus de 30 couples probables aient pu être recensés au début des années 2000, les effectifs nicheurs de *Limosa l. limosa* en Brière ont connu une nette diminution à partir de l'année 2012, où moins de 15 couples ont été observés (Annexe 10). En 2016, 17 couples probables ont été recensés sur la période du 15 avril au 14 mai, ainsi que 3 couples possibles (Fig. 6 ; Annexe 10). A l'issue des prospections menées entre le 15 avril et le 31 mai 2017, l'estimation était d'entre 20 et 25 couples (20 couples probables et 5 couples possibles) occupant les sites de reproduction à l'échelle de 15 entités de gestion (Fig. 6). Un grand nombre d'estivants non nicheurs a été noté.

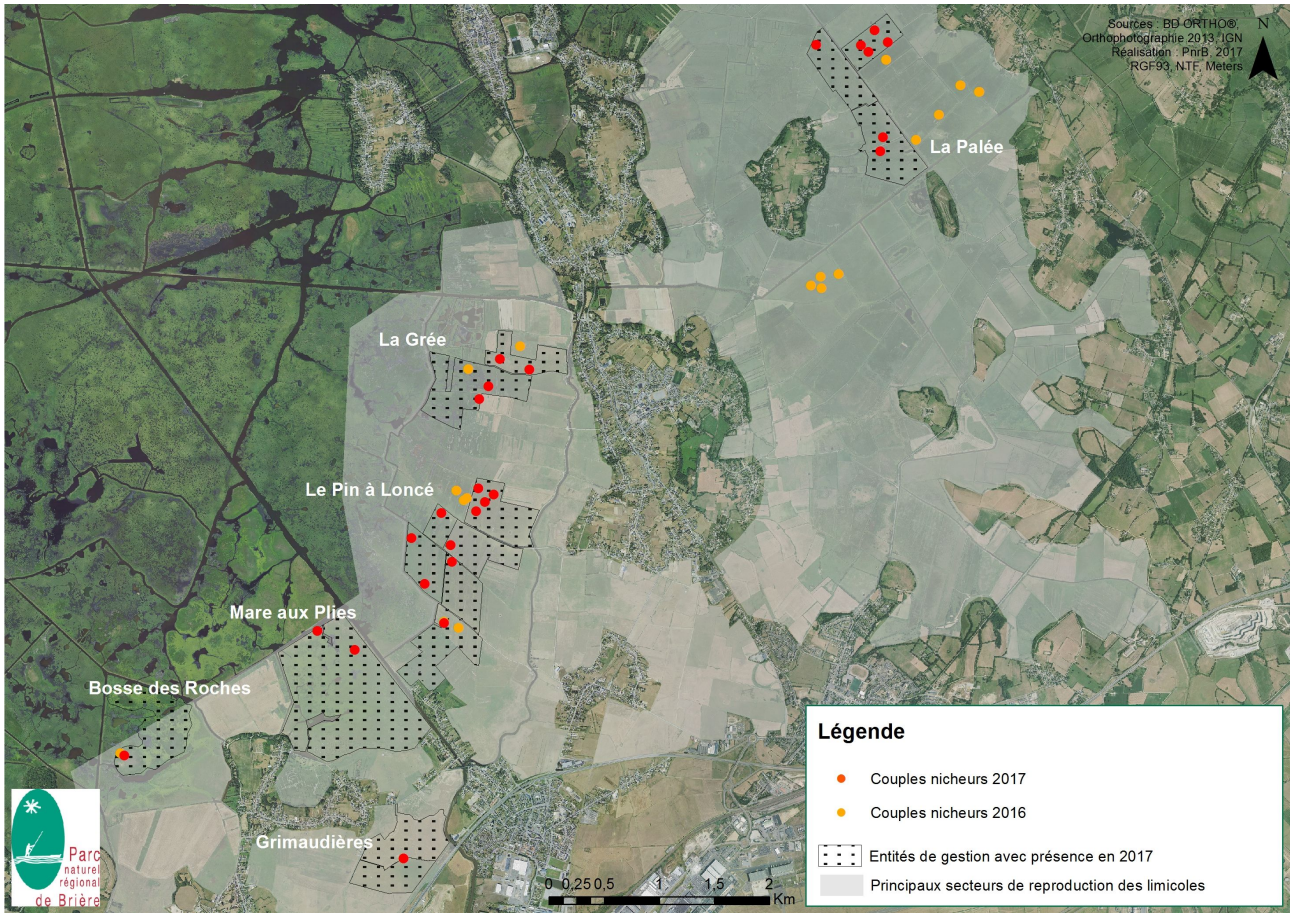


Figure 6 : Localisation des couples nicheurs en 2016 et 2017

Les couples ont occupé des sites de reproduction spatialement proches entre 2016 et 2017, voire une entité de gestion agricole identique entre les deux années dans certains cas (Fig. 6). Cela a été confirmé par l'étude des données historiques (période 1995-2015).

Une restriction de la surface occupée par les barges en 2017 en Boulaie a été notée par rapport à 2016, bien que le nombre de couples n'ait pas fortement diminué (9 en 2016, 7 en 2017). En effet, l'un des sites historiques, les « Prés fourrés », ne semble pas avoir accueilli de nicheurs en 2017 (Fig. 6). Ce site localisé en Moyen-Brivet (secteur « Boulaie ») accueillait 4 couples nicheurs en 2016. Des observations d'individus de *Limosa l. limosa* y ont été faites au début du printemps, sans qu'aucun indice de nidification ne soit relevé par la suite. Les données historiques mentionnent une occupation régulière du site depuis les années 1990 ainsi que, pour certaines années, la présence de couples nicheurs au sud de la zone.

En Boulaie, les couples identifiés en 2017 sont localisés au sein de « La Palée », un peu plus au nord et à l'ouest de ceux observés en 2016 dans ce site. 4 couples de La Palée sont localisés au sein d'une même entité de gestion de 13 hectares environ (Fig. 6).

A l'inverse, des couples isolés, éloignés de plus de 1500 m des autres individus nicheurs, ont été recensés dans le sud du secteur de Brière (Fig. 6). Un couple nicheur isolé était présent en Grande Brière sur la « Bosse des Roches ». Ce fut aussi le cas en 2016. Par ailleurs, un couple isolé est noté en 2017 au sein des prairies des « Grimaudières » (Fig. 6) où paradaient plusieurs individus en 2016.

De manière générale, tandis que la Boulaie a observé une légère baisse du nombre de couples nicheurs, le secteur de la Brière (notamment le site du Pin à Loncé ; Fig. 6) a accueilli davantage d'individus en 2017 qu'en 2016 : 15 à 18 couples ont été localisés au sein de ce secteur, contre 7 en 2016.

Les variations dans le nombre et la répartition des couples nicheurs de 2017 par rapport à l'année précédente sont à prendre en considération. Néanmoins, ces couples sont tous localisés au sein des secteurs de Brière et Boulaie et dans des sites historiques. Aucun couple nicheur de *Limosa l. limosa* n'a été recensé au sein des prairies des autres secteurs prospectés.

B/ Résultats du modèle d'analyse spatiale

Le modèle d'analyse spatiale montre, à l'échelle de l'ensemble des secteurs de prospection (5480,26 ha), une agrégation des couples nicheurs en 2017, avec une distance moyenne observée de 357,38 m (distance attendue : 740,29 m). Les couples étaient significativement agrégés (R_{VOISIN} = 0,48, Z = -4,95, p = 0,000001).

Cette agrégation est également perçue à l'échelle, plus fine, des secteurs de Brière et Boulaie (3964,87 ha). La distance moyenne observée, de 357,38 m, a été confrontée à celle, théorique, de 629,67 m. A cette échelle, le caractère agrégatif de la répartition est lui aussi significatif (R_{VOISIN} = 0,57, Z = -4,14, p = $3{,}5^{-05}$).

II. Caractérisation des prairies du territoire

A/ Description générale

301 mailles ont pu être inventoriées sur la période du 5 au 23 mai 2017 (Annexe 11) et 267 retenues pour les analyses statistiques, car coïncidant avec les entités inventoriées pour la gestion agricole. 14,23 % des mailles d'inventaire (n_{TOTAL} = 267, n_{LIMOSA} = 38) attestent de la présence de Barge.

Au sein de la zone d'étude prospectée, les mailles au sol complètement saturé en eau sont fortement représentées (environ 50 %) au mois de mai 2017, avec également une part importante de sols en conditions sèches (28 % environ) (Annexe 12). La végétation y est souvent décrite comme dense, voire très dense (Annexe 12). Pour la majorité des mailles, les touffes enherbées (touffes de végétation plus hautes de 10 cm) sont peu représentées (Annexe 12).

Les mailles caractérisées sont distantes d'une surface en eau libre de 114,27 m (± 98,41) en moyenne : cette distance variant entre 0 et 480 m environ (Annexe 12). La hauteur de végétation au mois de mai y est supérieure à 20 cm dans 66,67 % des cas et la hauteur d'eau faible (moins de 5 cm) dans 61 %.

B/ Estimation des paramètres prairiaux par le biais de l'analyse de Hill et Smith

L'analyse de Hill & Smith a ciblé 8 variables d'habitat. Afin de caractériser l'habitat prairial à l'aide de l'AHS, deux composantes principales représentant 44,71 % de l'inertie totale ont été conservées (25,92 % pour l'axe 1 et 18,79 % pour l'axe 2 (Annexe 13 ; Annexe 14).

L'axe 1 est représentatif des conditions d'humidité tandis que l'axe 2 révèle davantage le type de couvert végétal observé (Fig. 7 ; Annexe 15).

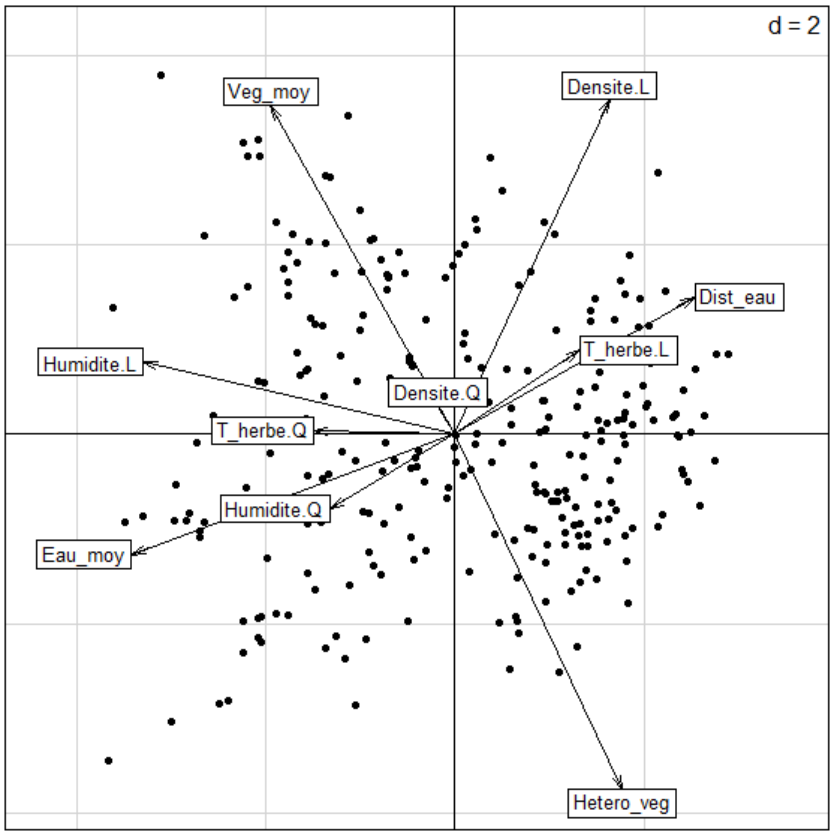


Figure 7 : Projection simultanée des mailles et des variables d'habitat dans le plan factoriel de l'AHS n°1.

Hetero_veg : indice d'hétérogénéité des hauteurs de végétation ; Veg_moy : hauteur moyenne de végétation ; Eau_moy : hauteur d'eau moyenne ; Dist_eau : distance à l'eau ; T_herbe : fréquence de touffes enherbées (T_herbe.Q : aucune touffe enherbée ou épars, T_herbe.L : touffes enherbées abondantes) ; Densite : densité du couvert (Densite.Q : couvert clairsemé, Densite.L : couvert très dense) ; Humidite : humidité du sol (Humidité.Q : sol sec, Humidite.L : sol à saturation maximale)

L'axe 1 discrimine les mailles dont le sol est saturé en eau avec des hauteurs d'eau moyennes relativement élevées, proches des surfaces en eau libre, des mailles dont le sol est plus sec au mois de mai, et qui sont plus éloignées de ces surfaces (Fig. 7). L'axe 2 distingue les mailles au couvert dense et à végétation haute (avec homogénéité des hauteurs sur la maille) de celles à végétation plus basse mais avec davantage de variabilité dans la hauteur des plantes.

Les variables de hauteur de végétation et d'hétérogénéité des hauteurs sont corrélées négativement dans le plan factoriel (ce qui se vérifie par l'étude des corrélations selon Spearman : $c_{SPEARMAN}$ = -0,67 ; Fig. 7 ; Annexe 16). Les mailles au couvert bas sont les plus diversifiées en termes de hauteur sur l'ensemble de la maille. Les mailles au couvert haut tendent au contraire vers une homogénéité des hauteurs de plantes. De même, la distance à la surface en eau libre la plus proche est corrélée négativement à la hauteur d'eau moyenne sur la maille ($c_{SPEARMAN}$ = -0,61). Il s'agit des seules corrélations notables ; les variables de hauteur de végétation et d'eau n'étant que légèrement liées entre elles ($c_{SPEARMAN}$ = 0,34).

Les mailles au sol peu humide peuvent bénéficier d'un couvert très dense (Annexe 17) mais la végétation peut aussi y être très clairsemée. Les touffes enherbées y sont légèrement plus fréquentes. Ces mailles en conditions sèches au printemps s'opposent ainsi sur l'axe 1 aux mailles dont le sol est très saturé en eau (Fig. 7 ; Annexe 18).

Pour des degrés d'humidité semblables au mois de mai, des différences importantes en termes de hauteur de végétation peuvent s'observer (Fig. 7 ; Annexe 17 ; Annexe 18).

C/ Typologie des prairies du territoire

La classification prairiale des mailles précise les différences observées dans le plan factoriel de l'AHS n°1. Le calcul de la statistique de Hopkins fait état d'une structuration peu prononcée des mailles (H = 0,25), néanmoins les groupes sont bien distincts dans le plan (Fig. 8). Cette typologie est en trois groupes, ou profils prairiaux (Coefficient de Silhouette Moyen : 0,46), représentés dans le plan factoriel de l'AHS n°1 (Fig. 8). Le profil 1 regroupe 132 mailles tandis que les profils 2 et 3 comprennent, respectivement, 69 et 66 mailles.

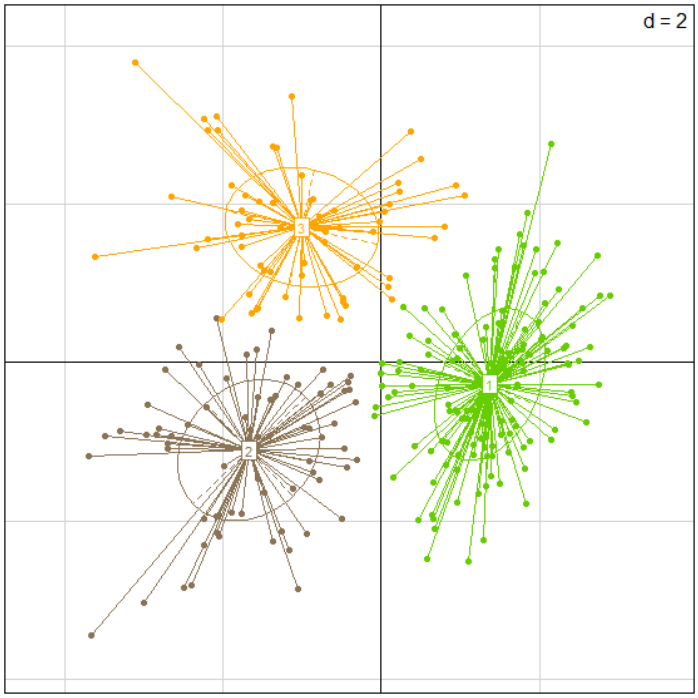


Figure 8 : Typologie prairiale en Brière et Boulaie projetée dans le plan factoriel de l'AHS n°1. En vert : profil 1 (n = 132), en marron : profil 2 (n = 66) et en orange : profil 3 (n = 66).

Au sein de la typologie, les trois profils se distinguent bien les uns des autres en matière de hauteur de végétation (df = 2, Khi-2 = 89,71, $p < 2{,}2^{-16}$; Fig. 9 ; Annexe 12 ; Annexe 19). Pour autant, c'est surtout le profil 3 (41,68 cm ± 15,20) qui semble attester de la différence la plus marquée vis-à-vis des deux autres profils (Annexe 12), pour lesquels la hauteur de végétation moyenne au printemps est inférieure à 25 cm. De même, les 3 profils constitués se différencient les uns des autres pour les valeurs de hauteur d'eau (df = 2, Khi-2 = 194.77, $p < 2{,}2^{-16}$; Fig. 8 ; Annexe 19). Le profil 1 se distingue bien pour ce paramètre : la hauteur d'eau en mai y est plus faible (Fig. 9 ; Annexe 12).

De même, la distance à l'eau (df = 2, Khi-2 =89,71, $p < 2{,}2^{-16}$) et l'indice d'hétérogénéité des hauteurs de végétation (df = 2, Khi-2 = 129,57, $p < 2{,}2^{-16}$) différencient les trois profils.

La typologie établie est par ailleurs dépendante de l'humidité du sol (df = 8, Khi-2 = 202,96, $p < 2{,}2^{-6}$), de la densité du couvert (df = 8, Khi-2 = 102,25, $p < 2{,}2^{-06}$), ainsi que de la fréquence de touffes enherbées ($p = 4{,}107^{-07}$) pour laquelle le profil 1 semble se distinguer des autres (Annexe 20). Les mailles à touffes enherbées « occasionnelles » et « fréquentes » sont quasi-exclusivement en profil 1 (Annexe 12). L'ensemble des mailles du profil 2 sont sur des sols complètement saturés en mai et les couverts très denses sont surtout observés dans le profil 3.

Les mailles du profil 2 (Fig. 9) sont recensées en grande majorité au sein du secteur de Brière et, dans une moindre mesure, dans la partie ouest de la Palée (Annexe 21). Ce profil prairial correspond aux mailles proches des plans d'eau de Grande Brière Mottière. Le profil 3 est surtout retrouvé aux marges de la zone d'étude (Annexe 21). Les mailles de profil 1 (représenté par près de la moitié des mailles de l'échantillon total) sont quant à elles bien réparties sur la zone d'étude (Annexe 21). Il importe de préciser que les trois profils peuvent être retrouvés au sein d'une même entité de gestion.

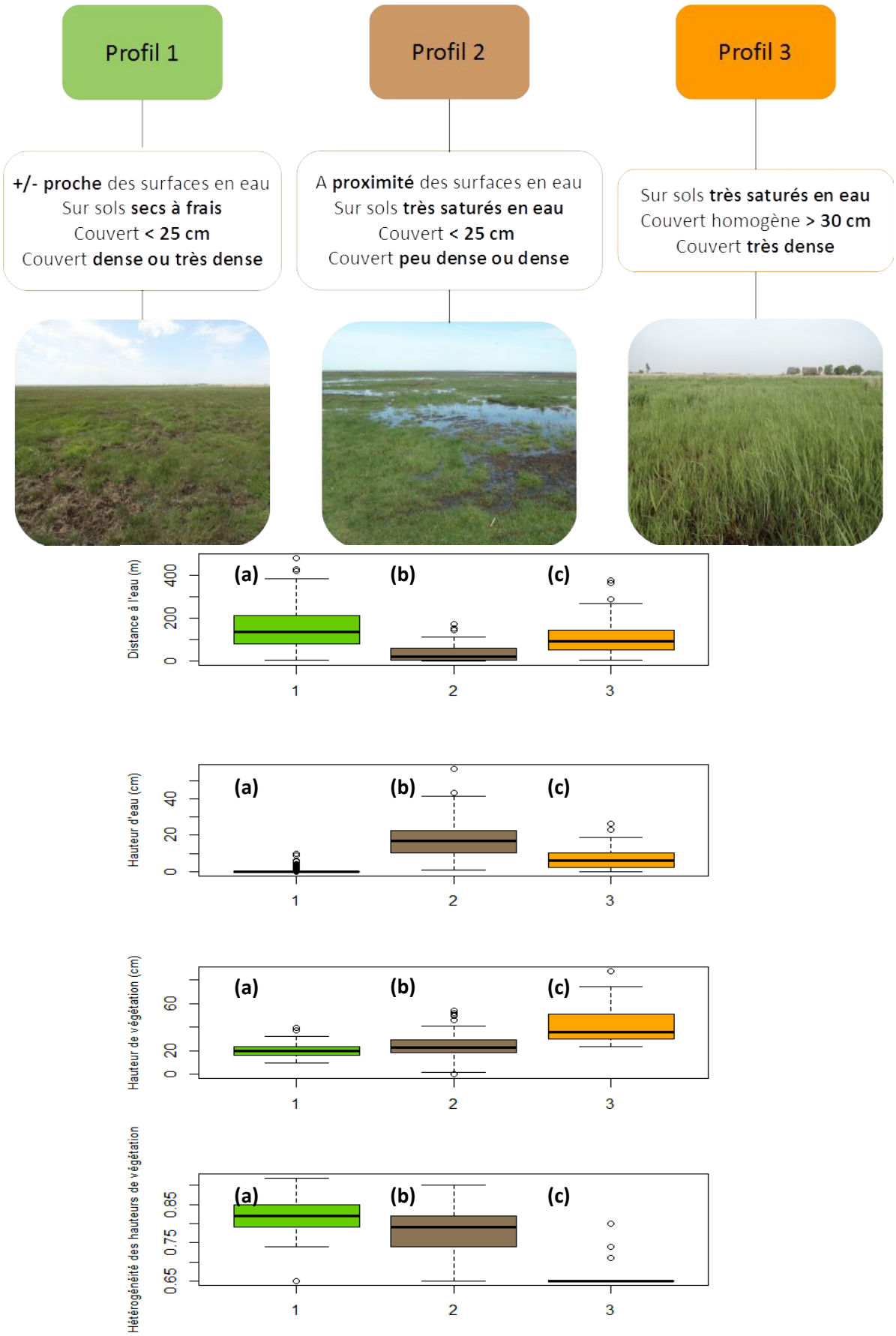


Figure 9 : Principales caractéristiques des profils prairiaux de la typologie établie, en rapport avec 4 variables discriminantes

D/ Typologie prairiale et composition floristique

Parmi les « groupements floristiques » identifiés, le groupement « *Agrostietea* » rassemble les relevés où les espèces rattachées à la classe *Agrostietea stoloniferae* sont très représentées. Un groupement transitoire, « *Agrostietea vers Phragmito* », est marqué par la présence d'espèces à la fois de la classe *Agrostietea stoloniferae* et de la classe *Phragmito australis - Magnocaricetea elatae*. « *Phragmito* » est un groupement à présence quasi-exclusive d'espèces de la classe *Phragmito australis - Magnocaricetea elatae*.

Des regroupements plus spécifiques sont apparus à l'analyse. Les relevés avec présence de *Ludwigia grandiflora*, invasive aquatique, sont rassemblés en un groupement nommé « *Ludwigia (Glycerio)* ». De même, le groupement « *Lolium (Arrhenatheretea)* » répond à l'identification de *Lolium perenne* au sein de plusieurs relevés. Le groupement « *Bolboschoenus (Phragmito)* » est également distinct (relevés avec présence de « *Bolboschoenus maritimus* »). Les relevés où aucune espèce n'est notée ou à recouvrement végétal faible sont rassemblés au sein du groupement « Faible recouvrement ».

Ainsi, « *Agrostietea* » domine l'ensemble des relevés (62,82 % soit n = 147). Ce groupement est marqué par la présence d'un sous-groupe floristique comprenant les espèces *Agrostis stolonifera* et *Eleocharis palustris* (plus de 70 % du groupement). « *Agrostietea vers Phragmito* » est le second groupement le plus représenté, mais à raison de 15,38 % (n = 36) de l'échantillon total (n = 234).

Les groupements floristiques font état d'une liaison significative avec la typologie prairiale ($p_{(simulée)}$ = $1{,}00^{-07}$; Fig. 10).

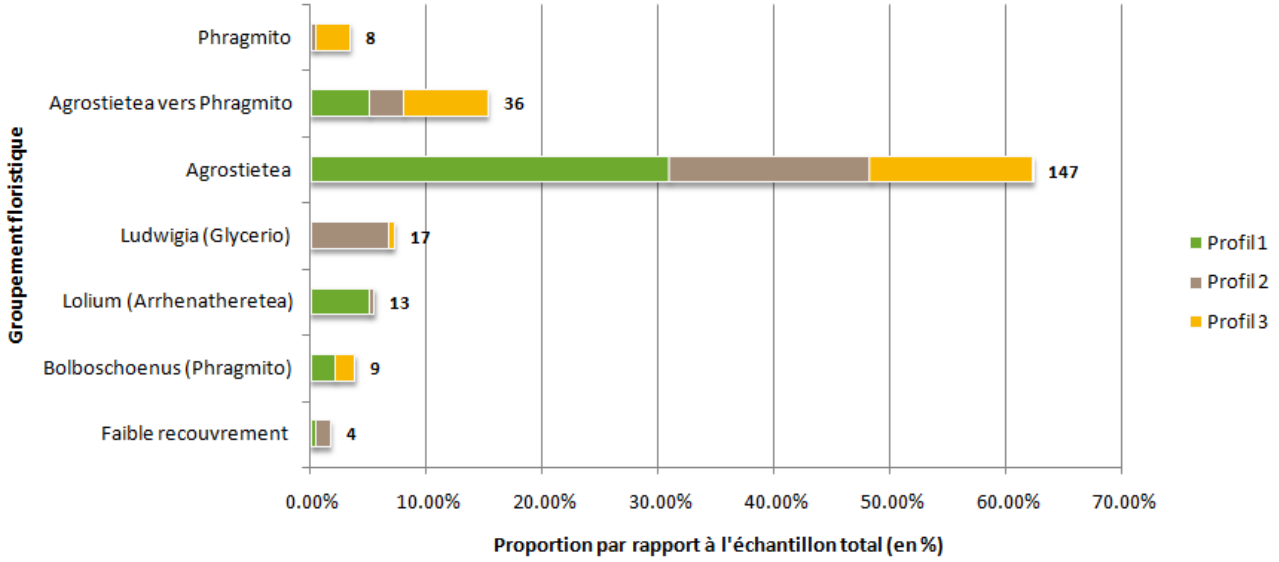


Figure 10 : Répartition des mailles d'inventaire parmi les principaux groupements floristiques, en rapport avec la typologie prairiale (en % de l'échantillon total avec n = 234). Les effectifs de chaque groupement au sein de l'échantillon total sont précisés.

