



TEC!
Avec le soutien du Fonds européen de développement régional
Met steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

Typologie des communautés d'oiseaux nicheurs des milieux agricoles en région transfrontalière (France/Belgique) - étude des résultats de 2013

Benoît GOZÉ

Encadrants : Christophe LUCZAK, Rudy PISCHIUTTA, Cédric BEAUDOIN, Olivier DOCHY, Martine LEGRIS.

Sommaire

1	Contexte	5
2	Présentation de la méthode	7
3	Etude des cultures dans la zone d'étude	10
4	Étude générale des points aléatoires : avifaune et paysage	12
5	Les analyses	15
5.1	Opérations préliminaires	15
5.2	Analyses	15
5.2.1	Analyse exploratoire	16
5.2.2	Y a-t-il une différence au niveau paysager entre la France et la Belgique?	18
5.2.3	Y a-t-il une différence au niveau des espèces entre la France et la Belgique?	21
5.2.4	Quels éléments environnementaux/anthropiques expliquent les différences constatées, et pour quelles espèces?	22
6	Interprétations des analyses	28
	Remerciements	36
	Annexes	37
	Crédits photo	40
	Références	42

Introduction

Les oiseaux nicheurs spécialisés des milieux agricoles sont en forte régression depuis plusieurs décennies en Europe [1]. La même tendance a été détectée en France [1], notamment dans le Nord et le Pas de Calais, mais également en Belgique[2], en Wallonie et en Flandre. L'évolution des agrosystèmes est donc un enjeu sociétal actuel majeur, que ce soit sous le prisme de la biodiversité ou sous l'angle du fonctionnement de ces systèmes en lien avec la qualité des productions agricoles. En 2013, par l'initiative de la province de Flandre occidentale en Belgique et du GON dans le Nord de la France et pour vérifier l'état des lieux de l'avifaune des deux côtés de la frontière, 400 points d'écoutes ont été réalisés en milieu agricole dans le but d'étudier la répartition des populations d'oiseaux nicheurs, couvrant une bande de 12 à 16 kilomètres depuis la Mer du Nord jusque la région lilloise de part et d'autre de la frontière entre le département du Nord et la région de Flandre occidentale[2]. En plus des relevés ornithologiques, des données relatives au paysage (grandes structures paysagères) et aux habitats (petits éléments paysagers) ont été recueillies. Il s'agissait du tout premier inventaire transfrontalier de la sorte.

Même si le plus gros du travail a été fait concernant les données de 2013, ces dernières n'ont pas été complètement exploitées du fait de l'abondance de ces données. Par exemple, les récoltes et les parcelles agricoles n'ont pas été étudiées.

Des différences ont été constatées durant les premières analyses réalisées en 2014 [2]. Entre autres, la France a :

- de plus grands nombres d'oiseaux par point d'écoute ;
- plus de Bruants jaunes (*Emberiza citrinella*) et de Fauvettes grisettes (*Sylvia communis*) ;
- plus d'espèces des zones humides : Gorgebleue à miroir (*Luscinia svecica*), Bruant des roseaux (*Emberiza schoeniclus*), Pipit farlouse (*Anthus pratensis*) ;
- quelques espèces "exclusives" : Tarier pâtre (*Saxicola rubicola*), Bruant proyer (*Emberiza calandra*), Hypolaïs polyglotte (*Hippolais polyglotta*), Corbeau freux (*Corvus frugilegus*) ;
- beaucoup plus d'Hirondelles de fenêtre (*Delichon urbicum*), mais beaucoup moins d'Hirondelles rustiques (*Hirundo rustica*) qu'en Belgique ;

La Belgique a :

- un peu plus d'espèces "exotiques" (Bernache de Canada (*Branta canadensis*), Oulette d'Égypte (*Alopochen aegyptiaca*)) et considérablement plus de faisans (*Phasianus colchicus*) ;

- plus de Bergeronnettes printanières (*Motacilla flava*);
- plus de Moineaux friquets (*Passer montanus*);

L'effet des combinaisons de variables sur la présence ou l'absence des espèces d'oiseaux sera également étudié dans ce rapport.