Le groupement « *Lolium (Arrhenatheretea)* », qui correspond à moins de 6 % du total des mailles, est présent quasi-exclusivement dans le profil 1 (12,62 % du profil, $n_{PROFIL\ 1}$ = 103 ; Fig. 10). Il convient de rappeler que le profil 1 comporte plus de mailles que les profils 2 et 3. Plus de la moitié du groupement « *Agrostietea* » est recensé dans le profil 1, de manière à constituer 70,87 % de ce profil prairial (n = 73). D'autre part, le groupement « *Agrostietea vers Phragmito* » correspond à 11,65 % du profil 1 (n = 12).

Le groupement « *Ludwigia (Glycerio)* » correspond à 23,19 % du profil 2 (n = 16, $n_{PROFIL\ 2}$ = 69 ; Fig. 10). Il est présent quasi-exclusivement dans ce profil prairial, où le groupement « *Agrostietea* » est par ailleurs dominant à 59,42 % (n = 41). Les mailles identifiées comme à « Faible recouvrement » sont en petits effectifs (4) au sein de l'échantillon total et 3 d'entre elles sont recensées en profil 2.

Le groupement « *Phragmito* » (3,40 % de l'ensemble des mailles) est présent quasi-exclusivement au sein du profil 3 ($n_{PROFIL\ 3}$ = 62 ; Fig. 10). Il correspond à 11,29 % (n = 7) de ce profil. Le profil 3 est également marqué, outre la proportion élevée de mailles du groupement « *Agrostietea* » (53,22 %, n = 33), par la présence du groupement « *Agrostietea vers Phragmito* » (27,41 %, n = 17).

De manière général, les profils 1 et 2 comprennent peu de mailles avec présence d'espèces appartenant à la classe *Phragmito australis - Magnocaricetea elatae,* notamment les groupements floristiques « *Phragmito* » et « *Agrostietea vers Phragmito* » (11,76 % du profil 1 et 11,59 % du profil 2 ; Fig. 10). En revanche, cela correspond à 38,71 % du profil 3.

III. Caractérisation des pratiques agricoles sur le territoire

A/ Résultats généraux à l'issue de l'enquête

L'analyse des entretiens (pour un total de 29 exploitants, CSBGM comprise) confirme la prédominance de l'activité de pâturage sur la zone d'étude qui, pour l'année 2016, représente 77,47 % des entités de gestion étudiées ($n_{PATURAGE}$ = 86 ; n_{TOTAL} = 111 ; Fig. 11 ; Annexe 22). Ce chiffre comprend les entités gérées en pratique mixte (fauche et pâturage), qui correspondent à 13,51 % de la zone d'étude. Le pâturage exclusif (aucune fauche) représente 63,96 % des entités. Parmi celles-ci, 46,48 % ont fait l'objet d'un broyage ou d'une fauche des refus en 2016. Le pâturage sur la zone d'étude est essentiellement bovin.

22,52 % des entités ont uniquement fait l'objet d'une fauche en 2016 (Fig. 11).

Sur le territoire, les entités pâturées en 2016 (en pâturage exclusif ou pratique mixte) sont marquées par un chargement annuel plutôt faible : la moyenne est de 0,41 UGB/ha/an (± 0,26), avec un maximum à 1,12 UGB/ha/an (Annexe 23).

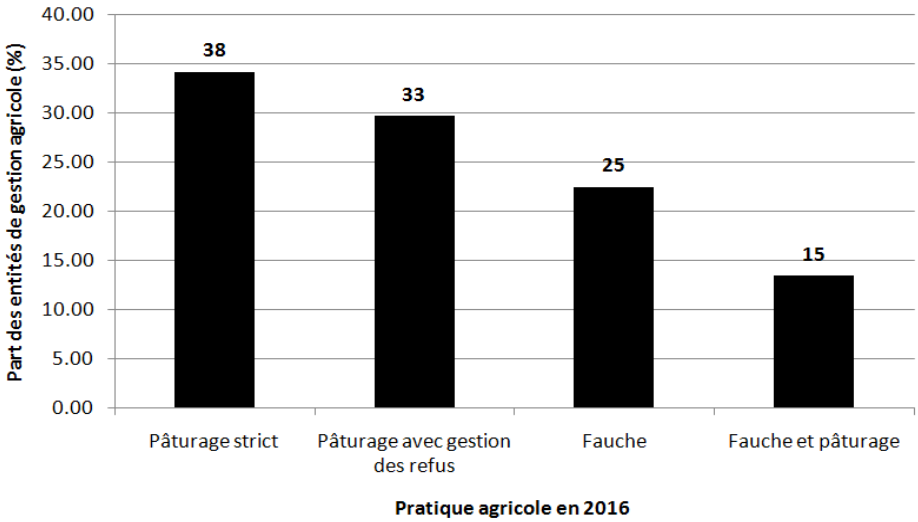


Figure 11 : Pratiques agricoles dominantes sur la zone d'étude (2016)

B/ Mise en lien des paramètres d'habitat avec la gestion agricole des prairies

Représentation des variables agricoles et d'habitat (AHS n°2)

20 variables explicatives jouent dans la formation des axes de la seconde AHS (Fig. 12). Les variables d'habitat et de gestion agricole ont été intégrées dans le même temps. Deux axes factoriels ont été conservés. Ils expliquent 39,98 % de l'inertie totale (25,02 % sur l'axe 1, 14,96 % sur l'axe 2 ; Annexe 24 ; Annexe 25). Ce sont essentiellement les variables agricoles qui se sont exprimées dans la formation des 2 axes (Fig. 13).

Pour la description des axes, le seuil de 0,4 est sélectionné afin de retenir les variables contributives les plus pertinentes. L'axe 1 est donc plutôt indicateur de la pratique en 2016 ainsi que de la gestion agricole au printemps 2016 et au milieu du printemps 2017 et à l'année. Les plus forts coefficients sont notés pour le chargement et les jours pâturés à l'année 2016 ainsi que les jours pâturés au milieu du printemps 2017 (Annexe 26). La majorité des variables de gestion agricole contribuent fortement à cet axe. L'axe 2 donne davantage d'indications sur la gestion au début du printemps 2017 (Annexe 26). L'axe 2 est aussi (mais faiblement) décrit par l'humidité du sol (Fig. 13).

Hauteur de végétation		Veg_moy
Hétérogénéité des hauteurs de végétation		Hetero_veg
Hauteur d'eau		Eau_moy
Distance à l'eau		Dist_eau
% jours pâturés et chargement à l'année (2016)	→	ANJOUR & ANCHAR
% jours pâturés à 3 périodes de l'année (2016)		A1JOUR & A1CHAR, A2JOUR & A2CHAR,
A1 : printemps/A2 : été/A3 : automne-hiver		A3JOUR & A3CHAR
% jours pâturés et chargement au début du printemps (2017)		P1JOUR & P1CHAR
% jours pâturés et chargement au milieu du printemps (2017)		P2JOUR & P2CHAR
Fréquence de touffes enherbées		T_herbe.Q (épars) à T_herbe.L (abondantes)
Densité du couvert		Densite.Q (clairsemé) à Densite.L (très dense)
Humidité du sol	→	Humidite.Q (sec) à Humidite.L (saturation maximale)
Pratique agricole : fauche, fauche & pâturage, pâturage strict, pâturage avec gestion des refus		Prati.Fauche, Prati.Fauche..Paturage, Prati.Paturage, Prati.Paturage..broyage.refus

Figure 12 : Schéma synthétique des variables décrivant l'habitat prairial et la gestion agricole incluses dans l'AHS n°2

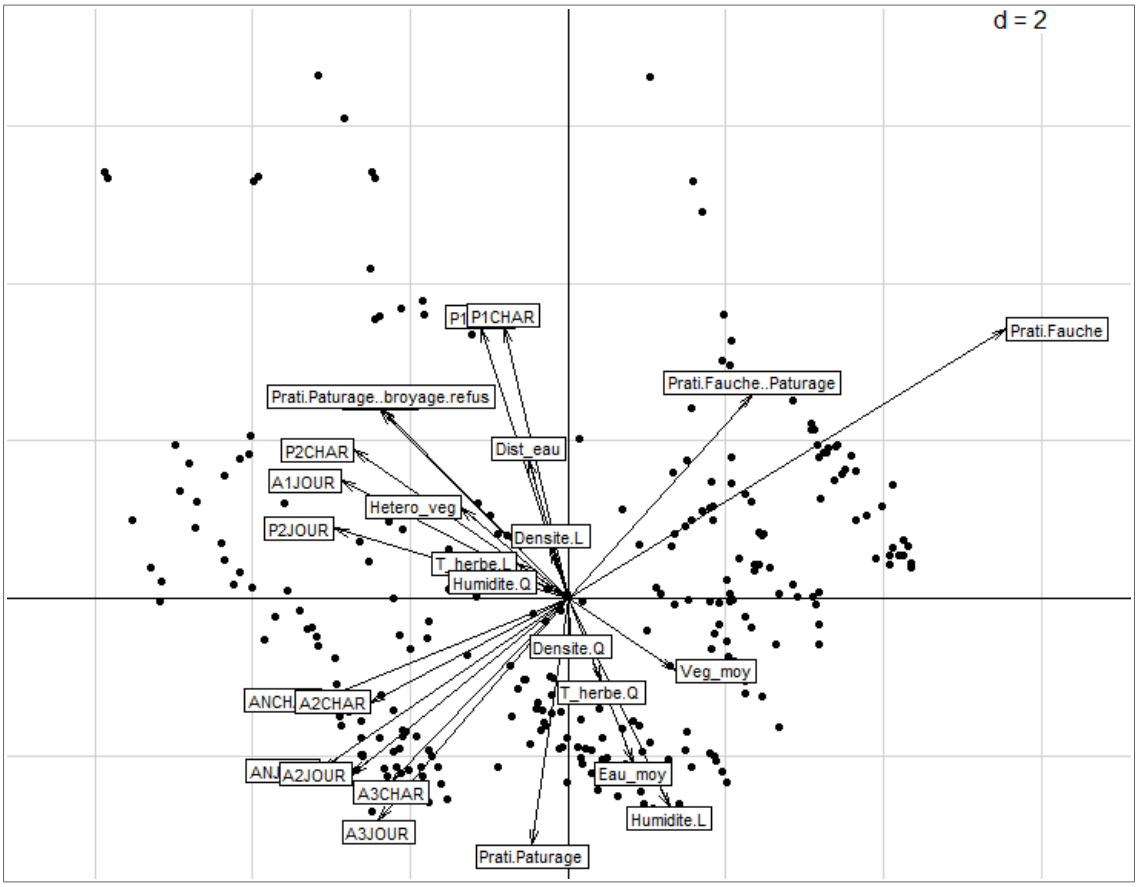


Figure 13 : représentation conjointe des variables et des mailles dans le plan factoriel de l'AHS n°2.

L'AHS n°2 montre surtout des relations étroites entre les différentes variables de gestion agricole.

Ainsi, pour une même période, les variables de chargement sont corrélées positivement à celles de la proportion de jours pâturés. De plus, les variables de chargement et de jours pâturés au milieu du

printemps 2017 sont corrélées positivement aux variables de gestion au printemps 2016. De même, un lien positif est noté entre la proportion de jours pâturés à l'été et celle des jours pâturés à l'automne 2016 ($c_{SPEARMAN}$ = 0,66 ; Fig. 13). Il en va de même pour les chargements sur ces périodes.

L'axe 1 permet de discriminer les mailles gérées en pratique mixte ou en fauche des mailles exclusivement pâturées. De plus, une liaison (négative) est identifiée entre la pratique de fauche et les variables de chargement ou de jours pâturés à l'été ou l'automne.

L'AHS permet de distinguer une relation éventuelle entre la hauteur de végétation moyenne observée en mai 2017 et le chargement ainsi que la proportion de jours pâturés au printemps 2016 (respectivement $c_{SPEARMAN}$ = - 0,24 et $c_{SPEARMAN}$ = -0,25 ; Fig. 13 ; Annexe 9 ; Annexe 27). La hauteur de végétation observée au printemps pourrait aussi varier entre les mailles selon le chargement observé sur la période d'installation des couples en 2017 ($c_{SPEARMAN}$ = - 0,25) et au début du printemps (Fig. 13). L'hétérogénéité de la hauteur de végétation est dans une certaine mesure corrélée positivement aux variables de gestion du milieu de printemps 2017 et du printemps 2016.

Bien que cette variable soit peu représentée dans le plan factoriel, la hauteur d'eau moyenne observée au printemps 2017 sur les mailles est corrélée négativement à la proportion de jours pâturés entre le 15 mars et le 15 avril 2017 (ainsi qu'au nombre de jours pâturés) ($c_{SPEARMAN}$ = - 0,27). La hauteur d'eau est plus faiblement corrélée (négativement) au chargement entre avril et mai ($c_{SPEARMAN}$ = - 0,21). L'analyse factorielle révèle également une légère corrélation positive entre la distance à l'eau et le chargement au début du printemps 2017 ($c_{SPEARMAN}$ = 0,14) (Fig. 13).

Les mailles très humides en 2017 coïncident avec une première mise à l'herbe tardive en 2016 et 2017 (Annexe 28 ; Annexe 29). En 2016, pour les entités qui ne sont pas gérées en fauche exclusive (n = 86), la première mise à l'herbe n'a lieu avant mai que dans 22,09 % des cas (Annexe 23).

En 2017, pour les entités hors prairies de fauche (n = 86), environ la moitié n'est pâturée qu'après le mois de mai (46,51 %). Le chargement des entités toutes gestion confondues (n = 111) lors de la période d'établissement des couples nicheurs est de 0,32 UGB/ha (± 0,50) en moyenne (2,51 au maximum). Pour les entités pâturées (pratique mixte ou exclusive), cela correspond à un chargement de 0,35 UGB/ha (± 0,57, n = 86).

Estimation du lien entre la typologie prairiale et la gestion agricole sur le territoire

Pour plus de clarté vis-à-vis des liens existants entre la gestion agricole pratiquée et les profils d'habitat, la typologie prairiale issue de l'AHS n°1 est représentée dans le plan factoriel de l'AHS n°2 (Fig. 14). Une part importante des mailles des profils 2 et 3 se chevauchent dans le plan. Pour autant, plusieurs constats peuvent être avancés.

Ainsi, le profil 1 (sols peu humides et végétation dense, mailles les plus éloignées des surfaces en eau) comporte un nombre non-négligeable de mailles qui ont pu être pâturées dès le printemps (50,76 %, $n_{PROFIL\ 1}$ = 132 ; Annexe 28). Ce profil comprend notamment des mailles dont le chargement annuel en 2016 est élevé, ainsi que le chargement au printemps 2016 et 2017 (Fig. 13 ; Fig. 14 ; Annexe 23). Les prairies exclusivement pâturées (strict ou avec gestion des refus) en 2016 le dominent à 75,76 %. Il s'agit surtout de pâturage associé à une gestion des refus (40,15 % du profil, Fig. 14). Néanmoins, 24,24 % des mailles de profil 1 font l'objet d'une fauche (n_{FAUCHE} = 14) ou d'une pratique mixte (n_{MIXTE} = 18).

Le profil 2 (végétation peu dense, à proximité des surfaces en eau, sur sols très saturés) correspond plutôt à un pâturage strict, c'est-à-dire sans gestion de refus (Fig. 14 ; Annexe 30). En 2016, une part importante des mailles de ce profil n'est pâturée qu'à partir de l'été (42,03 %, $n_{PROFIL\ 2}$ = 69 ; Annexe 23). Le chargement à l'année y excède rarement 0,50 UGB/ha/an. 50,72 % des mailles de profil 2 ne font l'objet d'aucune mise à l'herbe printanière en 2017. Il importe de noter que 21,74 % des mailles de ce profil se localisent au sein d'une même entité de gestion, la Mare aux Plies, située en marais indivis et pâturée dès le printemps.

36,36 % des mailles du profil 3 (végétation haute, homogène et très dense, sur sol saturés) sont gérées en fauche, ou fauche et pâturage ($n_{PROFIL\ 3}$ = 66 ; Fig. 14 ; Annexe 23 ; Annexe 30). Dans les parcelles

pâturées de ce profil, les chargements au printemps 2016 (0,09 UGB/ha ± 0,23), au début du printemps 2017 (0,04 UGB/ha ± 0,21) et au milieu du printemps 2017 (0,12 UGB/ha ± 0,27) semblent faibles. Le bétail y est de préférence mis à l'herbe à l'été ou à l'automne. 62,12 % des mailles concernées font l'objet d'un pâturage tardif (été ou automne) : 18,18 % des mailles de profil 3 sont pâturées à partir de l'automne, contre 9,09 % en profil 1 et 8,70 % en profil 2 (Fig. 14 ; Annexe 28).

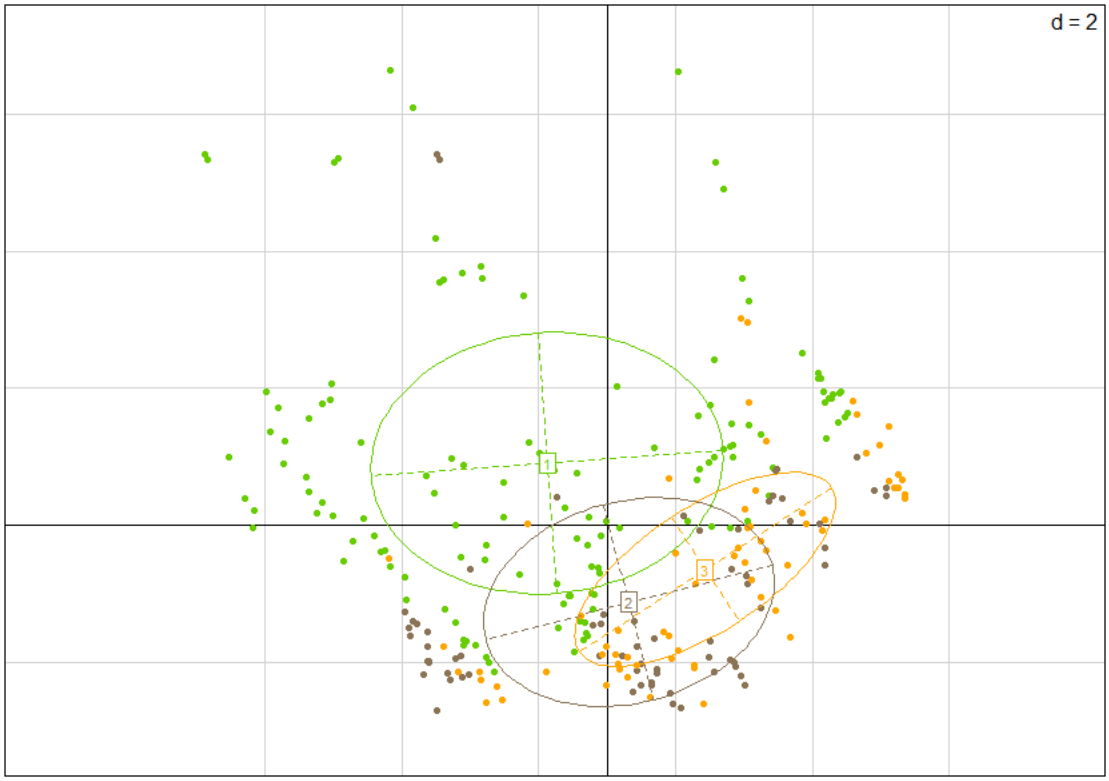


Figure 14 : représentation de la typologie prairiale dans le plan factoriel de l'AHS n°2

Des relations entre les variables agricoles retenues et les profils prairiaux décrits à partir de l'analyse des paramètres d'habitat *in situ* sont ainsi perçues par le biais de l'AHS n°2. Les relations supposées ont fait l'objet d'une vérification des significations statistiques.

Vérification statistique

De manière générale, il y a une liaison entre le profil prairial observé au printemps 2017 et la période de première mise à l'herbe en 2016 (df = 8, Khi-2 =29,704, p = 0,0002384). Cette relation se retrouve aussi avec la période de première mise à l'herbe en 2017 (df = 6, Khi-2 =22,5, p = 0,0009824). De même, l'appartenance de l'une ou l'autre des mailles inventoriées à un profil prairial défini est liée à la pratique opérée en 2016 (df = 6, Khi-2 = 32,958, p = $1.068e^{-05}$).

Une différence significative existe en termes de chargement annuel en 2016 entre les mailles du profil 1 et celles du profil 3 (p = 0,0046) ; le profil 3 rassemblant des mailles moins chargées (Annexe 23 ; Annexe 31 ; Annexe 32). En matière de proportion de jours pâturés à l'année, il n'y a en revanche aucune différence vérifiée statistiquement entre les trois profils.

La proportion de jours pâturés au printemps 2016 est faible dans les mailles du profil 3, elle diffère significativement du profil 1 (p = 0,0000), et du profil 2 (p = 0,00204) (Annexe 31 ; Annexe 32). Le chargement à cette période différencie le profil 1 des deux autres profils (p = $7,179^{-05}$).

Des variations dans les durées de pâturage estival en 2016 sont à considérer, au sein de chacun des profils (Annexe 31). Entre eux, ces profils ne diffèrent pas significativement pour ce paramètre (p = 0,06768). Il en va de même pour la proportion de jours pâturés à l'automne/hiver 2016. Une part importante des mailles relatives à chacun des profils prairiaux bénéficie d'un pâturage sur près de la moitié de cette période (Annexe 31).

Le profil 1 se distingue du profil 3 en termes de chargement estival (p = 0,0292). En revanche, aucun des profils prairiaux ne se différencie statistiquement des autres pour le chargement à la fin de l'année 2016 (p = 0,3758 ; Annexe 31 ; Annexe 32). Il est toutefois à noter que la dispersion des valeurs de chargement automnal est moins importante pour le profil 2, où environ 50 % des mailles sont pâturées entre 0,25 UGB/ha et 0,75 UGB/ha, que pour les deux autres profils.

Au début du printemps 2017, les entités de la zone d'étude sont peu pâturées. Néanmoins, les mailles du profil 1 sont plus chargées que celles du profil 2 (p = 0,0001) et du profil 3 (p = 0,0001), et pâturées plus longtemps (p = 0,0001 dans les deux cas ; Annexe 31 ; Annexe 32).

Au cours de la période d'établissement des couples nicheurs de Barge à queue noire (milieu du printemps 2017), le chargement en bétail des mailles du profil 1 est sensiblement différent de celui observé au sein du profil 2 (p = 0,0249) et du profil 3 (p = 0,0001 ; Annexe 32). Davantage de mailles de ce profil répondent à un chargement dans la tranche haute de ce qui est observé sur le territoire, mais restant inférieur à 0,75 pour la majorité des mailles concernées (Annexe 31). La proportion de jours pâturés au cours de cette période dans les mailles du profil 1 se distingue également de celle du profil 3 (p = 0,0000) mais pas du profil 2. Ainsi, les mailles du profil 1 sont généralement pâturées plus longtemps au printemps, bien qu'il soit possible d'observer des variations dans les durées de pâturage entre les entités de gestion. Ces variations s'observent également au sein du profil 2 tandis que les conditions sont plus homogènes en profil 3. La plupart des mailles des profils 2 et 3 sont pâturées à moins de 60 % de la période considérée ($n_{TOTAL\ JOURS}$ = 45).

L'analyse a permis de synthétiser les liens entre la typologie et la gestion agricole (Fig. 15).

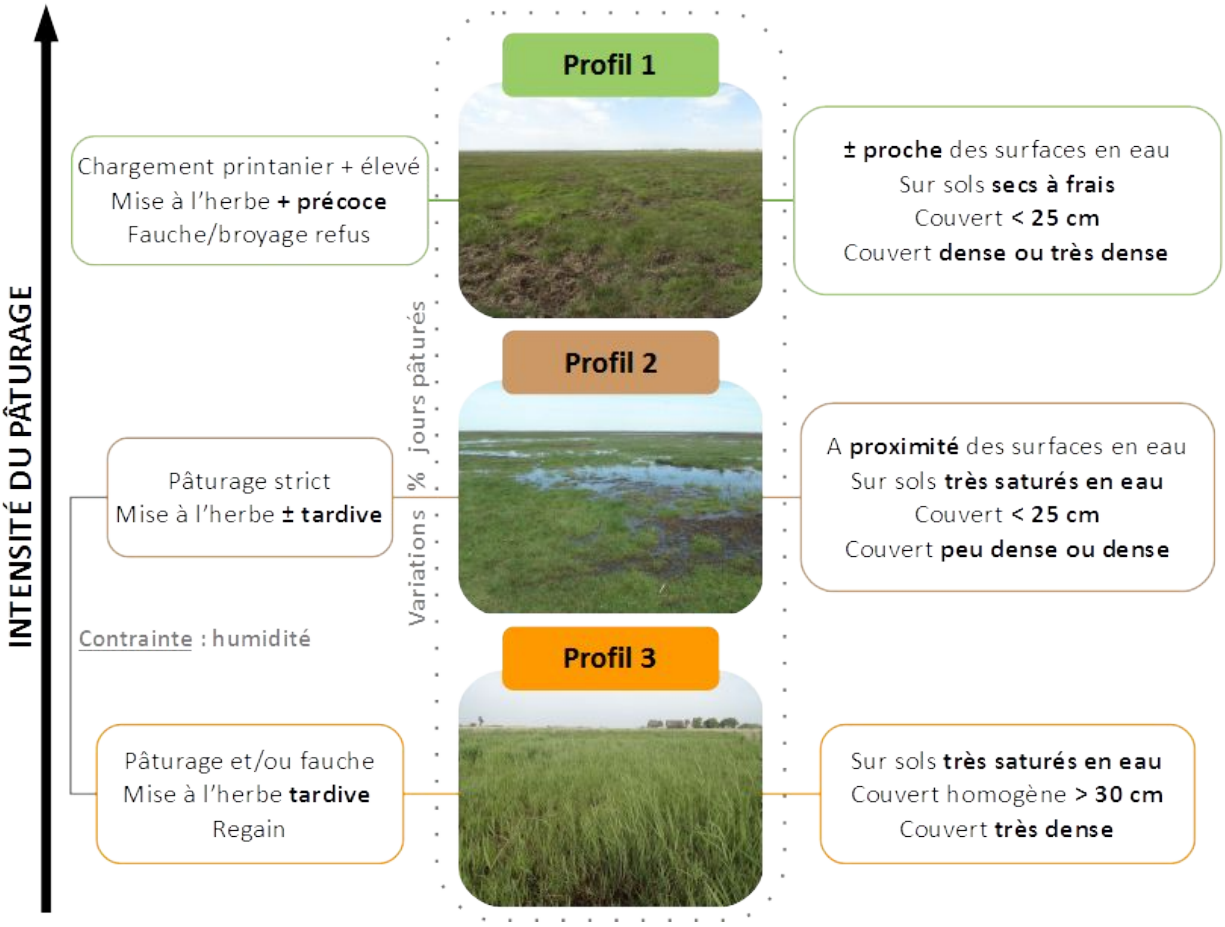


Figure 15 : Mise en rapport des profils prairiaux avec les principaux modes de gestion agricole (profil 1 : n = 132, profil 2 : n = 69, profil 3 : n = 66)

IV. Approche exploratoire et détermination des facteurs d'influence dans la distribution de Limosa l. limosa en Brière

A/ Mise en relation de la caractérisation prairiale avec la présence de *Limosa l. limosa*

Apports de l'AHS n°1 à la caractérisation de l'habitat de Limosa l. limosa

La présence de *Limosa l. limosa* est surtout constatée au sein de mailles au couvert peu dense à dense (78,95 %), au sol saturé en eau (78,95 %) et à proximité de surfaces en eau libre (Fig. 16 ; Annexe 12). Toutefois, il existe une certaine dispersion des mailles de présence dans le plan factoriel, laissant supposer au premier abord que *Limosa l. limosa* puisse sélectionner des habitats quelque peu dissemblables (Fig. 16).

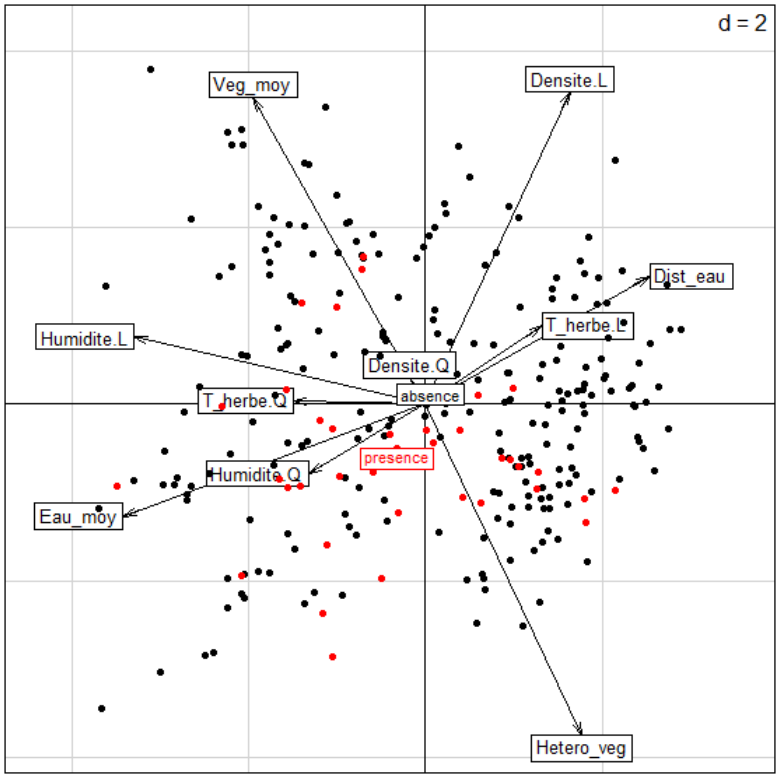


Figure 16 : Représentation des mailles de présence ou absence de Limosa l. limosa dans le plan de l'AHS n°1

D'une part, l'AHS n°1 atteste de variations dans les conditions d'humidité des mailles de présence (Fig. 16 ; Annexe 18). La hauteur d'eau moyenne y est de 7,81 cm, mais il y a une dispersion des valeurs prises pour cette variable autour de la moyenne (écart-type de 8,33 cm ; Annexe 12). Dans le plan factoriel, une légère opposition des mailles de présence sur l'axe 1 (humidité) est donc perceptible. Pour 4 mailles de présence, le sol est qualifié de sec, ce qui se vérifie dans le plan (Fig. 16 ; Annexe 12). Les mailles de présence sont néanmoins toutes situées à proximité des surfaces en eau libre.

Une forme de variabilité est également perçue à travers le type de couvert végétal (Fig. 16). Les mailles de présence qui s'opposent aux autres sur l'axe 2 (végétation) sont cependant assez marginales. Elles correspondent à un couvert plus haut et dense que la plupart des mailles de présence ou au contraire à une végétation plus clairsemée (Fig. 16 ; Annexe 17). D'une manière générale, les couples nicheurs fréquentent plutôt des mailles au couvert dense (50,00 %) ou peu dense (28,95 %) (Annexe 12).

Les touffes enherbées sont quasi-absentes de la totalité des mailles de la zone d'étude. Cela se vérifie pour les mailles de présence : 73,68 % d'entre elles sont totalement dénuées de touffes enherbées (Annexe 12).

Répartition des couples nicheurs au sein des différents profils prairiaux

Les couples nicheurs de Barge à queue noire paraissent occuper préférentiellement les mailles des profils 1 et 2 de la typologie établie (df = 2, Khi-2 = 12,036, p = 0,002434). Près de la moitié des mailles de présence répondent au profil 2 ($n_{LIMOSA\ 2}$ = 18), un peu moins au profil 1 ($n_{LIMOSA\ 1}$ = 16) et seulement 10,53 % au profil 3 ($n_{LIMOSA\ 3}$ = 4). Les mailles de présence répondant au profil 3 sont présentes exclusivement au sein du site de la Palée.

Ainsi, les mailles de présence occupent 26,09 % du profil 2 ($n_{PROFIL\ 2}$ = 69) et 12,12 % du profil 1 ($n_{PROFIL\ 1}$ = 132), tandis qu'elles ne représentent que 6,06 % du profil 3 ($n_{PROFIL\ 3}$ = 66). Les profils favorisés, 1 et 2, ont en mai une hauteur de végétation similaire, d'environ 20 à 25 cm en moyenne (Annexe 12).

B/ La gestion agricole des entités de présence de *Limosa l. limosa*

Les mailles de présence de Barge à queue noire sont localisées quasi-exclusivement au sein d'entités strictement pâturées en 2016 (60,53 %, n_{LIMOSA} = 38) ou avec broyage des refus (34,21 %) (Annexe 30). En 2017, seules deux mailles de présence (5,26 %) sont recensées au sein d'une entité gérée en pratique mixte l'année précédente et aucune au sein d'une entité exclusivement fauchée.

Le fait qu'aucun couple ne soit recensé au sein d'une entité ayant uniquement fait l'objet d'une fauche est cohérent avec les profils prairiaux que semble favoriser l'espèce (profils 1 et 2). Ainsi, dans le plan factoriel de l'AHS n°2 (Fig 17), bien que les mailles de présence semblent assez dispersées, il est toutefois possible d'établir une relation forte avec le pâturage. D'autre part, au sein de la zone d'étude, environ 50,56 % des mailles ne sont pas pâturées sur la période d'établissement des couples, mais plus de la moitié de celles avec présence de barges le sont.

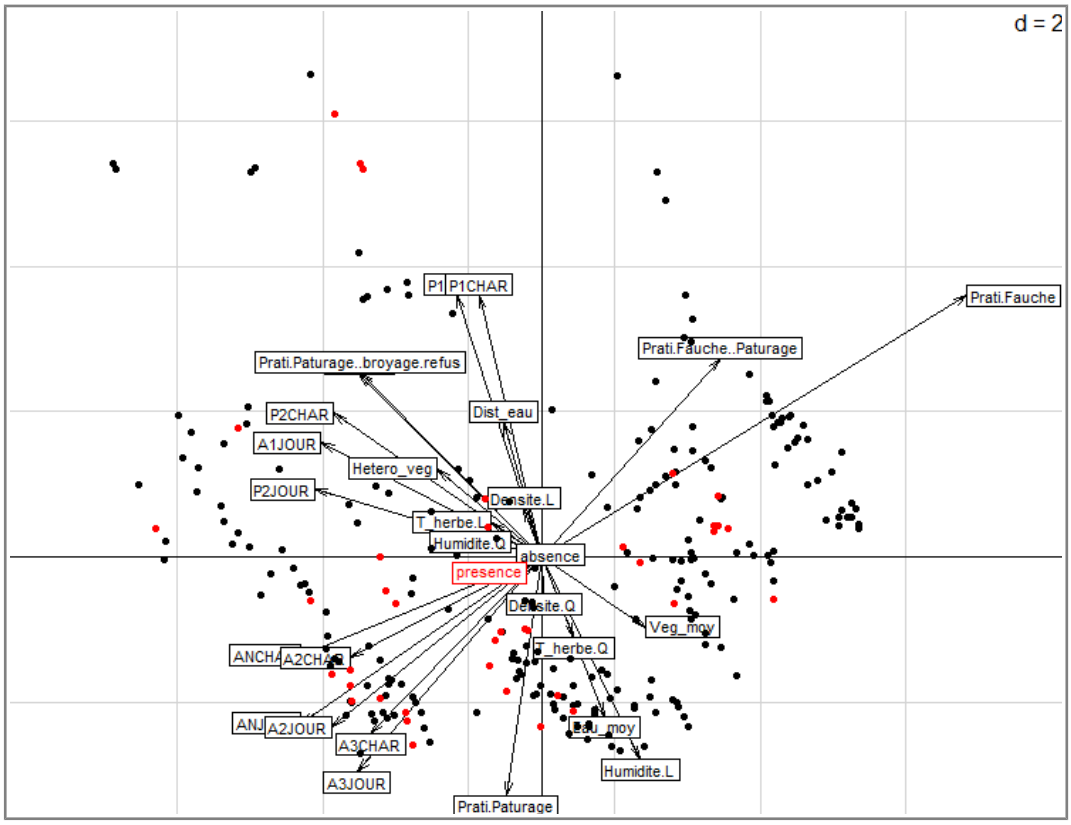


Figure 17 : Représentation des mailles de présence ou absence de Limosa l. limosa dans le plan de l'AHS n°2

C/ Détermination des principaux facteurs influençant l'établissement des couples nicheurs

Un lien entre la typologie prairiale et la gestion agricole a, dans une certaine mesure, été relevé. Néanmoins, différents profils sont retrouvés au sein d'une même entité de gestion (Annexe 21), complexifiant l'analyse. Dans un second temps, l'ensemble des facteurs qui pouvaient influencer la distribution spatiale de la Barge à queue noire ont donc été considérés sur le même plan.

Résultats du modèle linéaire généralisé (GLM)

Des régressions logistiques effectuées sur les variables quantitatives d'habitat et de gestion agricole ont permis d'identifier les paramètres influençant de manière significative la distribution de *Limosa l. limosa*, indépendamment des autres ou des liaisons indirectes entre gestion agricole et paramètres *in situ*.

Le modèle sélectionné (AIC=188,68, n = 267) met en évidence la significativité statistique de la liaison entre la présence de Barge à queue noire et 4 paramètres au seuil $\alpha < 0,05$. Il s'agit du chargement annuel en bétail, de la distance à l'eau, de la hauteur de végétation moyenne sur la maille et de la proportion de jours pâturés à l'automne/hiver 2016 (Tableau 3 ; Fig. 18).

*Tableau 3 : Facteurs retenus par le modèle (Codes de significativité : 0'***' 0.001'**' 0.01'*' 0.05 '.' 0.1 ' '1)*

	Estimation	Erreur standard	Z-value	P-value
(Intercept)	0.054315	0.605815	0.090	0.928561
Chargement annuel (2016)	3.680665	1.093055	3.367	0.000759 ***
% jours pâturés automne/hiver 2016	-0.016920	0.007269	-2.328	0.019930 *
Distance à l'eau	-0.014709	0.003697	-3.978	6.94^{-05} ***
Hauteur de végétation moyenne	-0.048243	0.019013	-2.537	0.011168 *

Pour ce modèle, le R^2 Nagelkerke est de 0,25. La déviance résiduelle, soit l'écart résiduel entre les données observées et le modèle proposé pour expliquer la distribution des barges, est de 178,68 sur 262 degrés de liberté. Le test du Maximum de Vraisemblance (confrontation au modèle nul à 218,49 sur 266 degrés de liberté) fournit une p-value faible, inférieure à 0,05 (df = 4, Khi-2 (Log Ratio) = 39,81, p = $4,733^{-08}$). Les résultats du test d'Hosmer-Lemeshow paraissent indiquer une assez bonne qualité d'ajustement du modèle (df = 8, Khi-2 = 5,0001, p = 0,7576).

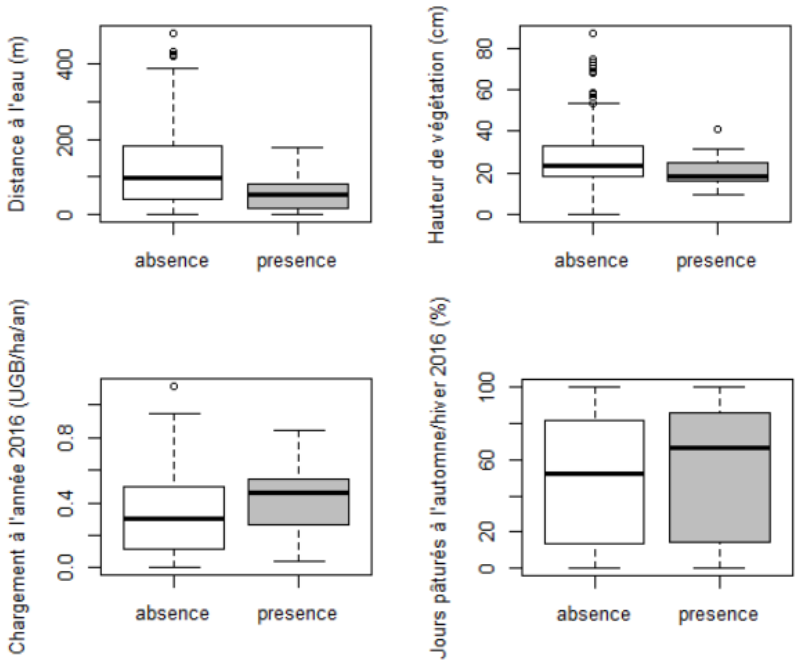


Figure 18 : comparaison de la distribution des mailles de présence aux mailles voisines pour les paramètres significatifs du modèle (p < 0,05)

Relation aux principaux paramètres qualitatifs

Parmi les variables qualitatives, la densité du couvert végétal (df = 3, Khi-2 = 14,778, p = 0,002017) est importante vis-à-vis de la présence de *Limosa l. limosa*. D'autre part, la présence de couples nicheurs en 2017 semble liée au mode de gestion agricole pratiqué en 2016 (p = 0,01172). En revanche, la localisation des individus ne paraît pas très influencée par l'humidité du sol (0,05098) ou la fréquence de touffes enherbées (p = 0,6842).

Comportement des facteurs d'influence

Le paramètre de la distance à la surface en eau libre semble primordial pour expliquer la distribution des couples. L'ensemble des mailles de présence se situent en 2017 à moins de 200 m d'une surface en eau libre et dans plus de 75 % des cas à moins de 100 m (Fig. 18).

Il est également à noter une relation statistique significative et plutôt positive entre la présence de l'espèce et le chargement annuel. Les mailles de présence ont un chargement annuel en 2016 dans la tranche haute de ce qui est observé sur le territoire et qui dépasse généralement 0,20 UGB/ha/an (Fig. 18) ; ce taux pouvant aller jusqu'à 0,80 UGB/ha/an (Fig. 18).

L'influence des facteurs liés à la gestion agricole se manifeste également, d'après le modèle, à travers une relation au nombre de jours pâturés en fin d'année 2016 (automne/hiver). Néanmoins, une grande variabilité de modes de gestion est observée à cette période, à la fois au sein des mailles de présence que des mailles d'absence (Fig. 18).

Cette analyse a permis de montrer que la hauteur de végétation semble un paramètre d'habitat plus influent que la hauteur d'eau (variable non-retenue par le GLM) vis-à-vis de la distribution spatiale de l'espèce. La liaison est négative, au sens où les couverts à végétation très haute (supérieure à 30 cm) pourraient être évités. Les couverts inférieurs à moins de 10 cm semblent eux aussi être évités. Il en va de même pour les couverts très denses. La présence de barges coïncide avec une hauteur de végétation moyenne de 20,51 cm (± 6,70 cm) (Annexe 12) : les nicheurs semblent privilégier une végétation comprise entre 15 et 25 cm (p = 0,003 ; Fig. 19). Sur la zone d'étude, la classe la plus fréquemment retrouvée dans les mailles est celle d'une végétation haute de plus de 30 cm (Fig. 19). La classe 15-20 cm, où est recensée le plus de mailles de présence ($n_{LIMOSA\ 15\text{-}20cm}$ = 16, n_{TOTAL} = 38), est elle aussi bien représentée au sein des mailles de la zone d'étude ($n_{15\text{-}20cm}$ = 55, soit environ 20,60 % du total des mailles ; Fig. 19).

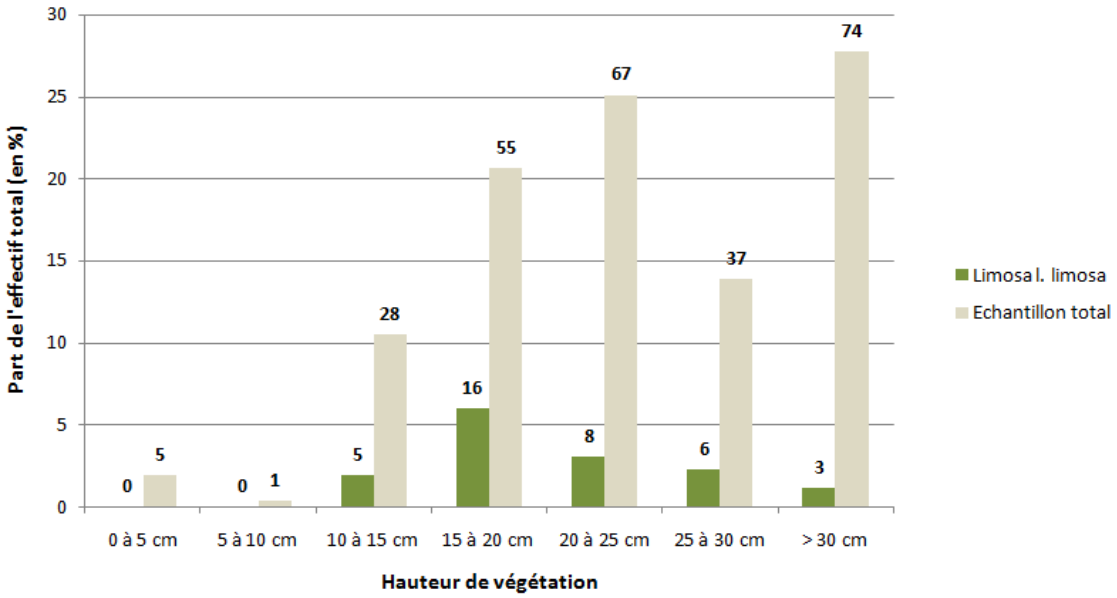


Figure 19 : répartition de Limosa l. limosa (n_{LIMOSA} = 38) dans les différentes classes de hauteur d'herbe, en comparaison avec l'échantillon total (n_{TOTAL} = 267)

Partie 3 : Discussion

I. L'habitat prairial de *Limosa l. limosa* dans les marais de Brière et du Brivet

A/ Approche inter-scalaire

Typologie prairiale

La typologie établie distingue, à partir de leurs conditions d'humidité et leur structure de végétation, trois principaux profils prairiaux au sein du territoire.

Les profils 1 et 2 accueillent la majorité des mailles de présence. Ils offrent des conditions d'humidité différentes mais répondent à une hauteur de végétation similaire au mois de mai.

Le profil 1 (couvert dense à très dense, sur sols secs à frais éloignés des surfaces en eau libre) est très représenté : il concerne 132 mailles parmi les 267 inventoriées. Cela peut souligner une forme d'homogénéité dans les mailles de la zone d'étude. Néanmoins, le constat doit être plus nuancé, car des variations dans les paramètres d'habitat peuvent s'observer au sein d'un même profil. La présence quasi-exclusive des prairies à *Lolium perenne* (espèce mésophile à méso-hygrophile) au sein de ce profil est cohérente au vu du nombre de mailles en conditions plutôt sèches. Pour autant, ce profil garde un caractère hygrophile, avec une prépondérance de mailles du groupement « *Agrostietea* » dominé par *Agrostis stolonifera* et *Eleocharis palustris*. Ce groupement indique également le caractère ouvert de l'habitat en profil 1.

Le profil 2 correspond à des mailles dont le couvert végétal est peu dense à dense, et les sols complètement saturés en eau. Elles ont été inventoriées à proximité des surfaces en eau libre de Grande Brière Mottière, zone de basse altitude marquée par les inondations hivernales (Lebrun et *al*., 2016). Les mailles de présence contribuent à près d'un tiers de ce profil prairial. Cela laisse présager d'une bonne représentativité du profil 2 vis-à-vis de l'habitat des barges en 2017. Ce profil contient aussi quelques mailles dont le caractère inondable est très prononcé, ne pouvant alors répondre que partiellement à la description d'un habitat prairial *stricto senso* en raison du caractère clairsemé de la végétation et, surtout, des hauteurs d'eau. Ce constat peut être appuyé par la présence de *Ludwigia grandiflora*, invasive aquatique, dans plusieurs mailles de ce profil. L'étude des groupements floristiques confirme, comme pour le profil 1, le caractère ouvert de l'habitat en profil 2.

Le profil 3 correspond à des mailles au couvert végétal très dense et plutôt haut, sur des sols complètement saturés en eau. Il offre au printemps des conditions d'humidité des sols semblables au profil 2 mais contient un nombre limité de mailles de présence, peut-être en raison de la hauteur du couvert. La part non-négligeable de mailles composées d'espèces issues de la classe *Phragmito australis – Magnocaricetea elatae*, notamment *Phragmites australis* et *Phalaris arundinacea*, est cohérente vis-à-vis de la structure de végétation observée et laisse présager une forme de fermeture de l'habitat dans ce profil.

Les barges pourraient sélectionner le site de nidification en fonction de la hauteur de végétation plutôt que des conditions d'humidité, en privilégiant des couverts plutôt bas.

Croisement entre variables d'habitat et de gestion agricole

Une liaison positive et assez marquée entre des variables agricoles au printemps 2016 et au printemps 2017, montrée par l'AHS n°2, indique que la gestion agricole en 2017 serait sensiblement identique à celle réalisée en 2016. Cette hypothèse est confirmée par le fait que la majorité des exploitants estiment effectuer la même gestion depuis plus de 5 ans.

La projection de la typologie prairiale dans le plan de l'AHS n°2 et l'estimation des liaisons statistiques a permis de compléter la description de la zone d'étude.

Les contraintes auxquelles obéissent la gestion de certaines entités, à savoir l'inondation hivernale des prairies, ont pu être visualisées. En début d'année 2017, les entités de la zone d'étude sont peu pâturées. Les mailles du profil 1, sur sols secs à frais, bénéficient davantage d'une mise à l'herbe précoce

et/ou d'un pâturage hivernal que celles du profil 2, plus humides et pour lesquelles la mise à l'herbe est alors généralement plus contrainte, donc plus tardive. Cette situation correspond à celle qui est observée en 2016, où le chargement printanier est généralement plus élevé dans les mailles de profil 1 qu'au sein des autres profils.

L'AHS a aussi montré que les entités en gestion mixte bénéficient surtout d'un pâturage automnal, il s'agirait plutôt de regain, la fauche constituant la pratique dominante. Cela souligne la contrainte d'humidité des sols vis-à-vis des pratiques. Ces pratiques extensives peuvent aboutir à la hauteur de végétation plus élevée relevée dans le profil 3 au printemps suivant.

Les profils 1 et 3 paraissent, dans une certaine mesure, représenter deux opposés sur un gradient d'intensité de pâturage, le profil 2 jouant plutôt le rôle de profil intermédiaire entre ces profils.

Les profils prairiaux à l'échelle de l'entité de gestion

Le raisonnement effectué à l'échelle des trois principaux profils de prairies a conduit à considérer l'habitat à l'échelle de l'entité de gestion, en lien avec l'analyse complémentaire des modalités agricoles.

Seuls certains paramètres liés à la gestion agricole, et non l'ensemble, permettent d'alimenter la description de ces profils. De plus, l'articulation inter-scalaire a mis en évidence le fait que les trois profils de prairie identifiés pouvaient être observés au sein d'une même entité de gestion. Cela évoque une variabilité des conditions d'habitat à l'échelle de l'entité de gestion.

Ainsi, des mailles très humides, aux sols très saturés, avoisinent des mailles en conditions plus sèches. Cet aspect fait écho aux caractéristiques édaphiques et/ou topographiques de la zone d'étude et le fonctionnement hydrologique du marais. Il convient de noter l' « importance écologique » des « variations spatiales et temporelles du niveau d'eau » ainsi que l'effet des gradients de topographie et d'humidité sur la végétation des prairies naturelles permanentes en Brière (Magnanon, 1991). La physionomie des prairies au printemps est en partie conditionnée par leur proximité aux canaux principaux ainsi que par le réseau secondaire, la topographie et la gestion des ouvrages hydrauliques.

Ces différents aspects impactent les modalités de gestion agricole, qui elles-mêmes ont une influence sur la végétation au sein des parcelles (Magnanon, 1991). Ils expliquent la variabilité des conditions prairiales au sein d'une même entité en gestion. L'évaluation des effets du pâturage sur la végétation doit aussi tenir compte des « mécanismes de choix alimentaire » du bétail, notamment au sein d'entités où le chargement est faible, et où la surface à prospecter est vaste (Dumont et *al*., 2001).

Certaines mailles d'inventaire (profil 2) peuvent alors proposer un couvert qui ne dépasse pas 20-25 cm de haut en mai 2017, car leur humidité et leur faible altitude conditionnent tant la croissance de la végétation que l'accessibilité pour le bétail. D'autres mailles (profil 1), plus sèches et d'altitude plus élevée, autorisent une croissance précoce de la végétation mais sont priorisées dans le même temps par l'abroutement qui de fait limite la hauteur du couvert. Ces différences peuvent se retrouver dans des entités de gestion où la Barge est présente.

Le profil 1, profil d'habitat qui se distingue par une humidité moindre, semble offrir une marge de manœuvre plus importante à l'exploitant, en termes de potentiel de mise à l'herbe. Néanmoins, cela ne signifie pas que toutes les mailles répondant à ce profil soient pâturées de manière plus intensive. La mise en rapport de la gestion agricole avec des profils prairiaux assez généraux nécessite d'être appréhendée avec précaution, au regard de la variabilité tant des conditions d'habitat au sein d'une même entité de gestion, que des modes de gestion pratiqués sur le territoire.