L'objectif de ce travail est d'analyser ces données afin de répondre aux questions suivantes :

- bien que dans la même zone biogéographique, y a-t-il une différence des communautés d'oiseaux nicheurs des milieux ouverts agricoles entre le Nord de la France et la Flandre occidentale ?
- quelles sont les espèces discriminantes ?
- quelles sont les typologies d'habitat et de structure paysagère caractéristiques des deux côtés de la frontière et leur capacité explicative dans les différences observées ?

Le même protocole d'échantillonnage a été mis en oeuvre au printemps 2019 par les mêmes structures, et les résultats seront analysés ultérieurement (en 2020).

Principaux acteurs et partenaires :





TEC!

Avec le soutien du Fonds européen de développement régional
Met steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

TEC!

Avec le soutien du Fonds européen de développement régional
Met steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling



Chapitre 1

Contexte

Le constat est alarmant concernant la majorité des espèces d'oiseaux : en Nord-Pas-de-Calais, en 20 ans (de 1995 à 2014), une baisse de 50% des populations d'oiseaux nicheurs en milieu agricole a été constatée [1]. Par exemple : la Linotte mélodieuse (*Linaria cannabina*) a vu ses effectifs diminuer de 80% ; la Tourterelle des bois (*Streptopelia turtur*) et le Bruant jaune ont, quant à elles, vu leurs populations chuter de 70%. La tendance est identique pour la Perdrix grise (*Perdix perdix*), l'Alouette des champs (*Alauda arvensis*) ou encore la Bergeronnette printanière : une baisse de 60% des effectifs pour ces trois espèces a été constatée. Quelles peuvent être les causes d'un tel déclin ? L'uniformisation du paysage et des méthodes de culture, mais aussi l'évolution de ces méthodes de culture peuvent être à l'origine du déclin de la majorité des espèces agricoles. En effet, ces espèces auront plus de mal à trouver de la nourriture et des sites de reproduction[3].

La situation est assez méconnue dans la région transfrontalière, il a donc été décidé de réaliser un inventaire dans cette région, sous forme d'échantillonnage par points d'écoute [2]. Bien que la biogéographie soit similaire des deux côtés de la frontière franco-belge, des différences ont été constatées. Il peut être supposé qu'il existe des différences agricoles ou des différences au niveau des traitements chimiques (pesticides, produits chimiques) des champs entre les deux pays.

En quoi consiste le projet TEC ?

Le projet *TEC!* (Tous Éco-citoyens!) a été lancé en 2016, soit trois ans après cet inventaire : les partenaires du projet *TEC!* collaborent des deux côtés de la frontière franco-belge pour attirer l'attention des agriculteurs et du large public sur un ensemble de mesures générales pour la protection d'espèces cibles (telles que le bruant jaune). Ils les accompagnent dans le cadre de leur mise en oeuvre. Ils conçoivent également du matériel didactique commun (comme par exemple les plans d'action) [4].

Un des principaux objectifs du projet *TEC!* est de favoriser le maintien et le dévelop-

pement d'éléments paysagers favorables à l'expression de la biodiversité et sa continuité transfrontalière. Les espèces d'oiseaux faisant l'objet d'un plan d'actions transfrontalier de *TEC!* sont le Bruant jaune, le Moineau friquet et la Gorgebleue à miroir (également trois espèces de Busards et la Chevêche d'Athéna (*Athene noctua*)). Ces espèces ont été choisies pour la valeur d'emblème et d'espèce parapluie (les actions envisagées pour ces espèces peuvent être bénéfiques pour d'autres espèces au travers de la protection des habitats).



FIGURE 1.1 – Tourterelles des bois, ©Vincent Gaveriaux

Chapitre 2

Présentation de la méthode

- Rappel de la méthode de maillage : un maillage a été effectué sur l'ensemble de la zone d'étude, les points étant séparés de 1 kilomètre en longueur (figure 2.1).