B/Relations entre les paramètres *in situ* et la présence de Barge à queue noire en Brière

La typologie a ainsi permis d'estimer des variations dans les conditions prairiales sélectionnées par les couples nicheurs. Cela présumait d'une définition plus affinée des facteurs d'influence, qui a pu être effectuée par le biais d'un modèle linéaire généralisé. Cette analyse finale a repris variables d'habitat et

modalités de gestion agricole, en vue de dépasser les observations basées sur la typologie prairiale et de gagner en rigueur pour expliquer la distribution spatiale de *Limosa l. limosa*.

Structure de végétation et conditions d'humidité

Il semble y avoir une sélection de l'espèce à partir du type de couvert végétal, avec l'exigence d'une hauteur de 15 à 25 cm, peu dense à dense. Bien que les prairies du territoire ayant un couvert haut de plus de 25 cm soient fréquentes au printemps 2017, peu de mailles de présence ont cette physionomie. La hauteur du couvert peut être relevée en tant que facteur d'influence. Ce facteur n'intervient pas seul dans le choix du site de nid, puisque l'espèce semble également fortement liée à l'existence de prairies proches des surfaces en eau libre. Au printemps 2017, l'espèce est installée sur des sols humides, mais sans exigence apparente vis-à-vis de la hauteur d'eau relevée. Cette observation coïncide avec le fait d'observer l'espèce dans les profils 1 et 2 dont la hauteur de végétation est similaire mais dont la saturation en eau des sols diffère.

La distance aux surfaces en eau libre constitue un paramètre-clé dans l'explication de la distribution spatiale des couples nicheurs. L'attrait de la Barge pour la proximité à ces surfaces et, dans une moindre mesure, sa présence quasi-exclusive sur des sols humides ou saturés, est à mettre en relation avec la disponibilité en ressources alimentaires. Cette disponibilité procurée par les habitats sélectionnés est majeure lors de la période d'incubation puis, surtout, lors de l'élevage des jeunes (Schekkerman & Beintema, 2007 ; Schroeder, 2010). Cet aspect est évalué par les couples nicheurs lors de l'installation (Schroeder, 2010), notamment au regard de la pénétrabilité du sol. La proximité à l'eau est décisive dans l'élevage des jeunes (Kentie, 2015), d'où, en Brière, la présence des couples à moins de 200 m des surfaces en eau libre.

Gestion agricole

L'analyse confirme le fait que la présence de *Limosa l. limosa* est favorisée par les activités de pâturage au sein de la zone d'étude. L'approche temporalisée de la gestion agricole met en évidence l'importance du chargement observé au cours de l'année précédant l'installation. Il s'agit d'un chargement annuel plutôt dans la tranche haute de ce qui est observé au sein de la zone d'étude. L'effet exact de la proportion de jours pâturés en automne/hiver 2016 (relevé dans le GLM) est plus complexe à interpréter. Néanmoins, l'effet de ce paramètre semble plutôt positif, notamment s'il est mis en relation avec le chargement annuel, qui semble constituer la variable forte. Ce dernier peut être déterminant dans l'obtention de la structure de végétation (Tichit et *al*., 2007) observée en mai 2017. En considération des gradients de topographie et d'humidité (Magnanon, 1991), l'obtention de la hauteur de végétation favorable au sein de prairies à vocation de pâturage obéit à l'intensité de cette pratique ainsi qu'au caractère inondable des prairies. Le pâturage à cette époque peut avoir pour effet de rabattre le couvert végétal avant les inondations hivernales, qui serait alors à une hauteur-clé au printemps (Durant et *al.*, 2008).

Il est possible d'émettre l'idée que l'installation de la Barge dépende d'une certaine intensité de pâturage en général, mais que la période exacte importe moins. En effet, l'existence de variations dans les durées de pâturage entre les mailles de présence (constat émis également pour les mailles d'absence) nuance l'importance que peut prendre ce paramètre au sein des facteurs d'influence relevés.

D'autre part, l'espèce paraît supporter la présence du bétail à son installation (55,26 % des mailles de présence sont pâturées à cette période, soit 60 % des entités de gestion avec présence), peut-être dans des prairies peu inondables où cette présence est nécessaire pour rabattre le couvert végétal à une hauteur favorable. Il n'est pas possible d'affirmer une sélection des couples selon le chargement à l'installation, au regard de l'importance que prend aussi le paramètre de structure du couvert, en lien avec le chargement de l'année précédente.

Il est néanmoins nécessaire de rappeler l'effet néfaste que peut occasionner le bétail en termes de dérangement de l'avifaune par piétinement des nids. Beintema & Müsken (1987) proposent une modélisation des effets de l'intensité du pâturage vis-à-vis du succès des nichées en fonction de différents

chargements. Dans le cas d'un pâturage par des bovins adultes à raison d'1 UGB/ha (chargement instantané), le succès des nichées par couple est d'environ 60 % pour la Barge. En Brière, le chargement en bétail observé en 2017 dans les entités de présence de barges est rarement supérieur à 1,25 UGB/ha sur la période printanière : l'impact du bétail peut donc sembler plutôt faible. Toutefois, les taux de succès varient selon le type de bétail : le pâturage par des bovins de moins de 2 ans à raison d'1 UGB/ha entraîne une diminution d'environ 20 % par rapport à ce qui est observé en présence de bovins adultes (Beintema & Müsken, 1987). La composition du troupeau mis à l'herbe durant la période de nidification des barges est un point à ne pas négliger.

Il importe de rappeler que de fortes interactions entre les différentes variables de gestion agricole ont été relevées à l'analyse, ce qui limite l'individualisation des effets de l'un ou l'autre des paramètres ciblés vis-à-vis de l'installation des couples nicheurs.

C/ Autres facteurs d'influence

Les facteurs spécifiés ne suffisent pas à expliquer à eux seuls la distribution spatiale des couples. De plus, l'étude ne se base que sur une année de relevés : les résultats sont à considérer avec prudence.

Philopatrie & abandon de site

Ainsi, la grande majorité des couples de barges en Brière a été recensée en 2017 dans des secteurs historiquement fréquentés en période de nidification, parfois au sein de la même entité de gestion pour certains couples. En-dehors de l'attrait des conditions d'habitat, la philopatrie de l'espèce peut être mise en cause dans ce constat (Durant, 2004 ; Van den Brink et *al*., 2008 ; Kentie, 2015).

Une forme de fidélité tant au site de reproduction qu'au partenaire, phénomène fréquent chez les limicoles (Durant, 2004), s'observe chez la Barge à queue noire (Kentie, 2015). Les couples formés sont monogames et les partenaires se lient pour plusieurs années (Kentie, 2015 ; Gejl, 2016). Les individus nicheurs retournent sur les sites de nidification de l'année précédente dès leur retour de migration, et ce même pour les individus les moins fidèles, qui entreprendront finalement la nichée dans un site différent (Schroeder, 2010). Ainsi, des cas de nidification dans un rayon de 250 m à partir de la localisation du nid construit l'année précédente ont pu être observés aux Pays-Bas (Groen, 1993).

Les couples nicheurs ont été recensés en 2017 au sein d'une même zone historique de présence de l'espèce, ce qui peut être mis en rapport avec sa philopatrie. Néanmoins, des différences dans la distribution spatiale des couples sont observées par rapport à 2016 : le site des Prés fourrés situé en Boulaie n'a pas été occupé tandis que le secteur de Brière a semblé très attractif, avec une augmentation du nombre de nicheurs.

La fidélité au site de nid n'empêche pas son abandon, comme cela semble avoir été le cas pour les Prés fourrés. Un couvert bas exposant les nids, associé à la pression de prédation, peut entraîner l'abandon (Van der Wal & Palmer, 2008). La pression de prédation peut contrebalancer l'attrait des conditions d'habitat (humidité, structure du couvert) d'un site potentiel (Melmam et *al.*, 2008). Le choix d'un autre site est intimement lié à la disponibilité en habitats optimaux dans les environs (Gill et *al*., 2001). La présence d'autres habitats optimaux conduit plus facilement les individus nicheurs à faire le choix d'un report. Il n'est pas improbable que les individus nicheurs en 2016 aux Prés fourrés en Boulaie aient effectué un report.

Colonialité chez Limosa l. limosa

Un autre facteur à prendre en considération dans le cadre de cette étude est le fait que les couples de *Limosa l. limosa* peuvent se structurer selon un système colonial ou semi-colonial, intra- ou inter-spécifique (Durant, 2004 ; Gejl, 2016). Cela peut avoir une influence majeure dans le choix du site de nid. Une structure agrégative a en effet été observée pour les couples nicheurs de Barge à queue noire.

L'incubation a lieu de 22 à 24 jours environ (Gejl, 2016), période sur laquelle la défense de la couvée doit être assurée. Les jeunes sont en mesure d'effectuer leur premier vol à l'âge de 30 jours. La stratégie de

colonialité est employée afin d'accroître la défense des nids vis-à-vis des prédateurs aviaires (Durant, 2004 ; Eglington et *al*., 2009). Le comportement très vigilant de la Barge à queue noire profite à d'autres espèces pour la défense des couvées (Géroudet, 1983). La Barge à queue noire est caractérisée par une bonne stratégie anti-prédatrice (Beintema & Müsken, 1987). Les couples occupent des sites qui peuvent être affectionnés de deux espèces compagnes : le Vanneau huppé et le Chevalier gambette, bien que les périodes d'installation et les préférences en termes de structure de végétation puissent différer entre les trois espèces (Tichit et *al*., 2005a). Des individus nicheurs de Vanneau et de Chevalier gambette ont été recensés au sein des sites occupés par l'espèce-cible, en effectifs plus importants dans le secteur de Brière qu'en Boulaie.

Composition paysagère

Les facteurs paysagers semblent également jouer un rôle dans la répartition spatiale des couples nicheurs (Phelippon & Dulac, 2016). En Brière, la localisation et le suivi des couples en 2016 au sein des prairies naturelles permanentes ont été mis en lien avec plusieurs paramètres de configuration paysagère à l'échelle de l'ensemble des marais prospectés pour les limicoles (Lebrun et *al*., 2016). Cette étude a permis de mettre en évidence le fait que l'espèce semble favoriser des prairies naturelles basses au sein du territoire, qui se révèlent aussi être des zones éloignées des surfaces anthropisées. C'est également ce constat qui a permis de délimiter la zone inventoriée en 2017 pour l'habitat.

D/ Limites et identification des biais éventuels à l'analyse

Construction de la variable de présence

Une précaution doit être apportée dans l'estimation des préférences des couples nicheurs localisés au printemps 2017. En effet, les mailles dites « de présence » ne sont pas forcément révélatrices du site de nid, il s'agit d'une approximation qui rend davantage compte de l'habitat global où se localisent les individus. Par ailleurs, il n'est pas certain que tous les couples identifiées aient réellement conduit une nichée.

L'analyse a aussi tenu compte, dans l'estimation des préférences d'habitat, des couples identifiés comme nicheurs « possibles ». Cela a peut-être induit des résultats erronés quant à l'estimation de l'importance de l'un ou l'autre paramètre traité. Il pourrait être envisagé de ne conserver que les couples identifiés nicheurs « probables » ou d'affecter à chaque maille d'inventaire une probabilité d'occurrence de l'individu nicheur, de manière à pondérer les résultats obtenus.

Il importe d'insister sur le fait que l'étude est à appréhender au regard d'une description de la fréquentation de l'habitat et d'une probabilité de présence, plutôt que du site de nidification au sens strict.

Biais lié au déséquilibre entre mailles d'absence & de présence

Un point important mérite d'être soulevé au regard de l'interprétation des résultats de l'analyse statistique. En effet, le déséquilibre qui existe entre mailles dites d'absence (229 mailles) et de présence (38 mailles, soit 14,23 % du total), peut avoir des incidences sur la robustesse statistique de l'analyse. Ce constat indique la nécessité d'apprécier avec prudence les résultats décrits.

Biais éventuels à la prise de mesure

De plus, certains aspects de l'acquisition des données d'habitat méritent d'être précisés. Il est en effet nécessaire de relever les biais qui pourraient éventuellement être liés à la prise de mesure.

En effet, la période d'échantillonnage s'étalait du 5 au 23 mai. Bien qu'une durée d'inventaire contraignante ait été fixée en amont des relevés d'habitat, il est possible que certaines des variations observées aient été dues à la croissance de la végétation au cours du mois de mai. Cela se manifesterait donc dans une différence de hauteur d'herbe entre les premières et les dernières mailles inventoriées. Il serait judicieux d'estimer de manière plus approfondie, statistiquement, la relation entre la hauteur de végétation et la date du relevé. Cela nécessite de comparer des mailles inventoriées à différentes dates,

mais sur un niveau homogène du gradient d'humidité perçu dans la zone d'étude, et pour des modes de gestion équivalents. L'estimation de ce biais s'inscrit plutôt en complément de cette première analyse.

De même, les variations de niveau d'eau sur la période ont éventuellement pu biaiser l'analyse des mesures de hauteur d'eau. Il serait donc judicieux de considérer les données limnimétriques disponibles pour estimer ces variations au mois de mai, à l'échelle des différents compartiments hydrauliques de la zone d'étude.

Lors du suivi des couples nicheurs, un échelonnement dans les dates d'installation a été noté, fait à prendre en considération dans l'estimation des biais aux relevés d'habitat. En effet, les conditions relevées à un temps t ne sont peut-être pas complètement révélatrices de ce qui est favorisé par un couple nicheur, si ce dernier s'est installé tardivement.

Il convient de rappeler que la comparaison éventuelle des préférences de hauteur de végétation chez *Limosa l. limosa* en Brière avec d'autres études dépend beaucoup de la méthode d'estimation du couvert par l'observateur (Stewart et *al.*, 2001 ; Durant, 2004). Pour acquérir cette donnée, il peut s'agir autant d'estimations visuelles ou rapportées à la taille de l'oiseau que d'une approche par mesure des plantes (Durant, 2004). Les travaux réalisés sur l'habitat des limicoles peuvent se baser sur une mesure au nid ou au contraire sur la hauteur du couvert à l'échelle de l'entité de gestion (Durant, 2004). Stewart et *al*. (2001) rappellent que des différences dans les méthodes de mesure peuvent biaiser la définition des préconisations de gestion de l'habitat d'une espèce.

En Brière, et considérant la méthode de relevé, les couples nicheurs semblent favoriser au printemps 2017 un couvert de 15 à 25 cm de haut. Cela est cohérent avec une étude menée dans les prairies de Hongrie où la hauteur était de 25,5 ± 4,6 cm autour du nid (Hegyi & Sasvari, 1997). En revanche, il s'agit d'un intervalle de mesure éloigné de ce qui a pu être observé en Suède par Johansson (2001) : la hauteur d'herbe était de 12,1 ± 3,5 cm autour du nid.

Malgré la complexité de ces comparaisons, cela révèle aussi une forme de variabilité dans les conditions d'habitat des barges. Laursen & Bodil Hald (2012) soulignent le fait que leur habitat ne doit pas être perçu comme « statique ». La nidification des barges néerlandaises avait lieu dans des zones tourbeuses par le passé, et leur passage à des prairies pâturées s'est effectué au début du XXème siècle. Ce changement d'habitat avait engendré une augmentation de la population nicheuse. Une approche diachronique et spatialisée est d'importance dans la compréhension de la sélection d'habitat.

Appréciations qualitatives

D'autre part, plusieurs variables catégorielles incluses dans l'analyse résultent d'appréciations effectuées sur le terrain, il s'agit par exemple de la densité du couvert végétal ou du degré d'humidité du sol. Il convient de se questionner sur la représentativité et la précision des modalités assignées à l'une ou l'autre maille lors des relevés par l'observateur. La variable de densité a en effet été acquise en raison de l'effet supposé négatif d'une densité trop importante du couvert végétal pour la recherche de nourriture, notamment par les jeunes. Un couvert dense ou haut limite les déplacements des juvéniles (Durant, 2004), mais il est difficile d'estimer le seuil à partir duquel le couvert est jugé défavorable par les nicheurs.

Qualité de la donnée « agricole »

Parmi les biais réels soulevés par l'étude, il est question de la qualité des données liées à la caractérisation de la gestion agricole. En effet, sous l'effet du protocole d'enquête, la précision des variables permettant d'apprécier les modes de gestion en vigueur sur le territoire est dépendante du profil de l'exploitant. Plusieurs paramètres entrent en jeu dans l'obtention de ces données et leur exactitude, tels que le temps que peut consacrer l'exploitant à l'enquête, le bon enregistrement ou la mémoire de la gestion pratiquée l'année précédente, ainsi que la complexité du mode de conduite de l'exploitation.

Exhaustivité des données floristiques

En outre, des données floristiques, ciblées sur les espèces dominantes présentes dans les prairies

inventoriées, ont été acquises lors des relevés effectués au printemps 2017. La présente étude ciblant le rôle de la structure de végétation, ces données ont été traitées séparément, pour préciser la typologie établie. L'analyse et son interprétation ont été limitées par le fait que les relevés floristiques n'étaient pas exhaustifs mais ciblaient une surface restreinte à 900m².

II. Approfondissements de l'étude et implications dans la conservation de l'espèce

A/ Suivi des effectifs nicheurs & évaluation du succès reproducteur

Rôle des marais briérons et dynamique de population

La recherche et la localisation des nids pourraient apporter des informations quant au succès reproducteur de l'espèce en Brière. Un suivi tant sur la période d'incubation que celle d'élevage serait alors requis. L'étude de la disponibilité en ressources alimentaires au sein des prairies briéronnes pourrait apporter un complément d'information au suivi des nichées.

Chez cette espèce peu féconde, la survie des adultes (jusqu'à 5,3 ans) peut pour autant être vue comme un facteur plus déterminant au bon état d'une population que les variations interannuelles ressenties en termes de succès des nichées (Groen et *al.*, 2002). *Limosa l. limosa* étant migratrice, la mortalité des adultes peut survenir au cours de cette période ou sur les terres d'hivernage.

Des facteurs exogènes ont un impact sur la dynamique de la population nicheuse en France. Le déclin de l'espèce en Europe peut en effet être appréhendé à travers les hypothèses, outre d'une baisse dans le succès des nichées, de changements dans le régime alimentaire en hivernage ou de l'habitat au sein des principales zones d'hivernage en Afrique (Gill et *al*., 2007).

Une connaissance solide de l'exploitation des marais de Brière en tant qu'habitat de reproduction pour cette espèce est primordiale pour orienter les actions de conservation. En-dehors de la connaissance des paramètres environnementaux *in situ*, le suivi des individus nicheurs semble d'importance au regard de l'objectif d'une gestion conservatoire de l'espèce, en vue d'estimer le rôle des marais de Brière dans le maintien de la Barge à queue noire en France.

Hypothèse de prédation

Par ailleurs, l'effet de la prédation aviaire et terrestre vis-à-vis de la répartition des couples observés ainsi que sur leur succès reproducteur est méconnu.

En cours des prospections du printemps 2017, un certain nombre de comportements d'alarme ou d'attaques en vol a été noté. Une part importante des indices de nidification a été récoltée grâce à l'observation de ces comportements territoriaux. Des attaques de laridés (tels que le Goéland marin, *L. marinus*), de Corneille noire (*Corvus corone*), de Buse variable (*Buteo buteo*), de Faucon pèlerin (*Falco peregrinus*) et de Busard des roseaux (*Circus aeruginosus*) ont été notées. La prédation par ces espèces a déjà fait l'objet d'études visant à estimer leur impact (Van der Wal & Palmer, 2008 ; Eglington et *al*., 2009 ; Krolikowska et *al*., 2016). La prédation terrestre peut également intervenir (Eglington et *al*., 2009). Sur les sites étudiés par l'équipe de Teunissen et *al*. (2008), la prédation sur le Vanneau et la Barge était effectuée majoritairement par les corvidés et le Renard roux (*Vulpes vulpes*), mais aussi par le Héron cendré (*Ardea cinerea*). Plusieurs techniques sont envisageables pour estimer ce facteur. Outre le dénombrement régulier des attaques, cela peut passer par la pose de pièges photographiques ou d'enregistrements vidéos (Teunissen et *al*., 2008).

La prédation est un paramètre qui peut intervenir dans le succès reproducteur des couples. Il nécessite d'être pris en compte lors de la définition d'actions de gestion, certaines d'entre elles pouvant en effet cibler des habitats au regard de conditions prairiales favorables, sans prendre en compte l'impact indirect mais néfaste de la prédation dans les secteurs ciblés (Eglington et *al*., 2009).

B/ Habitat prairial de *Limosa l. limosa* et gestion agricole

Disponibilité en habitats

L'étude atteste de l'influence de certains facteurs liés aux conditions d'habitat, mais ne rend pas compte de la disponibilité en habitat, sujet sur lequel une analyse plus poussée pourrait être menée au sein de la zone échantillonnée.

Le pâturage est en lien avec le succès reproducteur de l'avifaune nicheuse, par l'impact des pratiques sur le couvert végétal et donc les ressources alimentaires qu'il procure (Durant, 2004 ; Tichit et *al*., 2012). Cela indique la nécessité d'approfondir la connaissance de l'effet du pâturage dans les prairies de Brière. L'analyse conduite n'incluait pas la période d'élevage des jeunes, pour laquelle les ressources alimentaires offertes par les habitats disponibles est décisive (Schekkerman & Beintema, 2007 ; Schroeder, 2010).

Il convient de rappeler que les poussins de barges sont nidifuges et que, peu de temps après l'éclosion, ils sont conduits par les parents vers des prairies environnantes plus favorables à leur élevage, parfois jusqu'à 3 kilomètres du site de nid (Kentie, 2015). Des habitats prairiaux différents sont donc exploités par les couples de Barge à queue noire en phase d'incubation et d'élevage des jeunes (Durant, 2004), mais tous façonnés par les modalités de gestion agricole (Tichit et *al*., 2007).

Le chargement annuel en-dessous et au-deçà duquel les conditions d'habitat ne sont pas optimales pour la nidification de l'espèce pourrait aussi être évalué. Une modélisation des effets du pâturage sous une approche associant tant les contraintes économiques que celles liées à la conservation de la biodiversité met en évidence le fait que plusieurs stratégies sont envisageables par le gestionnaire (Tichit et *al.*, 2007). Le choix opéré nécessite de définir précisément la qualité d'habitat souhaitée et les objectifs de conservation.

Tichit et *al*. (2005b) soulignent en outre l'importance de l'échelle d'action du gestionnaire, au sens où une variété de modes et de durées de pâturage est requise lorsque la conservation s'articule autour de plusieurs espèces de limicoles nicheurs partageant un habitat similaire (la prairie humide), mais dont les préférences en termes de structure du couvert varient. Cela est également à mettre en lien avec le fait, exposé précédemment, que la Barge à queue noire exploite des habitats différents lors de l'incubation et de l'élevage des jeunes (Kentie, 2015).

Dans un but conservatoire, il importerait d'évaluer les différences entre habitat à l'incubation et habitat à l'élevage des jeunes, ainsi que l'exploitation de ces habitats, en vue de préciser les actions pouvant être menées vis-à-vis de la gestion agricole. Il pourrait également être intéressant d'estimer si un habitat est susceptible d'être utilisé au cours de ces deux périodes.

Paradoxe des effets du pâturage

Par ailleurs, il existe un « paradoxe » apparent entre l'impact négatif du piétinement sur les nids et celui positif de l'abroutement dans l'obtention d'une structure de végétation favorable à l'avifaune nicheuse (Tichit et *al*., 2012). L'impact négatif qu'il est possible d'assigner au pâturage printanier peut être nuancé, notamment en raison du fait qu'il dépend du chargement fixé (Tichit et *al*., 2012 ; Sabatier et *al*., 2015). Pour autant, ce paradoxe complexifie la gestion des habitats propices à la nidification des limicoles nicheurs.

Interactions au sein du complexe hydrologie-végétation-modalités agricoles

La présente analyse a abordé le lien entre gestion agricole et habitat prairial de manière assez générale, à travers les principaux profils prairiaux qui se dessinent sur le territoire.

Une étude plus poussée des interactions directes entre structure de végétation et gestion agricole au sein des prairies hygrophiles à méso-hygrophiles de Brière est requise. Un point à ne pas négliger est aussi la réitération de l'étude, étant donné les variations interannuelles des niveaux d'eau sur le territoire, auxquelles répondent les individus nicheurs. Cela pourrait également s'articuler autour d'une comparaison

plus fine de ces paramètres entre la zone définie comme historiquement fréquentée par *Limosa l. limosa* et les entités de gestion où l'espèce n'a pas été contactée à ce jour.

D'autre part, dans la continuité des analyses réalisées en 2016 et 2017, le suivi des sites historiques bénéficierait d'une cartographie annuelle des couples nicheurs, en vue de conserver l'information de la localisation des individus et de quantifier l'attractivité des différentes entités de gestion (en lien notamment avec les variations de niveaux d'eau).

C/ La question d'une traduction opérationnelle : le dispositif agro-environnemental en vigueur sur le territoire

La question de l'implication des résultats de l'étude au sein du dispositif MAEC en vigueur sur la ZPS « Grande Brière, marais de Donges et du Brivet » nécessite d'adopter une vision systémique de l'ensemble des facteurs pouvant influencer l'installation des couples nicheurs (Fig. 20).

L'ensemble des facteurs d'influence n'est pas à portée d'action du gestionnaire, il convient notamment de relever la complexité de paramètres tels que la fidélité au site et le phénomène migratoire.

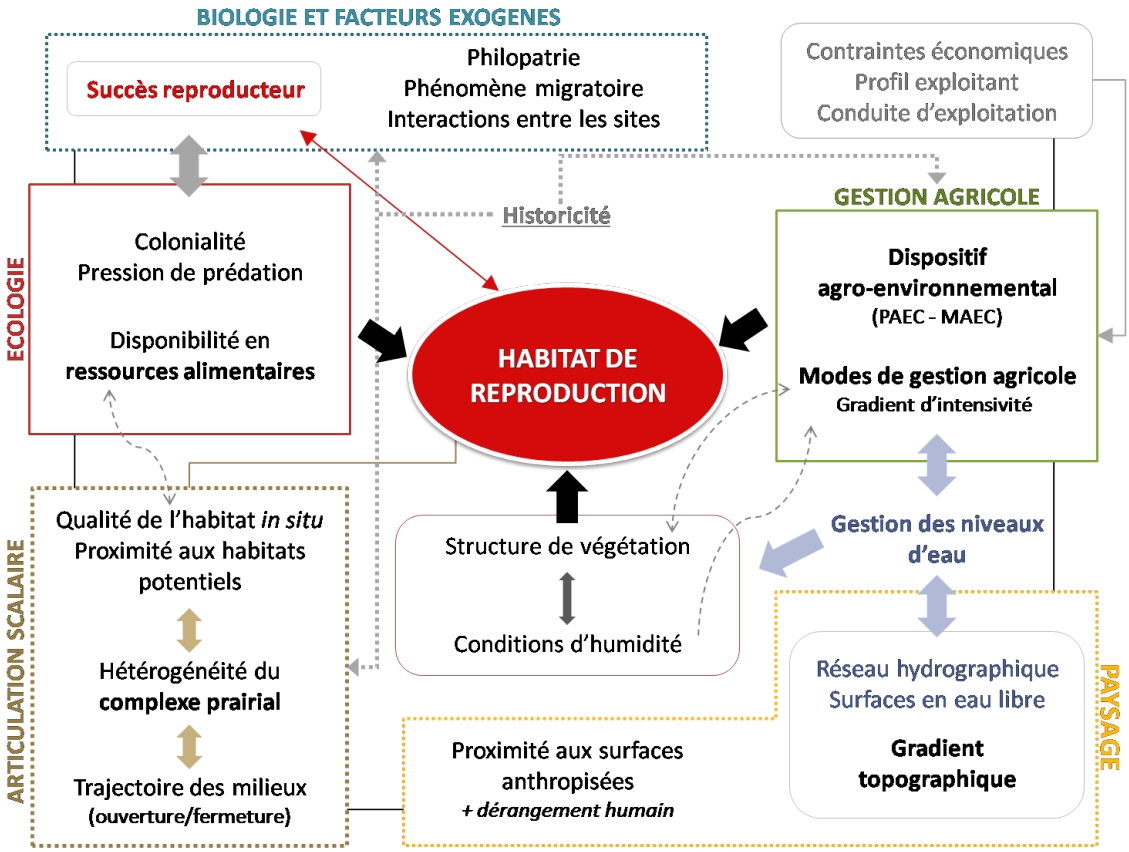


Figure 20 : Analyse systémique des principaux paramètres (avérés/supposés) entrant en jeu dans la sélection de l'habitat de reproduction et la conservation de la Barge à queue noire (PAEC : Projet Agro-Environnemental et Climatique ; MAEC : Mesures agro-environnementales et Climatiques)

La qualification des marges de manœuvre de l'opérateur MAEC et de l'exploitant agricole se fait en rapport avec la connaissance de la totalité des paramètres d'influence décrits (Fig. 20 ; Fig. 21).

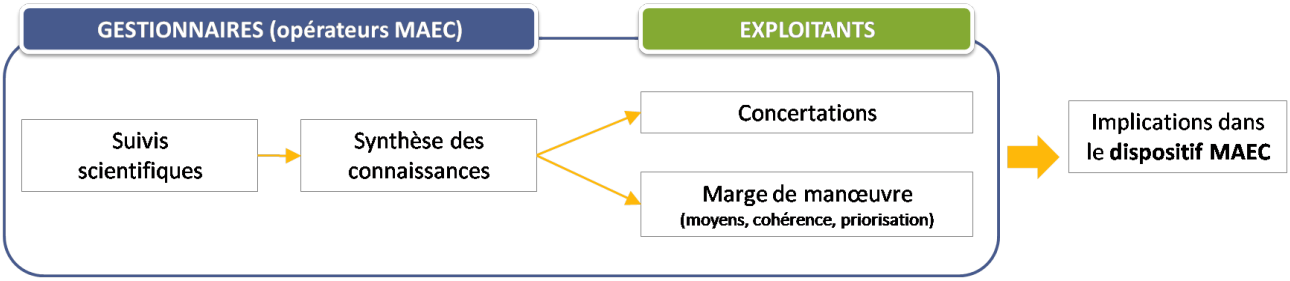


Figure 21 : Démarche du gestionnaire dans la recherche d'une stratégie de gestion adaptée

L'étude a permis de préciser la connaissance des secteurs porteurs d'enjeux pour la conservation de la Barge à queue noire, qu'il importe d'intégrer à la réflexion menée sur la pertinence des MAEC en vigueur sur le territoire. Cette étude a également précisé, outre les conditions prairiales, les pratiques des exploitants dans ces secteurs et participé à la sensibilisation de ces acteurs à la présence de l'espèce (et des espèces-compagnes) sur le territoire.

Plusieurs aspects sont à préciser pour une traduction opérationnelle de l'étude, notamment la question de l'effet du chargement instantané au printemps. De plus, la réflexion sur la nécessité de mettre en place des actions de gestion spécifiques au regard des résultats de 2017 (Fig. 21) doit tenir compte du fait que les résultats exposés se basent sur une seule année d'inventaire. Par ailleurs, il pourrait s'agir d'estimer avec précision l'effet des contraintes d'humidité et/ou d'inondation des prairies sur la marge de manœuvre dont dispose l'exploitant dans la gestion de ses parcelles. Le dispositif MAEC appliqué en Brière vise, plutôt que de les contraindre, à valoriser les pratiques en place. La topographie et l'humidité des prairies briéronnes contraignent de manière générale l'exploitation, ce dont peuvent bénéficier les barges. Il importe d'évaluer l'utilité d'actions MAEC spécifiques au contexte de nidification, ainsi que la marge de manœuvre associée, au regard des modes de gestion.

La mesure ZH2B, pour laquelle les prairies avec présence d'anatidés et limicoles nicheurs sont éligibles, implique l'interdiction de la fertilisation ainsi qu'une limitation de la période de pâturage (pas de pâturage entre le 15 décembre et le 30 avril) et de la date de fauche (après le 15 juillet ; Annexe 6). Le chargement annuel ne doit pas dépasser 1,2 UGB/ha sur la période autorisée. Cette mesure est contractualisée sur 12 des 111 entités de gestion inventoriées (10,81 %) et concerne 2 entités avec présence de Barge à queue noire parmi les 15 identifiées. Les entités avec présence de Barge à queue noire sont contractualisées dans environ 60 % des cas. Un panel plutôt large de mesures est identifié sur ces entités, il s'agit des MAEC suivantes : ZH1A, ZH2A, ZH2B, SHP2 et SHP. En 2016, 10 entités de présence étaient recensées et 40 % étaient *a priori* contractualisées à cette époque, avec un panel moins large de mesures par rapport à 2017 (mesures ZH2B, ZH2E, SHP2). Seules trois entités de gestion ont accueilli des couples nicheurs sur les deux années d'inventaire, d'où la nécessité d'adopter une réflexion globale à l'échelle du complexe prairial.

Au regard des interactions entre les paramètres d'influence, de la prédominance de pratiques extensives et de l'absence d'effets nettement négatifs relevés pour les facteurs agricoles, une adaptation éventuelle des MAEC en vigueur semble préférable à la construction d'une mesure spécifique à l'espèce.

D'autre part, l'intervention du gestionnaire dans la conservation de l'habitat ouvert favorisé par la Barge à queue noire est à mettre en relation avec la trajectoire écologique des prairies de la zone d'étude. Afin d'accroître la visibilité nécessaire à la définition d'actions de gestion efficaces, la connaissance des profils d'exploitants et du devenir des exploitations est cruciale. De manière générale, le maintien de l'habitat de reproduction de l'espèce en Brière est à mettre en relation avec les cessations d'activité prévues à plus ou moins court terme (départs en retraite) ; point soulevé par plusieurs exploitants lors de l'enquête. 7 à 10 exploitants parmi les 29 enquêtés pourraient cesser leur activité dans les 5 ans à venir, et les modalités de reprise ne sont pas toujours clairement établies.

Conclusion et perspectives

Le suivi de la nidification de la Barge à queue noire au sein des prairies hygrophiles de la ZPS « Grande Brière, Marais de Donges et du Brivet » entrepris en 2016 et 2017 montre une stabilisation récente des effectifs, qui restent toutefois très faibles.

En 2017, l'étude menée par le Parc naturel régional de Brière vis-à-vis de la distribution spatiale a permis une caractérisation de l'habitat prairial en vue d'appréhender le choix du site de nidification au retour de migration.

La distribution spatiale de l'espèce a pu être appréciée à travers trois profils prairiaux identifiés à partir des variations d'humidité et de structure de végétation observées sur le territoire.

A son arrivée au printemps, *Limosa l. limosa* semble être attirée par des prairies dont les conditions sont relativement variées en termes de saturation en eau des sols, mais avec toujours une exigence vis-à-vis de l'humidité ambiante des prairies. Les préférences vis-à-vis de la structure de végétation pourraient être plus marquées, avec un effet important de la hauteur du couvert, mais aussi une relation à sa densité. Il s'avère néanmoins que l'un des principaux facteurs d'habitat se retrouve dans la proximité aux surfaces en eau libre.

Ce travail a confirmé le fait que l'activité de pâturage est déterminante pour l'espèce.

L'enquête menée auprès des exploitants agricoles rappelle la dominance de pratiques plutôt extensives sur le territoire, où le chargement annuel est généralement faible. Néanmoins, une relation forte au chargement annuel de 2016, soit aux modalités de gestion qui précédent l'installation des couples, a été observée dans la répartition des barges en 2017.

Cette relation sous-entend l'effet direct de l'intensité de pâturage sur la structure du couvert, et indirect sur les préférences des nicheurs. Toutefois, son interprétation ne doit pas omettre la particularité des marais briérons : un gradient de topographie et d'humidité, perceptible à l'échelle de l'entité de gestion, qui influence les pratiques et peut favoriser dans le même temps l'installation des nicheurs.

L'impact exact du chargement instantané lors de l'établissement des couples nicheurs reste à quantifier. Le seuil à partir duquel l'intensité du pâturage précédant l'installation rend favorable aux nicheurs la structure de végétation obtenue au printemps est aussi à définir. Des recherches plus approfondies nécessiteraient d'être engagées pour préciser les interactions relevées entre fonctionnement hydrologique du marais, végétation prairiale et modalités agricoles, dans leur influence vis-à-vis de l'avifaune nicheuse.

La réflexion menée sur l'habitat de reproduction met également en lumière la nécessité de quantifier les effets d'autres facteurs, notamment exogènes, qui régissent le choix du site de nidification. Il s'agit d'évaluer le rôle que jouent les marais de Brière dans la conservation et le succès reproducteur de l'espèce en France. Cette réflexion nécessiterait d'intégrer la question du fonctionnement de la population de la Barge à queue noire en Brière, dont les effectifs sont plutôt faibles.

La promotion des actions de gestion conservatoire dans le cadre des dispositifs agro-environnementaux nécessite aussi de s'interroger sur les marges de manœuvre dont disposent les exploitants agricoles dans la conduite de leur exploitation.

Bibliographie

Ouvrages

Cornillon P-A., Guyader A., Husson F., Jégou N., Josse J., Kloareg M., Matzner-Lober E., Rouvière L. 2008. *Statistiques avec R*. Coll. Pratique de la statistique. Presses universitaires de Rennes. 257p

Gejl L. 2016. *Guide d'identification des limicoles d'Europe*. Paris : Delachaux et Niestlé. 369p

Géroudet P. 1983. *Limicoles, gangas et pigeons d'Europe*. Coll. Les Beautés de la nature. Paris : Delachaux et Niestlé. 2. 260p

Articles

Beintema A.J., Muskens G.J.D.M. 1987. Nesting success of birds breeding in dutch agricultural grasslands. *Journal of Applied Ecology*. 24 (3). p743-758

Braun-Blanquet J., Roussine N. & Nègre R. 1952. Les groupements végétaux de la France méditerranéenne. Dir. Carte Group. Vég. Afr. Nord, CNRS, 292p In : Meddour R. 2011. La méthode phytosociologique sigmatiste ou Braun-Blanqueto-Tüxenienne. Tizi Ouzou : Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques. 40p

Dumont B., Meuret M., Boissy A. 2003. Le pâturage vu par l'animal : mécanismes comportementaux et applications en élevage. *Fourrages*. 166. p213-238

Durant D. 2004. Les facteurs d'habitat influençant le choix des sites de nidification chez les limicoles nicheurs et le succès reproducteur - les pratiques de pâturage ont-elles un rôle à jouer ? Synthèse bibliographique. INRA. 68p

Durant D., Tichit M., Fritz H., Kernéïs E. 2008. Field occupancy by breeding lapwings Vanellus vanellus and redshanks Tringa totanus in agricultural wet grasslands. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 128. p146-150

Eglington S.M., Gill J.A., Smart M.A., Sutherland W.J., Watkinson A.R., Bolton M. 2009. Habitat management and patterns of predation of Lapwings on wet grasslands : the influence of linear structures at different spatial scales. *Biological Conservation*. 142. p314-324

Gill J.A., Langston R.H.W., Alves J.A., Atkinson P.W., Bocher P., Cidraes Vieira N.,..., Piersma T. 2007. Contrasting trends in two Black-tailed Godwit populations : a review of causes and recommendations. *Wader Study Group Bulletin*. 114. p43-50

Gill J.A., Norris K., Sutherland W.J. 2001. Why behavioural responses may not reflect the population consequences of human disturbance. *Biological Conservation*. 97. p265-268

Gregory R. D., Gibbons D. W., F. Donald P. 2004. Bird census and survey techniques. In: Sutherland W. J., Newton I., Green R. *Bird ecology and conservation : a handbook of techniques.* Techniques in Ecology and Conservation Series. Oxford Biology. New York : Oxford University Press. p17-56

Groen N. M. 1993. Breeding site tenacity and natal philopatry in the Black-tailed Godwit *Limosa l. limosa*. *Ardea*. 81. p107-113. In : Van den Brink V., Schroeder J., Both C., Lourenço P.M., Hooijmeijer J.C.E.W., Piersma T. 2008. Space use by Black-tailed Godwits Limosa limosa limosa during settlement at a previous or a new nest location. *Bird Study*. 55. p188-193

Groen N.M., Kentie R., de Goeij P., Verheijen B., Hooijmeijer J.C.E.W., Piersma T. 2012. A modern landscape

ecology of Black-tailed Godwits : habitats selection in Southwest Friesland, The Netherlands. *Ardea*. 100 (1). p19-28

Guigourès R. 2013. Utilisation des modèles de co-clustering pour l'analyse exploratoire des données (Thèse). Applications [stats.AP]. Université Panthéon-Sorbonne, Paris I. 180p

Hegyi Z. & Sasvari L. 1997. Costs and benefits of interspecific coloniality in breeding waders. *Folia Zoologica.* N°46. p303-314. In : Durant D. 2004. Les facteurs d'habitat influençant le choix des sites de nidification chez les limicoles nicheurs et le succès reproducteur - les pratiques de pâturage ont-elles un rôle à jouer ? Synthèse bibliographique. INRA. 68p.

Herrando S., Vorisek P., Paquet J-Y., Kupka M., Keller V. 2015. Le deuxième Atlas Européen des Oiseaux Nicheurs : de la Wallonie et Bruxelles à l'Europe. *Aves*. 52 (1). p20-28.

Hill M.O., Smith A.J.T.E. 1976. Principal Component Analysis of Taxonomic Data with Multi-State Discrete Characters. *Taxon*. 25 (2/3). p 249-255.

Johansson T. 2001. Habitat selection, nest predation and conservation biology in a Black-tailed Godwit (Limosa limosa) population. *Acta Universitatis Upsaliensis*. *Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology.* 610. 38p

Jönsson P.E. & Alerstam T. 1990. The adaptive significance of parental role division and sexual size dimorphism in breeding shorebirds. *Biological. Journal of the Linnean Society*. 41 (4). p301–314. In : Schroeder J., Lourenco P.M., van der Velde M., Both C., Piersma T., Heg D., Hooijmeijer J.C.E.W. 2008. Sexual dimorphism in plumage and size in Black-tailed Godwits Limosa limosa limosa. *Ardea*. 96 (1). p25-37

Kentie R. 2015. Spatial demography of black-tailed godwits - Metapopulation dynamics in a fragmented agricultural landscape (Thèse). Université de Groningen. 162p

Krolikowska N., Szymkowiak J., Laidlaw R.A., Kuczynski L. 2016. Threat-sensitive anti-predator defence in precocial wader : the northern lapwing Vanellus vanellus. *Acta ethologica*. 19. p163-171

Laursen K., Bodil Hald A. 2012. Identification of Black-tailed Godwit's Limosa limosa breeding habitat by botanical and environmental indicators. *Journal of Ornithology*. 153 (1). p1141-1152

Lebrun C., Marquet M., Godet L., 2016. Dénombrement et distribution spatiale des couples nicheurs de Barge à queue noire (Limosa limosa) dans les marais de Brière et du Brivet - Rapport d'étude. Parc naturel régional de Brière. 32p

Magnanon S. 1991. Contribution à l'étude des prairies naturelles inondables des marais de Donges et de l'estuaire de la Loire. Phyto-écologie, phytosociologie, valeur agronomique (Thèse). Université de Nantes, Faculté des Sciences et des Techniques. 310p

Maman L., Vienne L. 2010. Les zones humides, un patrimoine remarquable. *Geosciences.* P68-77

Marchadour B., Beaudoin J.C., Beslot E., Boileau N., Montfort D., Raitière W., Tavenon D. & Yésou P. 2014. Liste rouge des populations d'oiseaux nicheurs des Pays de la Loire. Coordination régionale LPO Pays de la Loire. Bouchemaine. 24 p

Meddour R. 2011. La méthode phytosociologique sigmatiste ou Braun-Blanqueto-Tüxenienne. Tizi Ouzou : Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques. 40p

Melman T.C.P., Schotman A.G.M., Hunink S. 2008. Evaluation of meadow bird management, especially the black-tailed godwit (Limosa limosa L.) in the Netherlands. *Journal for Nature Conservation*. 16. p88-95

Milsom T.P., Langton S.D., Parkin W.K., Peel S., Bishop J.D., Hart J.D., Moore N.P. 2000. Habitat models of bird species' distribution : an aid to the management of coastal grazing marshes. *Journal of Applied Ecology*. (37). p706-727

Nagelkerke N. 1991. A note on a General Definition of the Coefficient of Determination. Biometrika. 78 (3). p691-692. In : Mbachu H.I., Nduka E.C., Nja M.E. 2012. Designing a pseudo R-squared Goodness-of-Fit Measure in Generalized Linear Models. *Journal of Mathematics Research*. 4 (2). p148-154

O'Brien M. Smith K.W. 1992. Changes in the status of waders breeding on wet lowland grasslands in England and Wales between 1982 and 1989. *Bird Study*. 39 (3). p165-176

Park H-S., Jun C-H. 2009. A simple and fast algorithm for K-medoids clustering. *Expert Systems with Applications*. 36. p3336-3341

Pearce-Higgins J.W., Brown D.J., Douglas D.J.T., Alves J.A., Bellio M., Bocher P., ..., Verkuil Y.I. 2017. A global threats overview for Numeniini populations : synthesising expert knowledge for a group of declining migratory birds. *Bird Conservation International*. 27. p6-34.

Phelippon C., Dulac P. 2016. Caractérisation et valorisation des zones de nidification de la Barge à queue noire en Marais breton vendéen - Bilan des actions 2015. LPO Vendée. 26p

Muscat B. (coord.), 2003. Document d'objectifs Natura 2000. Site FR 52 00 623 : "Grande Brière, marais de Donges". Parc naturel régional de Brière. 226p

Marquet M., Berthelot C. (coord.), 2007. Document d'objectifs Oiseaux - Natura 2000. Site FR 52 12 008 : "Grande Brière - Marais de Donges et du Brivet". Parc naturel régional de Brière. 109p

PnrB. 2014a. Charte 2014-2026. Parc naturel régional de Brière. 167p

PnrB. 2014b. Projet de territoire pour la mise en oeuvre des Mesures Agro-environnementales Climatiques sur les sites Natura 2000 "Brière/Brivet" - Enjeu Biodiversité. Parc naturel régional de Brière. 61P

Rakotomalala R. 2017. Pratique de la Régression Logistique - Régression Logistique Binaire et Polytomique, version 2.0 (Université Lyon 2). 274p

Robin F., Dulac P., Crouzier P., Gélinaud G., Guéret J-P., Montfort D.,..., Robin J-G. 2016. Nidification de la Barge à queue noire Limosa limosa en France : état des lieux. *Ornithos*. 23 (1). p2-15

Robin F., Robin J.-G. DULAC P. 2016. Démographie de la population de Barge à queue noire Limosa limosa limosa en reproduction dans les marais côtiers du Centre-Ouest de la France : premier bilan de cinq années de suivi. *La Gorgebleue 2.0*. 013-FV2016. 10p

Sabatier R., Durant D., Ferchichi S., Haranne K., Léger F., Tichit M. 2015. Effect of cattle trampling on ground nesting birds on pastures : an experiment with artificial nests. *European Journal of Ecology.* 2 (1). p5-11

Schekkerman H., Beintema A.J. 2007. Abundance of invertebrates and foraging success of Black-tailed Godwit Limosa limosa chicks in relation to agricultural grassland management. *Ardea.* 95 (1). p40-54

Schroeder J. 2010. Individual fitness correlates in the Black-tailed Godwit (Thèse). Université de Groningen. 207p

Schroeder J., Lourenco P.M., van der Velde M., Both C., Piersma T., Heg D., Hooijmeijer J.C.E.W. 2008. Sexual dimorphism in plumage and size in Black-tailed Godwits Limosa limosa limosa. *Ardea*. 96 (1). p25-37

Shannon C. E., Weaver W. 1949. The Mathematical Theory of Communication. In : Ramade F., 2009. *Eléments d'écologie – Ecologie fondamentale*. Coll. Sciences sup. Paris : Dunod. 704P

Smart J., Gill J.A., Sutherland W.J., Watkinson A.R. 2006. Grassland-breeding waders: identifying key habitat requirements for management. *Journal of Applied Ecology*. 43. p454-463

Stewart K.E.J., Bourn N.A.D., Thomas J.A. 2001. An evaluation of three quick methods commonly used to assess sward height in ecology. *Journal of Applied Ecology*. (38). P1148-1154.

Teunissen W., Schekkerman H., Willems F., Majoor F. 2008. Identifying predators of eggs and chicks of Lapwing Vanellus vanellus and Black-tailed Godwit Limosa limosa in the Netherlands and the importance of predation on wader reproductive output. *Ibis*. 150 (1). p74-85

Tichit M., Durant D., Kernéïs E., 2005a. The role of grazing in creating suitable sward structures for breeding birds in agricultural landscapes. *Livestock Production Science*. 96. p119-128

Tichit M., Magda D., Durant D., Lauvie A., Lecrivain E., Martel G., Roche B., De Sainte Marie C., Sabatier R., Teillard F. 2012. Systèmes d'élevage et biodiversité : des antagonismes aux synergies. Rencontres Recherches Ruminant. (19). 8p

Tichit M., Renault O., Potter T. 2005b. Grazing regime as a tool to assess positive side effects of livestock farming systems on wading birds. Livestock Production Science. 96. p109-117

Tichit M., Doyen L., Lemel J.Y., Renault O., Durant D. 2007. A co-viability model of grazing and bird community management in farmland. Ecological Modelling. 206. p277-293

Trolliet B., 2014. Plan national de gestion (2015 – 2020) Barge à queue noire (*Limosa limosa*). Office national de la chasse et de la faune sauvage. 102p

Van den Brink V., Schroeder J., Both C., Lourenço P.M., Hooijmeijer J.C.E.W., Piersma T. 2008. Space use by Black-tailed Godwits Limosa limosa limosa during settlement at a previous or a new nest location. *Bird Study*. 55. p188-193

Van der Wal R., Palmer S.C.F. 2008. Is breeding of farmland wading birds depressed by a combination of predator abundance and grazing ? *Biology letters*. 4. p256-258

Références des logiciels cités

ESRI (Environmental Systems Resource Institute), 2011. ArcGIS Desktop : Release 10.1. ESRI, Redlands, California.

Quantum GIS Development Team. 2009. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Release 2.10.1.

R Development Core Team. 2005. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. R 3.3.3.

Sitographie

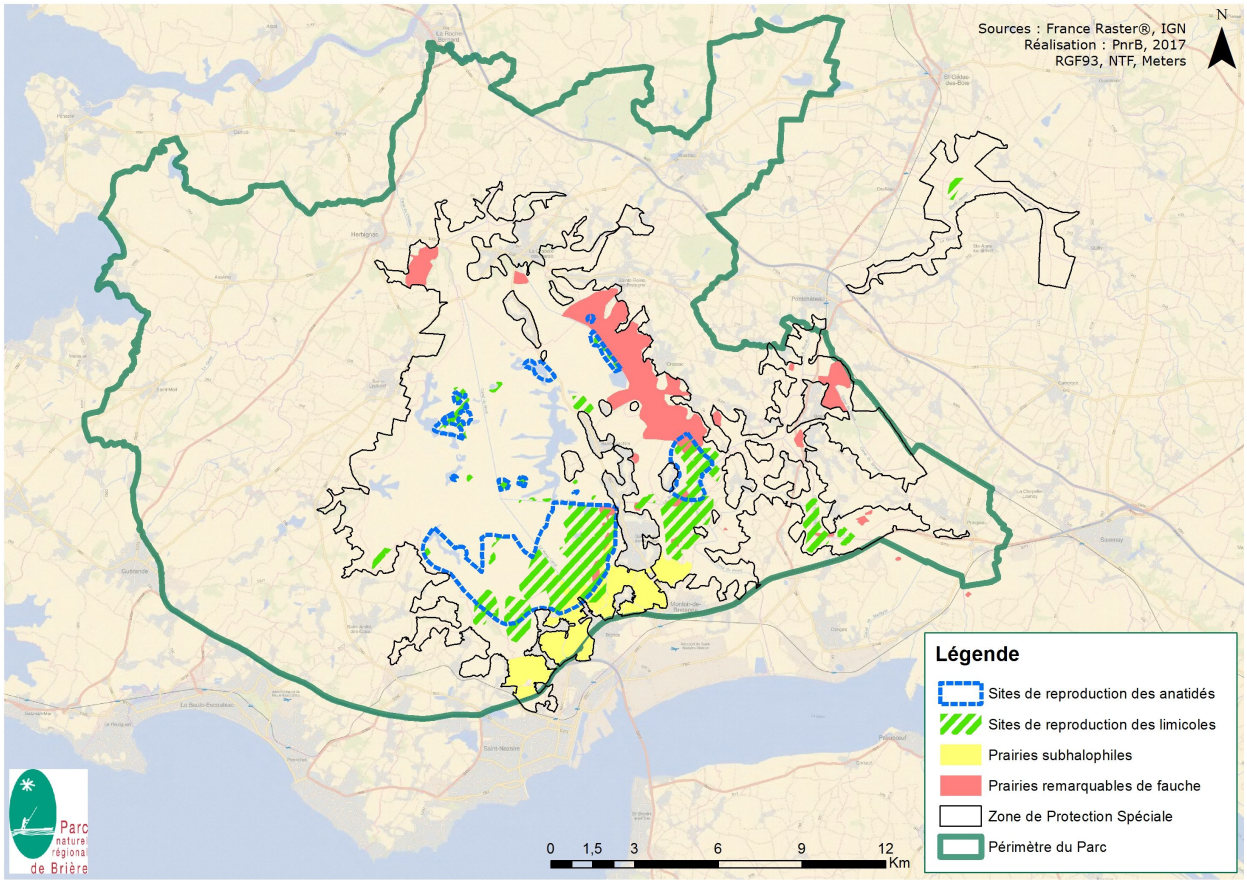
MNHN-SPN. 2017a. *Limosa limosa* (Linnaeus, 1758). INPN.
Repéré à : <https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/2563>

MNHN-SPN. 2017b. FR5212008 - Grande Brière, marais de Donges et du Brivet. INPN. Repéré à : <https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR5212008>

RAMSAR. 2017. Grande Brière. Service d'information sur les sites RAMSAR. Repéré à : <https://rsis.ramsar.org/fr/ris/713>

ANNEXES

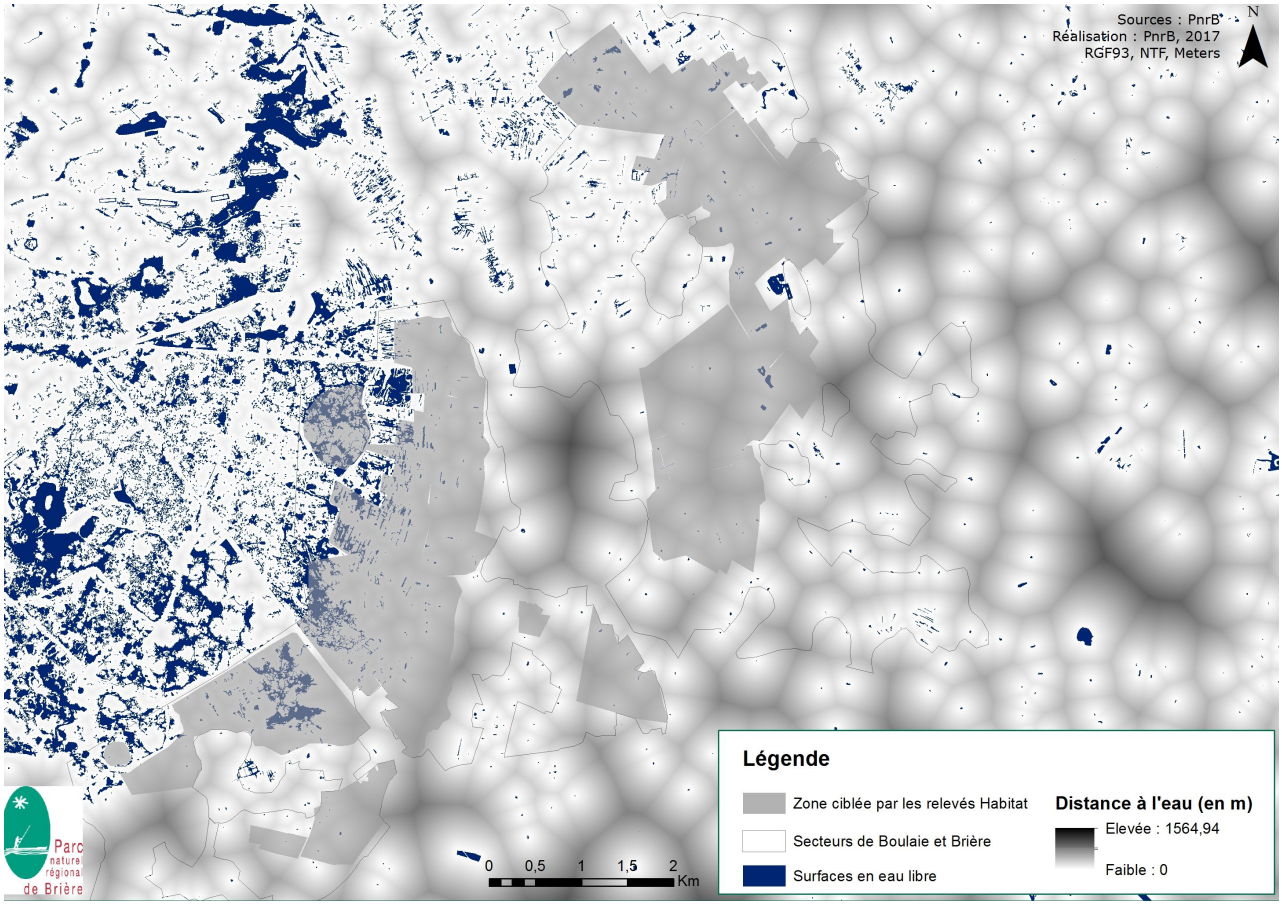
Annexe 1 : Localisation des prairies remarquables et des sites de reproduction des anatidés et limicoles en Brière.



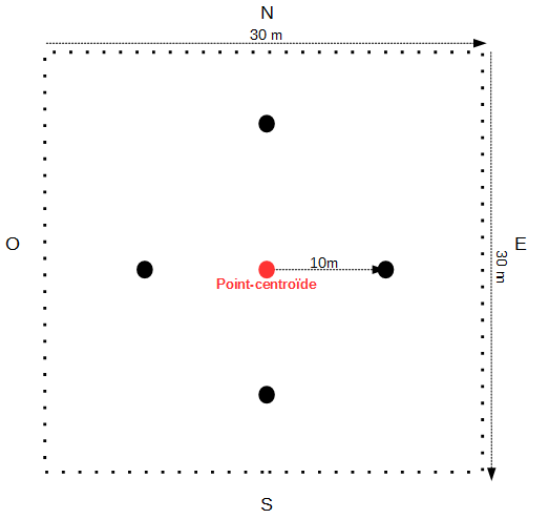
Annexe 2 : Critères établis dans le cadre de l'Atlas Européen des Oiseaux Nicheurs (EBBA2) de l'European Bird Census Council (EBCC), définissant la probabilité de nidification selon les preuves de reproduction (Source : Herrando et *al.*, 2015).

Nicheurs	n°	Preuve de reproduction EBBA2
Possible	1	Espèce observée pendant la période de reproduction dans un habitat favorable
	2	Mâle chanteur observé pendant la période de reproduction
Probable	3	Couple observé dans un habitat favorable pendant la saison de reproduction
	4	Territoire permanent présumé grâce à l'observation d'un comportement territorial
	5	Parade nuptiale / accouplement
	6	Visite d'un site de nid probable
	7	Comportement anxieux ou cris d'anxiété des adultes
	8	Plaque incubatrice sur un oiseau adulte capturé
	9	Construction d'un nid ou excavation d'une cavité
Certain	10	Parade de diversion - feinte de blessure
	11	Nid occupé ou coquilles d'œuf trouvées
	12	Jeunes récemment envolés (espèces nidicoles) ou encore en duvet (espèces nidifuges)
	13	Adultes entrant ou quittant un site de nidification dans des circonstances indiquant l'occupation ou observation d'un adulte en train de couver
	14	Adultes transportant la becquée ou un sac fécal
	15	Nid contenant des œufs
	16	Nid contenant des jeunes vus ou entendus

Annexe 3 : Surfaces en eau libre et raster de distance à l'eau.



Annexe 4 : Schéma de l'unité de relevé dans le cadre de la caractérisation d'habitat : disposition des points de mesure sur la maille-cible.



Annexe 5 : Questionnaire utilisé dans le cadre de l'enquête menée auprès des exploitants agricoles.

Enquête Gestion agricole & Habitat de la Barge à queue noire

Etude 2017

Parc naturel régional de Brière

Date : .../.../.....

Coordonnées de l'exploitant

Nom : ..... Mail : .....

Prénom : ..... Tél. : .....

Adresse : .....

Informations sur l'unité en gestion

Ilot : ..... N° parcelle : .....

Mesures Agro-Environnementales et Climatiques (MAEC)

Type MAEC : ..... Niveau : ..... Surface en MAE (en ha) : .....

Date de début du contrat : ...../...../.....

Contrat antérieur ? ☐ Oui ☐ Non

Si oui, type MAEC antérieur : ..... Niveau : .....

Renouvellement ? ☐ Oui ☐ Non

Pratiques agricoles

Pratique dominante : ☐ pâturage ☐ fauche

Couplage des pratiques : ☐ oui, pâturage+fauche ☐ oui ,autre : ..... ☐ non

Pâturage

2016

Surface pâturée (en ha) 2016 : .....

Date(s) d'entrée 2016 : ...../...../..... (1) ...../...../..... (2) ...../...../..... (3) ...../...../..... (4)

Date(s) de sortie 2016 : ...../...../..... (1) ...../...../..... (2) ...../...../..... (3) ...../...../..... (4)

Durée de pâturage entre mars et juin 2016 (en jours) : .....

Pâturage à l'année : ☐ oui ☐ non

Chargement annuel (UGB/ha/an) : .....

Nombre d'animaux par type :

V.A. : ..... Gén. : ..... Veaux : ..... Chev. : ..... Autre : ..... Viande / Lait

2017

Surface pâturée (en ha) 2017 : .....

Date d'entrée 2017 : ...../...../..... (1) ...../...../..... (2) ...../...../..... (3) ...../...../..... (4)

Date de sortie 2017 : ...../...../..... (1) ...../...../..... (2) ...../...../..... (3) ...../...../..... (4)

Durée de pâturage 01/01 à 15/04 2017 (en jours) : .....

Nombre d'animaux par type :

V.A. : ..... Gén. : ..... Veaux : ..... Chev. : ..... Autre : ..... Viande / Lait

Déprimage 2016 : ☐ oui ☐ non Date d'entrée : ...../...../..... Date de sortie : ...../...../.....

Déprimage 2017 : ☐ oui ☐ non Date d'entrée : ...../...../..... Date de sortie : ...../...../.....

P. automnal 2016 : ☐ oui ☐ non Date d'entrée : ...../...../..... Date de sortie : ...../...../.....

Fauche/Broyage des refus : ☐ oui ☐ non Date/période(s) : .....

Date Fauche 2016 : ..../.../..... Fauche 2017 ? .....

Ancienneté de la gestion actuelle (1 an, de 2 à 5 ans, plus de 5 ans) : ..... Mode antérieur : .....

Annexe 6 : Récapitulatif des MAEC sur le territoire « Grande Brière – Marais de Donges » pour les prairies (à partir de : PnrB,2014) (*TO : type d'opération, nouvelle dénomination des engagements unitaires du cadre national).

TYPE HABITAT	CODE	OBJECTIFS DE LA MESURE	COMBINAISON DE TO*	MONTANT UNITAIRE ANNUEL
Mesures Système				
Marais indivis	PL_BRIE_SHP2	Mesure système Herbagers et pastoraux collective (accessible uniquement par les structures collectives) Gestion collective extensive des prairies fertilisation azotée limitée à 50 UN et mise en œuvre d'un plan de gestion	SHP 02 HERBE 09	122 €/ha
Mesures parcellaires (surfaces)				
Prairie Naturelle humide	**PL_BRIE_ZH1A**	Gestion extensive de la prairie, fertilisation azotée limitée à 50 UN Si fauche, après le 10 juin, chargement 1,4 UGB/ha en moyenne	HERBE 13	120 €/ha
Prairie Naturelle humide	**PL_BRIE_ZH2A**	Gestion extensive de la prairie, fertilisation azotée interdite, si fauche, après le 10 juin, chargement 1,4 UGB/ha en moyenne	HERBE 13 HERBE 03	137 €/ha
Prairie Naturelle humide	PL_BRIE_MO1A	Mesure pour Cumul avec SHP et non éleveur Gestion extensive de la prairie avec chargement inférieur à 1,4 UGB/ha, fertilisation azotée interdite et sans intervention entre le 15 décembre et le 15 avril	HERBE 11 HERBE 03	72 €/ha
gazon amphibie et prairie à limicoles et anatidés	**PL_BRIE_ZH2B**	Gestion extensive des gazons amphibies et prairies à limicoles et anatidés, fertilisation azotée interdite, sans pâturage entre le 15 décembre et le 30 avril et sans fauche entre le 15 décembre et le 15 juillet, chargement limité à 1,2 UGB/ha	HERBE 13 HERBE 03 HERBE 04	212 €/ha
Prairie Naturelle Remarquable de fauche	**PL_BRIE_ZH2C**	Gestion extensive de la prairie, fertilisation azotée interdite, sans pâturage et sans fauche entre le 15 décembre et le 30 juillet	HERBE 13 HERBE 03 HERBE 06 HERBE 11	363 €/ha
Prairie Naturelle subhalophile	**PL_BRIE_ZH2D**	Gestion extensive des prairies sub-halophiles, fertilisation azotée interdite, sans pâturage et sans fauche entre le 15 décembre et le 15 juin	HERBE 13 HERBE 03 HERBE 06 HERBE 11	236 €/ha
Zone à guifettes	**PL_BRIE_ZH2E**	Gestion extensive des prairies à enjeu guifette, fertilisation azotée interdite, sans pâturage et sans fauche entre le 15 décembre et le 10 juin, chargement limité à 1,2 UGB/ha	HERBE 13 HERBE 03 HERBE 04	212 €/ha
Système Herbager et Pastoraux (Chambre d'Agriculture de Loire-Atlantique)				
Prairie naturelle	**SHP**	exigence d'un min. de 4 plantes indicatrices dans chaque tiers, grille d'évaluation du pâturage, chargement max. de 1,4 UGB/ha sur l'exploitation	PnrB non-opérateur	/

Annexe 7 : Matrice des corrélations selon le coefficient de Spearman, variables quantitatives d'habitat.

	Distance à l'eau	Hauteur de végétation	Indice d'hétérogénéité des hauteurs de végétation	Hauteur d'eau
Distance à l'eau	1	-0,03	-0,04	-0,61
Hauteur de végétation	-0,03	1	-0,67	0,34
Indice d'hétérogénéité des hauteurs de végétation	-0,04	-0,67	1	-0,29
Hauteur d'eau	-0,61	0,34	-0,29	1

Annexe 8 : Classes d'appartenance phytosociologique et espèces recensées.

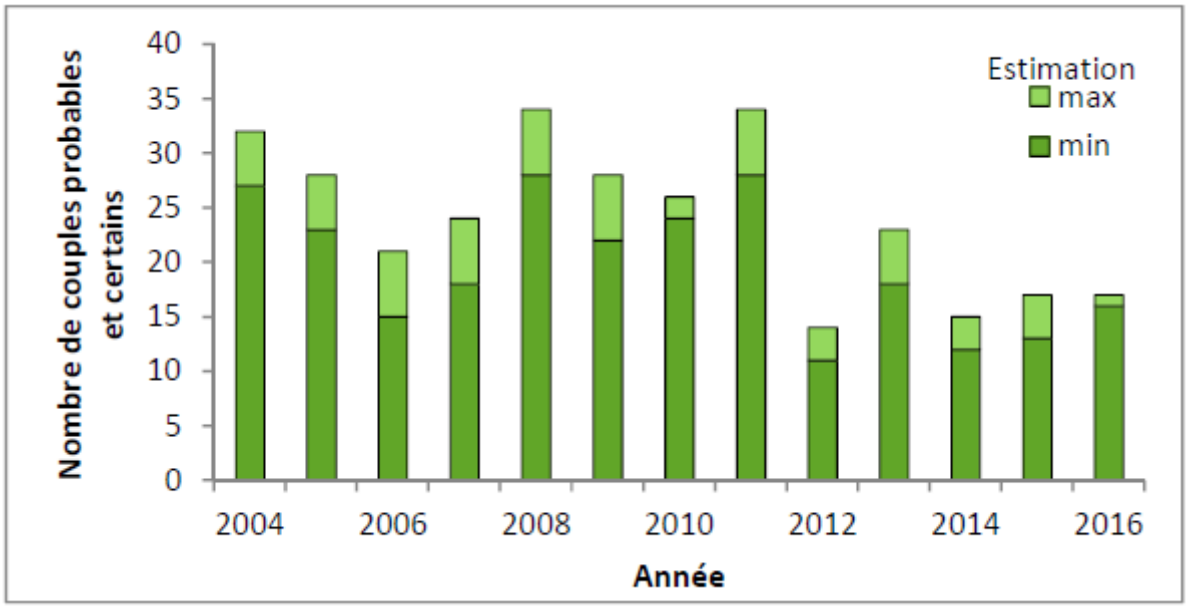
Classe	Espèce floristique
Arrhenatheretea elatioris (Braun-Blanquet ex Braun-Blanquet, Roussine & Nègre 1952)	*Arrhenatherum eliatus*
	Dactylis sp.
	Holcus lanata
	Lolium perenne
	Plantago major
Agrostietea stoloniferae (Oberdorfer 1983)	*Agrostis stonolifera*
	Alopecurus geniculatus
	Alopecurus pratensis
	Alopecurus sp. cf pratensis
	Argentina anserina
	Cardamine pratensis
	Eleocharis palustris
	Juncus articulatus
	Juncus Gerardii
	Mentha aquatica
	Myosotis Scorpioides
	Oenanthe fistulosa
Glycerio fluitantis - Nasturtietea officinalis (Zohary ex Géhu & Géhu-Franck 1987), regroupée avec ***Agrostietea stolonfierae***	*Glyceria fluitans*
	Ludwigia grandiflora
Phragmito australis - Magnocaricetea elatae (Klika in Klika & V. Novák 1941)	*Bolboschoenus maritimus*
	Galium palustris
	Hippuris vulgaris
	Iris pseudocarus
	Lysimacia vulgaris
	Phalaris arundinacea
	Phragmites australis
	Sparganium erectum
Filipendulo ulmariae - Convolvuletea sepium (Géhu & Géhu-Franck 1987)	*Calystegia sepium*
Littorelletea uniflorae (Braun-Blanquet & Tüxen ex Westhoff, Dijk, Passchier & Sissingh 1946)	*Baldelia ranunculoides*
	Juncus bulbosus
	Juncus heterophilus
Molinio caeruleae - Juncetea acutiflori (Braun-Blanquet 1950)	*Cirsium disectum*
	Galium debilum
	Hydrocotile vulgaris
	Ranunculus flammula
Potametea pectinati (Klika in Klika & Novák 1941)	*Ranunculus peltatus*
Lemnetea minoris (Tüxen ex O. Bolòs & Masclans 1955)	*Azolla filiculoides*
	Lemna sp.
Nardetea strictae (Rivas Goday & Borja-Carbonell 1961 em. de Foucault 1994)	*Anthoxanthum odoratum*

Annexe 9 : Matrice des corrélations selon le coefficient de Spearman, variables quantitatives de gestion agricole et d'habitat (AHS n°2). Les valeurs colorées en rouge sont notables (variables fortement corrélées) au seuil 0,75 (et significatives au seuil α = 0,05).

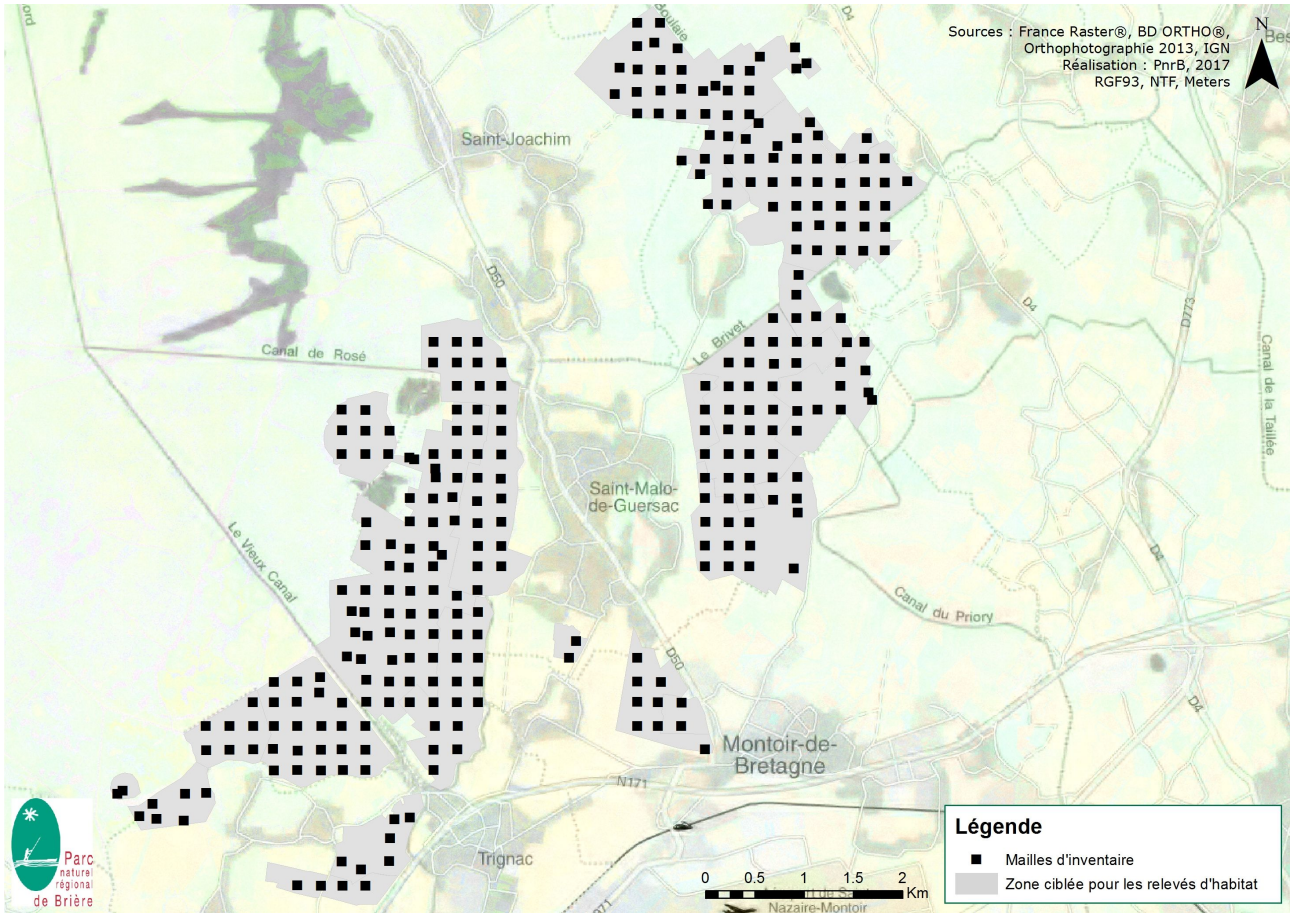
	Dist_eau	Veg_moy	Hetero_veg	Eau_moy	ANJOUR	ANCHAR	A1JOUR	A1CHAR	A2JOUR	A2CHAR	A3JOUR	A3CHAR	P1JOUR	P1CHAR	P2JOUR	P2CHAR
Dist_eau	1	-0,03	-0,04	-0,61	-0,07	0,16	0,04	0,10	-0,04	0,10	-0,08	0,10	0,14	0,14	0,06	0,13
Veg_moy	-0,03	1	-0,67	0,34	-0,14	-0,25	-0,25	-0,24	-0,15	-0,19	-0,10	-0,15	-0,13	-0,13	-0,26	-0,25
Hetero_veg	-0,04	-0,67	1	-0,29	0,14	0,16	0,28	0,26	0,16	0,17	0,08	0,05	0,19	0,18	0,29	0,27
Eau_moy	-0,61	0,34	-0,29	1	0,00	-0,19	-0,19	-0,21	-0,04	-0,15	0,04	-0,07	-0,27	-0,26	-0,20	-0,21
ANJOUR	-0,07	-0,14	0,14	0,00	1	0,76	0,54	0,46	0,88	0,69	0,91	0,72	0,00	-0,01	0,58	0,49
ANCHAR	0,16	-0,25	0,16	-0,19	0,76	1	0,45	0,46	0,68	0,80	0,67	0,86	0,10	0,10	0,45	0,47
A1JOUR	0,04	-0,25	0,28	-0,19	0,54	0,45	1	0,97	0,53	0,36	0,31	0,17	0,35	0,34	0,78	0,72
A1CHAR	0,10	-0,24	0,26	-0,21	0,46	0,46	0,97	1	0,48	0,37	0,22	0,15	0,38	0,38	0,73	0,72
A2JOUR	-0,04	-0,15	0,16	-0,04	0,88	0,68	0,53	0,48	1	0,87	0,66	0,49	-0,02	-0,03	0,56	0,49
A2CHAR	0,10	-0,19	0,17	-0,15	0,69	0,80	0,36	0,37	0,87	1	0,46	0,53	0,02	0,02	0,39	0,39
A3JOUR	-0,08	-0,10	0,08	0,04	0,91	0,67	0,31	0,22	0,66	0,46	1	0,81	-0,05	-0,07	0,44	0,35
A3CHAR	0,10	-0,15	0,05	-0,07	0,72	0,86	0,17	0,15	0,49	0,53	0,81	1	-0,08	-0,08	0,26	0,25
P1JOUR	0,14	-0,13	0,19	-0,27	0,00	0,10	0,35	0,38	-0,02	0,02	-0,05	-0,08	1	1,00	0,30	0,33
P1CHAR	0,14	-0,13	0,18	-0,26	-0,01	0,10	0,34	0,38	-0,03	0,02	-0,07	-0,08	1,00	1	0,29	0,33
P2JOUR	0,06	-0,26	0,29	-0,20	0,58	0,45	0,78	0,73	0,56	0,39	0,44	0,26	0,30	0,29	1	0,96
P2CHAR	0,13	-0,25	0,27	-0,21	0,49	0,47	0,72	0,72	0,49	0,39	0,35	0,25	0,33	0,33	0,96	1

Dist_eau : distance à l'eau ; Veg_moy : hauteur d'herbe moyenne
Hetero_veg : indice d'hétérogénéité des hauteurs de végétation ; Eau_moy : hauteur d'eau moyenne
ANJOUR : % jours pâturés à l'année (2016) ; ANCHAR : chargement annuel (UGB/ha/an, 2016)
A1JOUR : % jours pâturés entre le 15 mars et le 31 mai 2016 ; A1CHAR : chargement sur cette période (UGB/ha)
A2JOUR : % jours pâturés entre le 1er juin et le 15 août 2016 ; A2CHAR : chargement sur cette période (UGB/ha)
A3JOUR : % jours pâturés entre le 16 août et le 31 décembre 2016 ; A3CHAR : chargement sur cette période (UGB/ha)
P1JOUR : % jours pâturés entre le 15 mars et le 15 avril 2017 ; P1CHAR : chargement sur cette période (UGB/ha)
P2JOUR : % jours pâturés entre le 16 avril et le 31 mai 2017 ; P2CHAR : chargement sur cette période (UGB/ha)

Annexe 10 : Evolution des effectifs nicheurs de *Limosa l. limosa* entre 2004 et 2016. En vert foncé, estimation minimale ; en vert clair, estimation maximale (Source : Lebrun et *al*., 2016).



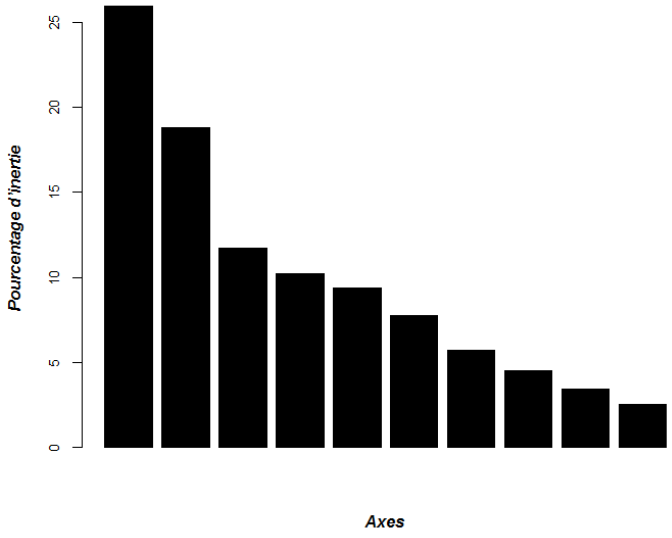
Annexe 11 : Mailles inventoriées au cours du printemps 2017 dans le cadre de la caractérisation de l'habitat de *Limosa l. limosa* (n = 301).



Annexe 12 : Composition des groupes de la typologie prairiale ainsi que des mailles de présence et de l'échantillon global (effectifs et proportion en % au sein de l'échantillon considéré) pour les paramètres Habitat retenus.

	Profil 1 (n =132)		Profil 2 (n = 69)		Profil 3 (n = 66)		Présence de *Limosa l. limosa* (n = 38)		Echantillon global (n = 267)	
	Effectifs	**%**	**Effectifs**	**%**	**Effectifs**	**%**	**Effectifs**	**%**	**Effectifs**	**%**
Humidité du sol										
sec	71	53,79	0	0,00	3	4,55	4	10,53	74	27,72
frais	27	20,45	0	0,00	1	1,52	3	7,89	28	10,49
humide	10	7,58	0	0,00	0	0,00	1	2,63	10	3,75
saturé	14	10,61	0	0,00	7	10,61	4	10,53	21	7,87
à saturation maximale	10	7,58	69	100,00	55	83,33	26	68,42	134	50,19
Densité du couvert										
clairsemé	13	9,85	23	33,33	0	0,00	4	10,53	36	13,48
peu dense	15	11,36	28	40,58	3	4,55	11	28,95	46	17,23
dense	53	40,15	17	24,64	21	31,82	19	50,00	91	34,08
très dense	51	38,64	1	1,45	42	63,64	4	10,53	94	35,21
Fréquence de touffes enherbées										
aucune, épars	85	64,39	66	95,65	57	86,36	28	73,68	208	77,90
occasionnel	24	18,18	0	0,00	2	3,03	4	10,53	26	9,74
fréquent	17	12,88	2	2,90	1	1,52	3	7,89	20	7,49
abondant	6	4,55	1	1,45	6	9,09	3	7,89	13	4,87
Limosa l. limosa										
Présence nicheuse	16	12,12	18	26,09	4	6,06	38	100,00	38	14,23
	Moyenne	**Ecart-type**	**Moyenne**	**Ecart-type**	**Moyenne**	**Ecart-type**	**Moyenne**	**Ecart-type**	**Moyenne**	**Ecart-type**
Hauteur d'eau (cm)	0,58	1,55	17,82	10,51	6,89	5,95	7,81	8,33	6,59	9,42
Indice de Shannon	0,81	0,05	0,78	0,06	0,67	0,04	0,79	0,07	0,77	0,08
Hauteur de végétation (cm)	20,13	5,75	24,16	11,67	41,68	15,20	20,51	6,70	26,50	13,65
Distance à l'eau (m)	155,42	103,52	36,64	41,29	113,12	80,06	62,43	50,38	114,27	98,41

Annexe 13 : Diagramme de décroissance des valeurs propres (inertie exprimée en %), AHS n°1 (volet Habitat).



Annexe 14 : Part d'inertie portée par chacun des axes (« inertia » : valeurs propres, « cum » : inertie cumulée, « cum (%) » inertie cumulée en pourcentage), AHS n°1 (volet Habitat).

Decomposition of total inertia:

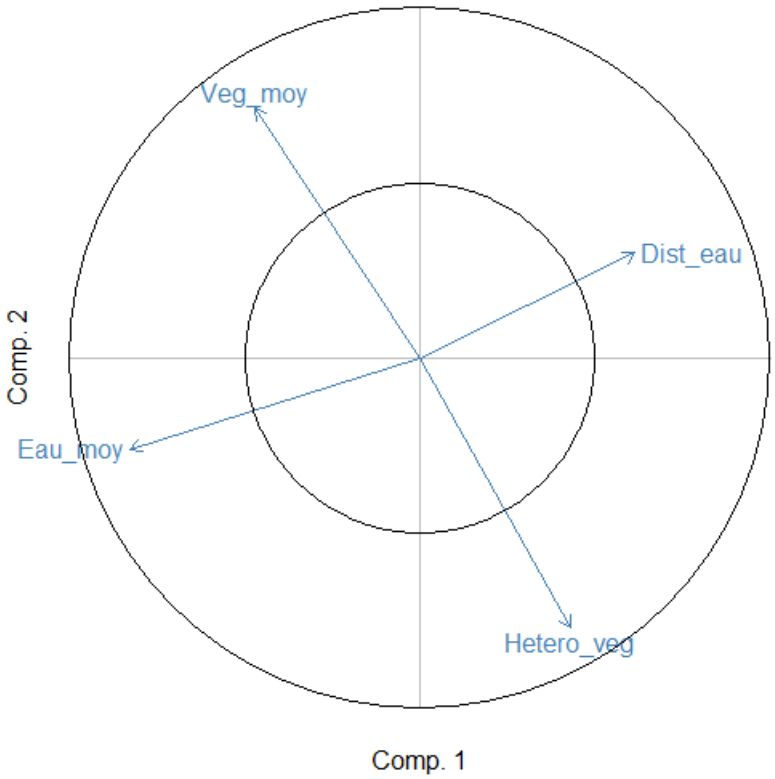
	inertia	cum	cum(%)
Ax1	2.5865	2.587	25.92
Ax2	1.8749	4.461	44.71
Ax3	1.1705	5.632	56.45
Ax4	1.0217	6.654	66.69
Ax5	0.9326	7.586	76.03
Ax6	0.7760	8.362	83.81
Ax7	0.5724	8.935	89.55
Ax8	0.4488	9.383	94.04
Ax9	0.3425	9.726	97.48
Ax10	0.2518	9.978	100.00

Annexe 15 : Rapports de corrélation (variables qualitatives) et coefficients de détermination (variables quantitatives) à l'axe . RS1 : axe 1, RS2 : axe 2. AHS n°1 (volet Habitat).

	RS1	RS2
Veg_moy	0.2212027	0.50792204
Eau_moy	0.6821013	0.06824010
T_herbe	0.2325224	0.03327900
Humidité	0.7351330	0.05077698
Densité	0.1575945	0.53204499
Hétéro_veg	0.1829044	0.59396914
Dist_eau	0.3750485	0.08863335

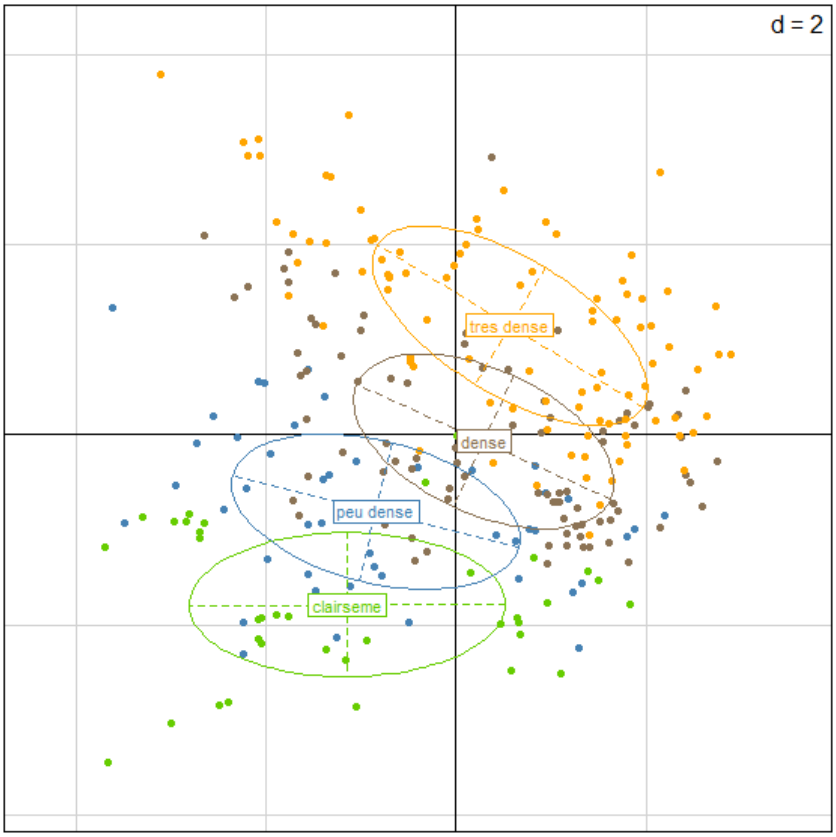
Veg_moy : hauteur de végétation moyenne ; Eau_moy : hauteur d'eau moyenne ; T_herbe : fréquence de touffes enherbées ; Humidité : degré d'humidité du sol ; Densité : densité du couvert végétal ; Hétéro_veg : indice d'hétérogénéité des hauteurs de végétation ; Dist_eau : distance à l'eau.

Annexe 16 : Cercle des corrélations entre variables quantitatives, AHS n°1 (volet Habitat).

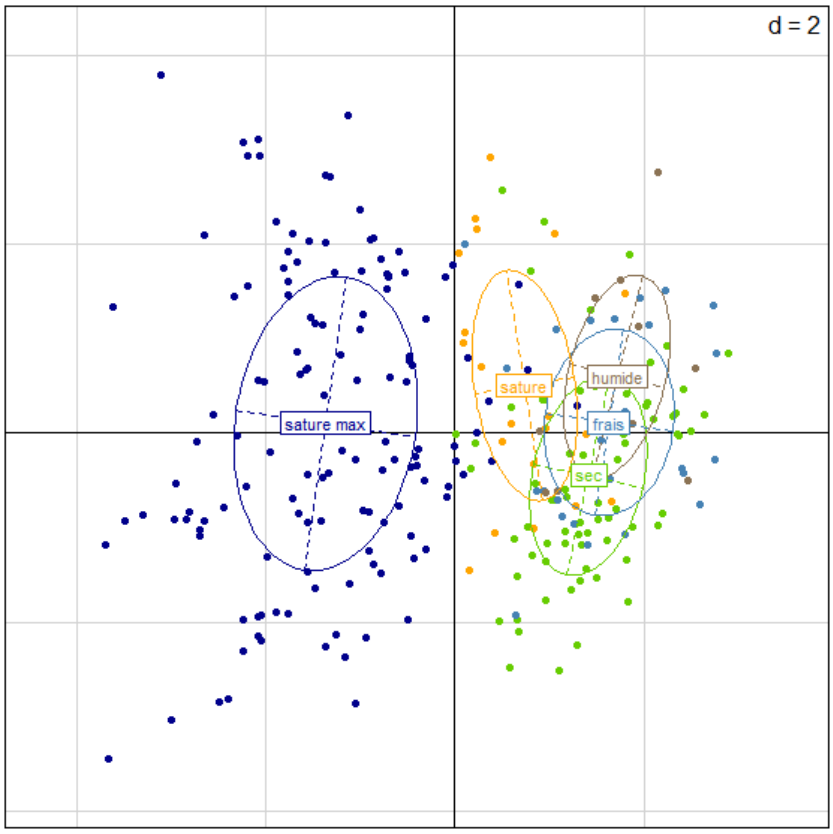


Comp. 1 : composante principale (axe factoriel) 1. Comp. 2 : composante principale (axe factoriel) 2.
Veg_moy : hauteur de végétation moyenne ; Eau_moy : hauteur d'eau moyenne ; Hétéro_veg : indice d'hétérogénéité des hauteurs de végétation ; Dist_eau : distance à l'eau.

Annexe 17 : Représentation de la variable de densité du couvert végétal dans le plan factoriel de l'AHS n°1 (volet Habitat). 4 modalités, graduellement : couvert clairsemé, peu dense, dense, très dense.



Annexe 18 : Représentation de la variable d'humidité du sol dans le plan factoriel de l'AHS n°1 (volet Habitat). 5 modalités, graduellement : sol sec, frais, humide, saturé, à saturation maximale.


d = 2
sature max
sature
humide
frais
sec

Annexe 19 : Significativités statistiques des comparaisons entre les trois groupes de la typologie pour les variables quantitatives (p < 0,05), AHS n°1 (volet Habitat).

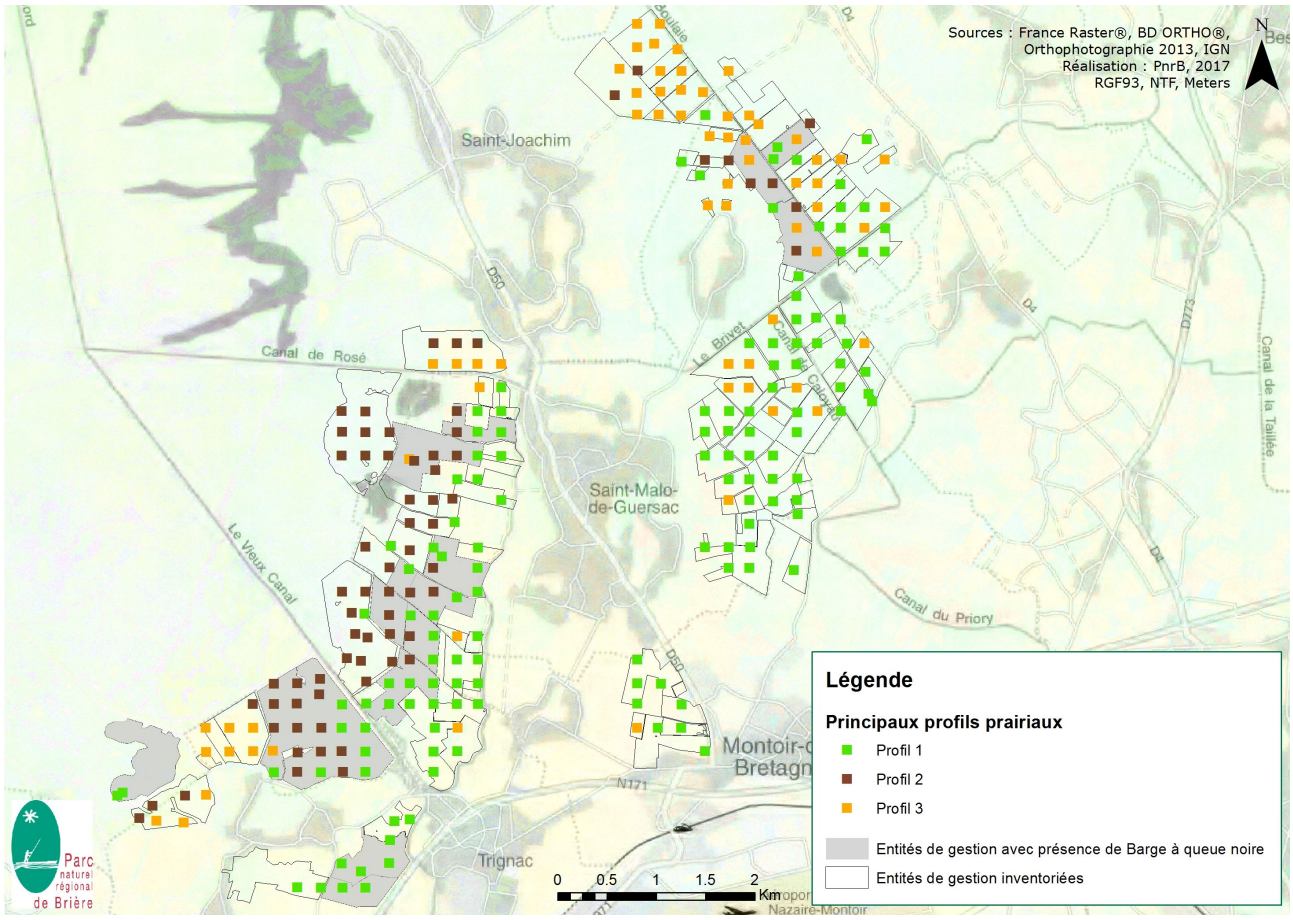
Groupes	Distance à l'eau		Hauteur d'eau		Hauteur de végétation		Hétérogénéité des hauteurs de végétation	
	Différence	P-value	Différence	P-value	Différence	P-value	Différence	P-value
1-2	108.19	0.0000	-148.78	0.0000	-33.57	0.0001	26.46	0.0013
1-3	27.58	0.0041	-92.08	0.0000	-122.88	0.0000	129.82	0.0000
2-3	-80.61	0.0000	56.70	0.0000	-90.31	0.0000	103.36	0.0000

Annexe 20 : Significativités statistiques des liaisons entre la typologie prairiale et les variables qualitatives d'habitat, AHS n°1 (volet Habitat).

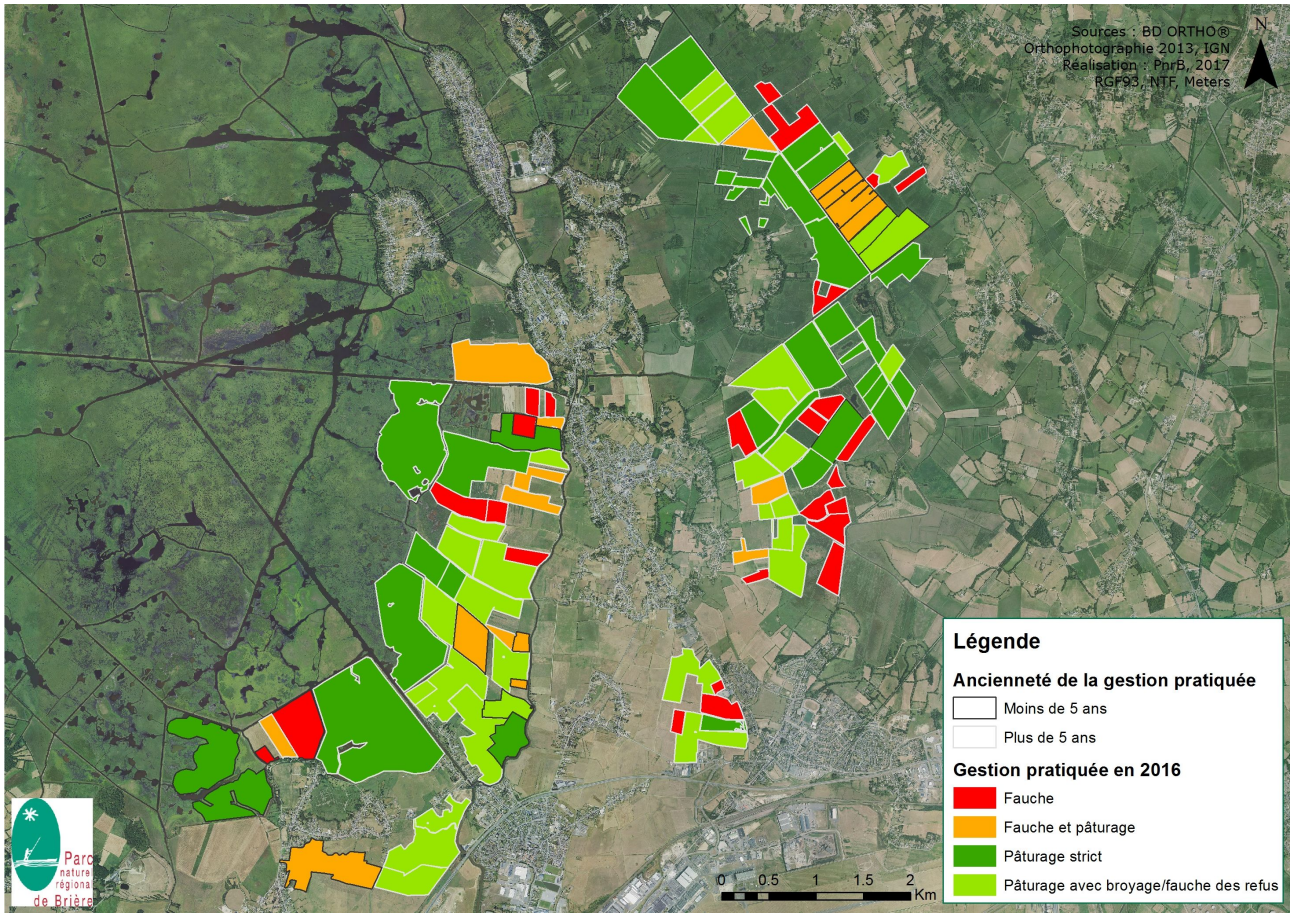
	Chi-squared	P-value	Df
Humidité	202.96	<2.2e-6	8
Densité du couvert	102.25	<2.2e-6	6
Fréquence de touffes enherbées	40.229	4.107e-07	6

Annexe 21 : Approche spatialisée de la typologie prairiale établie grâce à l'AHS n°1 (volet Habitat).

Profil 1 : végétation de hauteur moyenne sur sols peu humides, voire secs ; Profil 2 : végétation de hauteur moyenne sur sols saturés ; Profil 3 : végétation haute sur sols saturés.



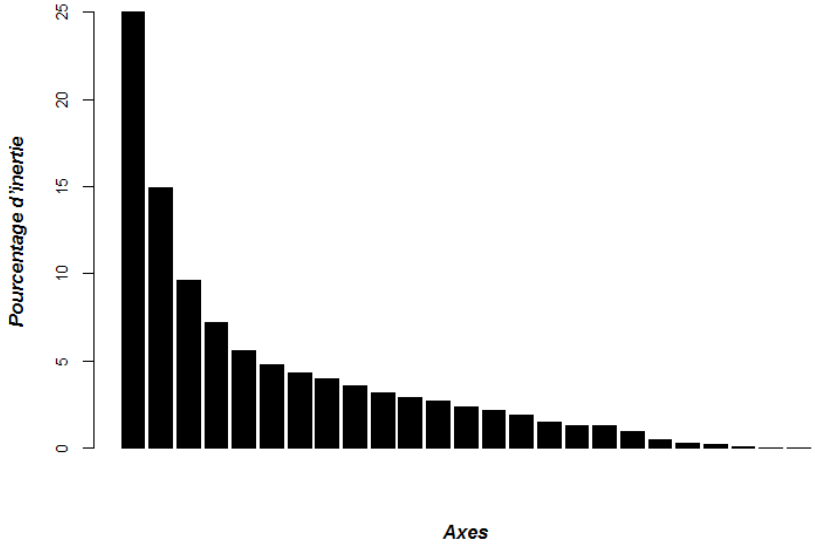
Annexe 22 : Répartition des entités de gestion à vocation de fauche ou de pâturage et ancienneté de la gestion pratiquée en 2016 au sein de la zone d'étude.



Annexe 23 : Composition des groupes de la typologie prairiale ainsi que des mailles de présence et de l'échantillon global (effectifs et proportion en % au sein de l'échantillon considéré) pour les paramètres de gestion agricole retenus.

	Profil 1 (n = 132)		**Profil 2** (n = 69)		**Profil 3** (n = 66)		**Présence de *Limosa l. limosa*** (n = 38)		**Echantillon global** (n = 267)	
	Effectifs	**%**	**Effectifs**	**%**	**Effectifs**	**%**	**Effectifs**	**%**	**Effectifs**	**%**
Pratique en 2016										
Fauche	14	10,61	4	5,80	12	18,18	0	0,00	30	11,24
Fauche & pâturage	18	13,64	4	5,80	12	18,18	2	5,26	34	12,73
Pâturage strict	47	35,61	50	72,46	26	39,39	23	60,53	123	46,07
Pâturage avec gestion des refus (fauche/broyage)	53	40,15	11	15,94	16	24,24	13	34,21	80	29,96
Mise à l'herbe en 2016										
Aucune	14	10,61	6	8,70	12	18,18	0	0,00	32	11,99
Printemps (début mars à fin mai)	67	50,76	28	40,58	13	19,70	23	60,53	108	40,45
Eté (début juin à début août)	33	25,00	29	42,03	29	43,94	10	26,32	91	34,08
Automne (mi-août à fin octobre)	12	9,09	6	8,70	12	18,18	5	13,16	30	11,24
Hiver (début novembre à fin décembre/janvier)	6	4,55	0	0,00	0	0,00	0	0,00	6	2,25
Mise à l'herbe en 2017										
Aucune	18	13,64	5	7,25	15	22,73	0	0,00	38	14,23
Printemps précoce (avant mi-mars)	7	5,30	3	4,35	4	6,06	0	0,00	14	5,24
Printemps (de mars à mai)	73	55,30	26	37,68	19	28,79	21	55,26	118	44,19
Eté ou automne (de juin à octobre)	34	25,76	35	50,72	28	42,42	17	44,74	97	36,33
	Moyenne	**Ecart-type**	**Moyenne**	**Ecart-type**	**Moyenne**	**Ecart-type**	**Moyenne**	**Ecart-type**	**Moyenne**	**Ecart-type**
Chargement (UGB/ha)										
A l'année (UGB/ha/an)	0,40	0,27	0,31	0,20	0,28	0,25	0,43	0,21	0,35	0,25
Entre le 15 mars et le 31 mai 2016	0,28	0,40	0,16	0,27	0,09	0,23	0,28	0,38	0,20	0,34
Entre le 1er juin et le 15 août 2016	0,62	0,58	0,45	0,45	0,41	0,52	0,64	0,56	0,53	0,54
Entre le 16 août et le 31 décembre 2016	0,56	0,43	0,50	0,36	0,48	0,42	0,64	0,47	0,53	0,41
Entre le 15 mars et le 15 avril 2017	0,21	0,51	0,06	0,30	0,04	0,21	0,17	0,48	0,13	0,41
Entre le 16 avril et le 31 mai 2017	0,45	0,60	0,26	0,38	0,12	0,27	0,35	0,41	0,32	0,50
Jours pâturés (% de la période)										
A l'année	33,82	23,96	35,85	22,05	26,12	19,46	35,95	21,71	32,44	22,66
Entre le 15 mars et le 31 mai 2016	24,35	27,45	18,26	25,03	6,67	14,58	25,22	26,52	18,41	25,20
Entre le 1er juin et le 15 août 2016	50,39	41,53	50,72	41,97	39,33	44,78	53,26	45,26	47,75	42,58
Entre le 16 août et le 31 décembre 2016	48,68	36,69	56,93	34,44	44,12	31,80	52,07	35,94	49,69	35,14
Entre le 15 mars et le 15 avril 2017	13,00	26,90	3,13	16,97	1,08	6,13	10,44	28,37	7,50	21,67
Entre le 16 avril et le 31 mai 2017	37,66	42,39	27,76	41,07	9,46	21,05	36,02	39,95	28,13	39,45

Annexe 24 : Diagramme de décroissance des valeurs propres (inertie exprimée en %), AHS n°2 (volet Habitat & Agricole).



Annexe 25 : Part d'inertie portée par chacun des axes (« inertia » : valeurs propres, « cum » : inertie cumulée, « cum (%) » inertie cumulée en pourcentage), AHS n°2 (volet Habitat & Agricole).

Decomposition of total inertia:

	inertia	cum	cum(%)
Ax1	6.2484480	6.248	25.02
Ax2	3.7367226	9.985	39.98
Ax3	2.3948203	12.380	49.56
Ax4	1.8031992	14.183	56.78
Ax5	1.3985010	15.582	62.38
Ax6	1.1934263	16.775	67.16
Ax7	1.0808417	17.856	71.49
Ax8	0.9948061	18.851	75.47
Ax9	0.8915012	19.742	79.04
Ax10	0.7937894	20.536	82.22
Ax11	0.7143443	21.250	85.08
Ax12	0.6692977	21.920	87.76
Ax13	0.5867414	22.506	90.11
Ax14	0.5302775	23.037	92.23
Ax15	0.4616708	23.498	94.08
Ax16	0.3667156	23.865	95.55
Ax17	0.3173793	24.182	96.82
Ax18	0.3101946	24.493	98.06
Ax19	0.2375692	24.730	99.01
Ax20	0.1201464	24.850	99.49
Ax21	0.0624420	24.913	99.74
Ax22	0.0428144	24.956	99.91
Ax23	0.0163536	24.972	99.98
Ax24	0.0053306	24.977	100.00
Ax25	0.0001949	24.978	100.00

Annexe 26 : Rapports de corrélation (variables qualitatives) et coefficients de détermination (variables quantitatives) à l'axe . RS1 : axe 1, RS2 : axe 2. AHS n°2.

	RS1	RS2
Dist_eau	0.017215972	0.12960059
Veg_moy	0.129801473	0.03512276
Hetero_veg	0.129382983	0.05547256
Eau_moy	0.046480241	0.18141120
T_herbe	0.042396044	0.05415534
Humidite	0.126516157	0.29479927
Densite	0.003705725	0.02640475
ANJOUR	0.690317567	0.19913027
ANCHAR	0.688901560	0.06964884
A1JOUR	0.579250157	0.09385536
A1CHAR	0.396720167	0.23937455
A2JOUR	0.525887799	0.20761325
A2CHAR	0.439208812	0.07278493
A3JOUR	0.404961884	0.33160299
A3CHAR	0.349582737	0.22404409
P1JOUR	0.085841550	0.49299173
P1CHAR	0.046340806	0.49444607
P2JOUR	0.615379399	0.03298122
P2CHAR	0.515717292	0.14874366
Pratique	0.414839684	0.35253912

Dist_eau : distance à l'eau ; Veg_moy : hauteur d'herbe moyenne ; Hetero_veg : indice d'hétérogénéité des hauteurs de végétation ; Eau_moy : hauteur d'eau moyenne

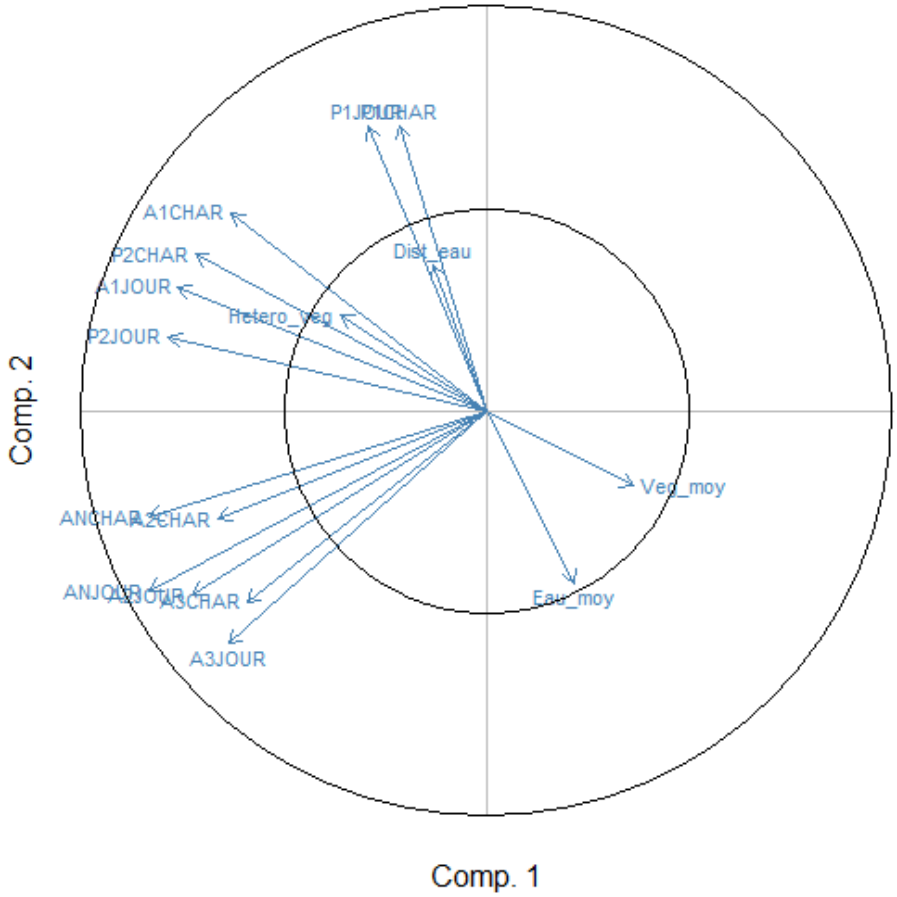
T_herbe : fréquence de touffes enherbées ; Humidite : humidité du sol ; Densite : densité du couvert végétal

ANJOUR : % jours pâturés à l'année (2016) ; ANCHAR : chargement annuel (UGB/ha/an, 2016)
A1JOUR : % jours pâturés entre le 15 mars et le 31 mai 2016 ; A1CHAR : chargement sur cette période (UGB/ha)
A2JOUR : % jours pâturés entre le 1er juin et le 15 août 2016 ; A2CHAR : chargement sur cette période (UGB/ha)
A3JOUR : % jours pâturés entre le 16 août et le 31 décembre 2016 ; A3CHAR : chargement sur cette période (UGB/ha)
P1JOUR : % jours pâturés entre le 15 mars et le 15 avril 2017 ; P1CHAR : chargement sur cette période (UGB/ha)
P2JOUR : % jours pâturés entre le 16 avril et le 31 mai 2017 ; P2CHAR : chargement sur cette période (UGB/ha)

Pratique : pratique agricole en 2016

Annexe 27 : Cercle des corrélations entre variables quantitatives. AHS n°2 (volet Habitat & Agricole).

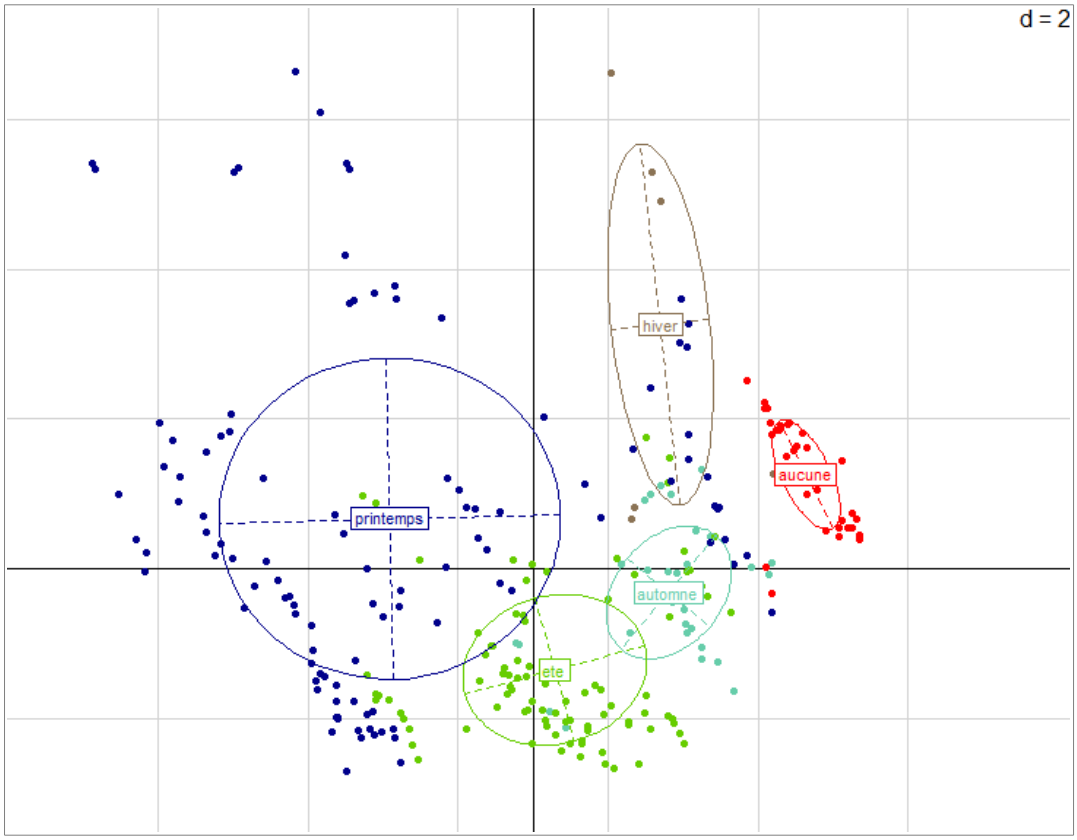
Comp. 1 : composante (axe factoriel) 1. Comp. 2 : composante (axe factoriel) 2.



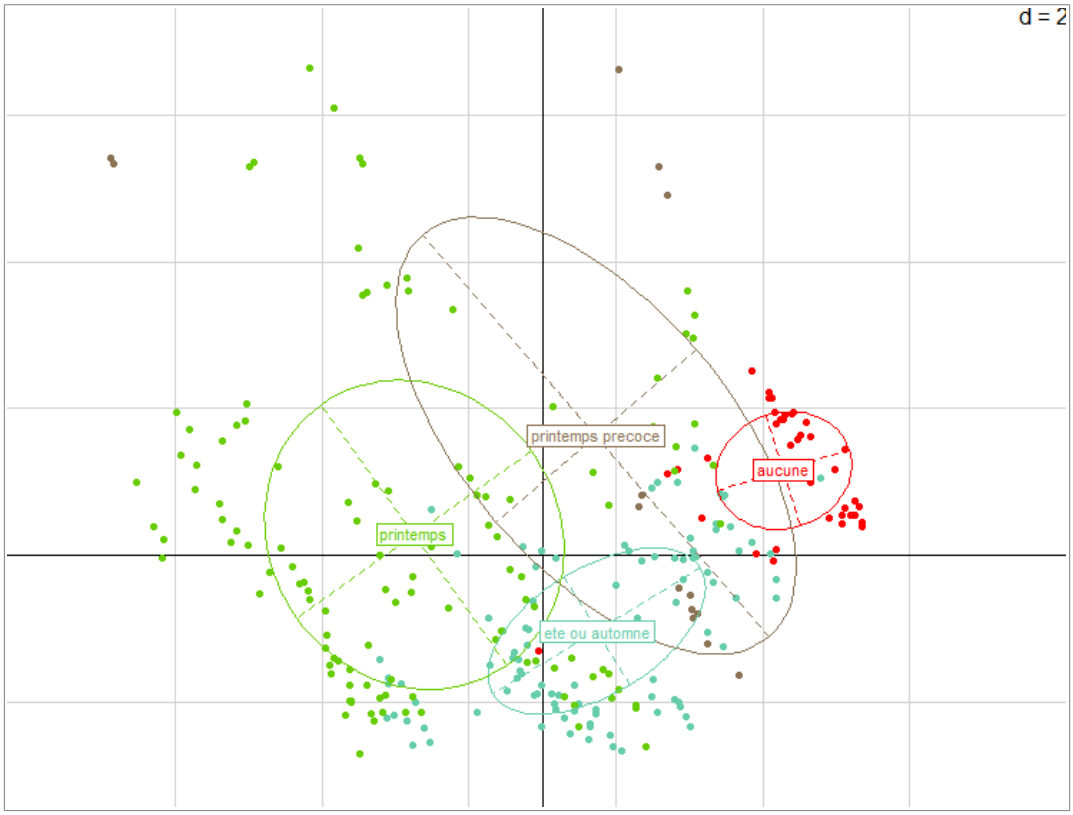
Dist_eau : distance à l'eau ; Veg_moy : hauteur d'herbe moyenne ; Hetero_veg : indice d'hétérogénéité des hauteurs de végétation ; Eau_moy : hauteur d'eau moyenne

ANJOUR : % jours pâturés à l'année (2016) ; ANCHAR : chargement annuel (UGB/ha/an, 2016)
A1JOUR : % jours pâturés entre le 15 mars et le 31 mai 2016 ; A1CHAR : chargement sur cette période (UGB/ha)
A2JOUR : % jours pâturés entre le 1er juin et le 15 août 2016 ; A2CHAR : chargement sur cette période (UGB/ha)
A3JOUR : % jours pâturés entre le 16 août et le 31 décembre 2016 ; A3CHAR : chargement sur cette période (UGB/ha)
P1JOUR : % jours pâturés entre le 15 mars et le 15 avril 2017 ; P1CHAR : chargement sur cette période (UGB/ha)
P2JOUR : % jours pâturés entre le 16 avril et le 31 mai 2017 ; P2CHAR : chargement sur cette période (UGB/ha

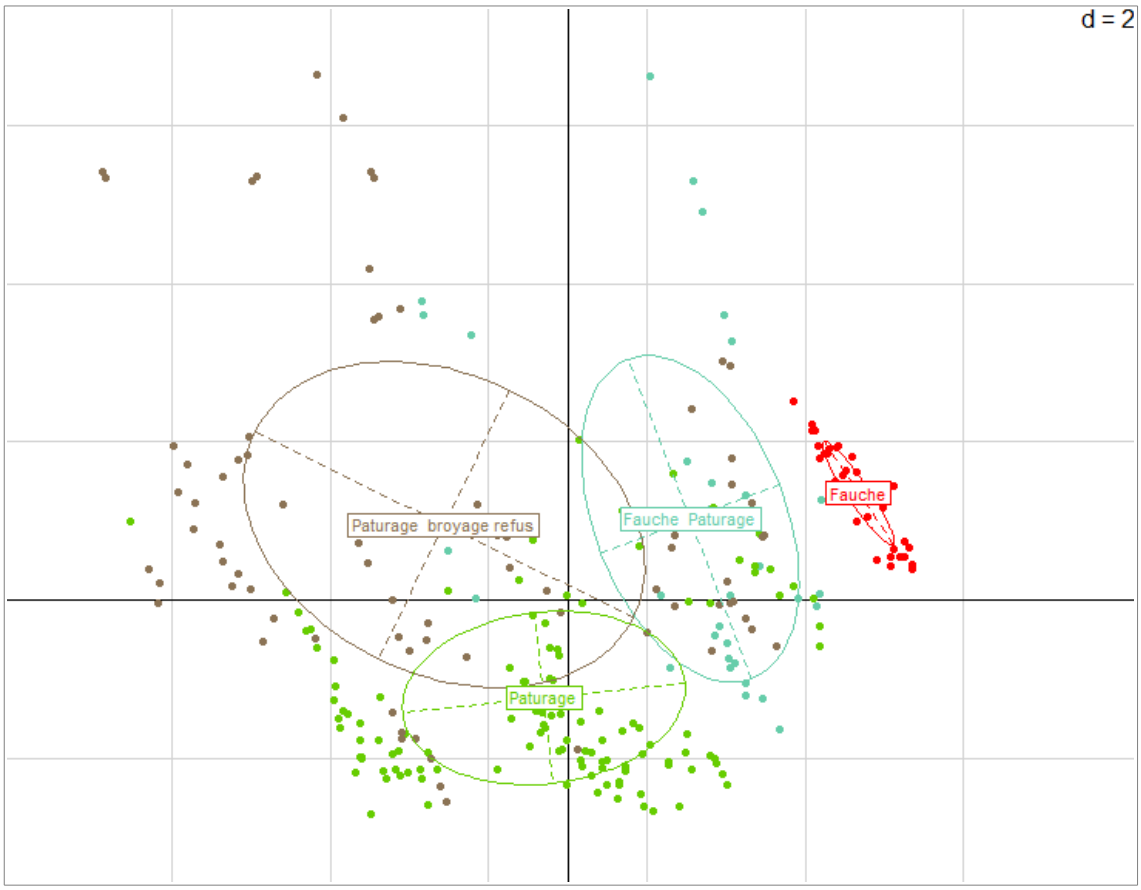
Annexe 28 : Représentation dans le plan factoriel de l'AHS n°2 de la période de 1ère mise à l'herbe en 2016. AHS n°2 (volet Habitat & Agricole).



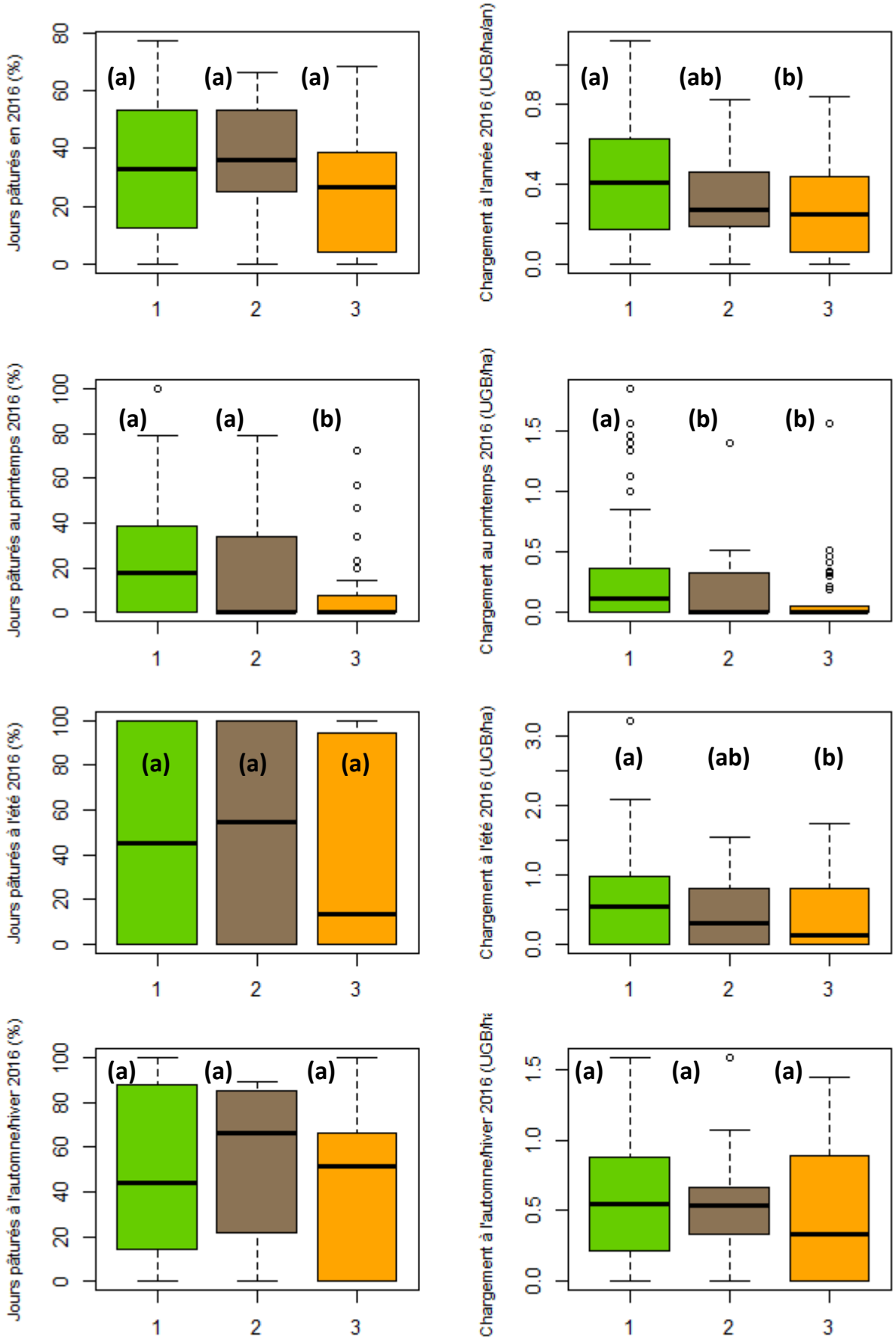
Annexe 29 : Représentation dans le plan factoriel de l'AHS n°2 de la période de 1ère mise à l'herbe en 2017. AHS n°2 (volet Habitat & Agricole).

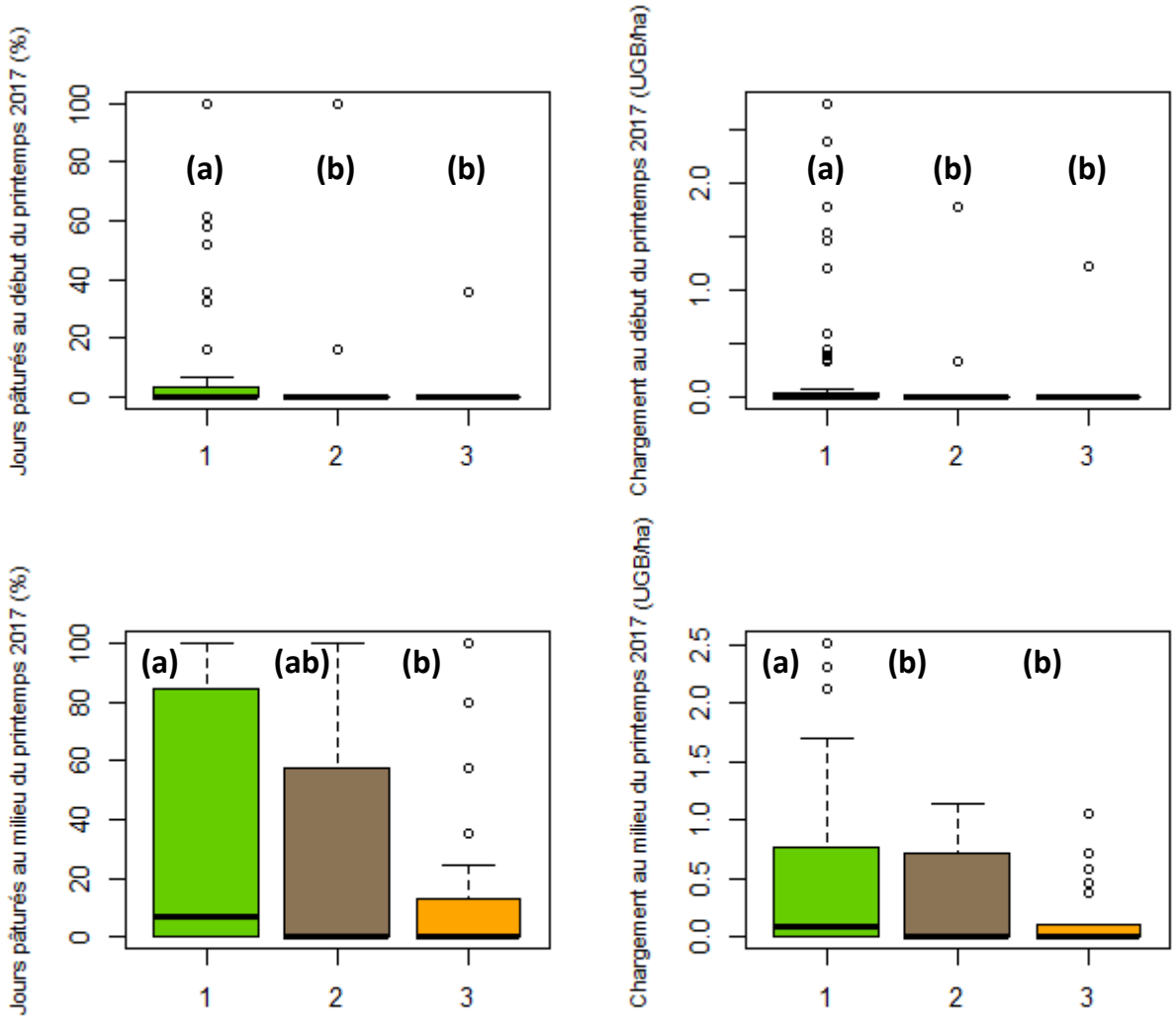


Annexe 30 : Représentation dans le plan factoriel de la pratique agricole mise en œuvre en 2016. AHS n°2 (volet Habitat & Agricole). 4 modalités : Fauche (stricte), Fauche & pâturage (pratique mixte), Pâturage (strict), Pâturage avec broyage/fauche des refus.



Annexe 31 : Comparaisons graphiques des 3 profils prairiaux mis en rapport avec les variables agricoles. Volet Habitat & Agricole.





Annexe 32 : Significativités statistiques des comparaisons entre les trois groupes de la typologie pour les variables quantitatives, AHS n°2 (volet Habitat & Agricole).

Groupes	Jours pâturés 2016		Chargement 2016		Jours pâturés printemps 2016		Chargement printemps 2016	
	Différence	P-value	Différence	P-value	Différence	P-value	Différence	P-value
1-2	-7.90	0.4876	24.17	0.0653	18.77	0.0651	24.69	0.0319
1-3	23.14	0.0917	36.59	0.0046	49.16	0.0000	45.53	0.0000
2-3	31.04	0.0576	12.43	0.3416	30.39	0.00204	20.84	0.0786
	Jours pâturés été 2016		Chargement été 2016		Jours pâturés automne/hiver 2016		Chargement automne/hiver 2016	
	Différence	P-value	Différence	P-value	Différence	P-value	Différence	P-value
1-2	0.01	0.9994	17.88	0.2203	-15.58	0.3398	9.24	0.8368
1-3	24.74	0.0864	29.48	0.0292	15.43	0.3398	15.59	0.5373
2-3	24.73	0.1108	11.60	0.3702	31.01	0.0565	6.35	0.8368
	Jours pâturés début printemps 2017		Chargement début printemps 2017		Jours pâturés milieu printemps 2017		Chargement milieu printemps 2017	
	Différence	P-value	Différence	P-value	Différence	P-value	Différence	P-value
1-2	27.34	0.0001	27.09	0.0001	20.61	0.0674	25.04	0.0249
1-3	29.45	0.0001	28.88	0.0001	45.12	0.0000	43.90	0.0001
2-3	2.11	0.7846	1.79	0.8169	24.51	0.0674	18.86	0.1032