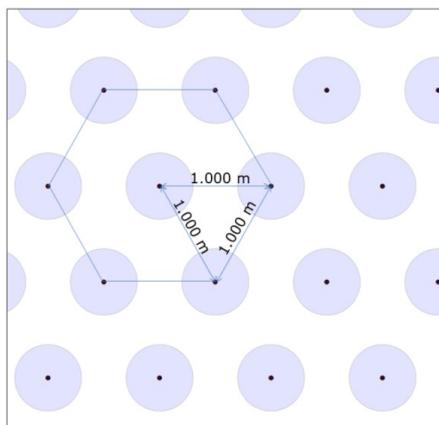


FIGURE 2.1 – Disposition des points du maillage original

Les points d'écoute qui sont principalement remplis par des boisements ou des zones bâties dans un rayon de 300 mètres ont été retirés de la sélection. A la fin, une sélection de 1000 points dans la zone d'étude est obtenue. Parmi ceux-ci, 100 ont été choisis aléatoirement (points "random"). Ces points devaient être suivis en priorité par les observateurs, qui pouvaient par ailleurs choisir d'autres points parmi les 1000. L'ensemble des points d'écoute exploitables et visités au moins deux fois est au nombre de 391. Certains points, perdus au milieu des champs sans accès praticable, ont dû être remplacés, par exemple à proximité d'un chemin.

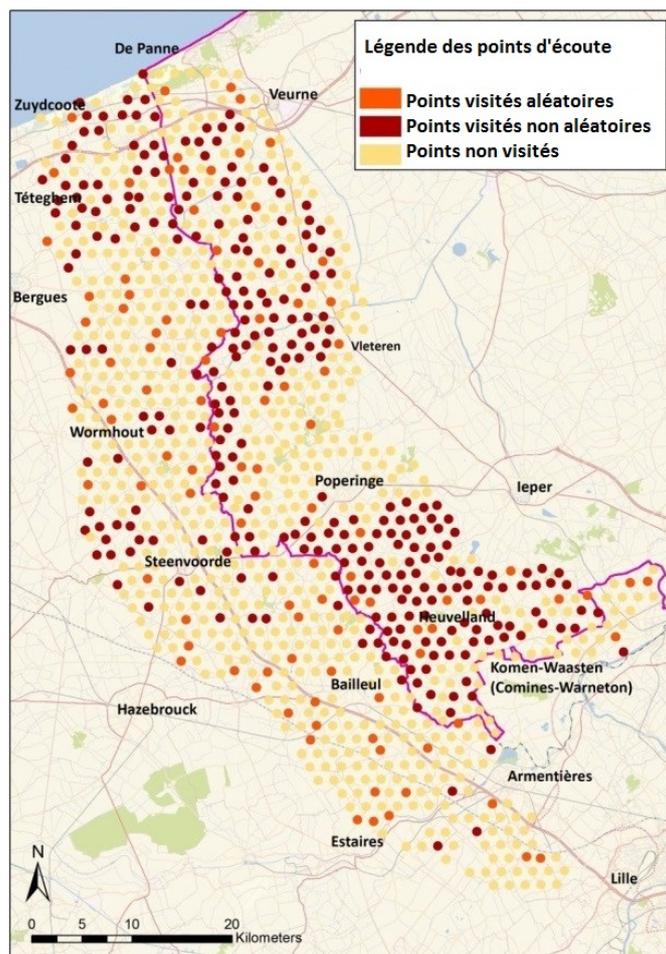


FIGURE 2.2 – Position géographique des points d'écoute.

- Rappel de la méthode de comptage des oiseaux sur le terrain[2] :

Nombre de passages (idéalement) :	3
Période des passages :	avril, mai et juin*
Espèces à noter :	espèces agricoles dans une liste de 40
Heure préférentielle des passages :	Au matin dès l'aube
Temps passé par point d'écoute par passage :	7 minutes
Temps passé pour noter les observations :	2 minutes
Autres éléments à indiquer :	Score paysager, petits éléments paysagers

*Sauf pour le Vanneau huppé (*Vanellus vanellus*) en juin, car sa période de reproduction est passée

L'observateur notait alors, par espèce, le nombre de territoires ou le nombre d'oiseaux. Comme indiqué dans le tableau, l'observateur était invité à déterminer un "score paysager" de la zone autour du point d'écoute : parmi les cinq catégories "agricole". "naturel

sec", "naturel humide", "bâti" et "boisement", le bénévole distribue huit points parmi ces catégories (dès qu'il y avait une maison ou un jardin, le score de bâti devait être au moins de 1).

Exemple d'attribution de score :

Agricole	6
Naturel Sec	1
Naturel Humide	0
Bâti	1
Boisement	0

Sans surprise, le paysage était majoritairement agricole. Ces données furent regroupées dans une base de données et exploitées dans les présentes analyses.

Il devait également cocher quels "petits éléments paysagers" (par la suite, PEPs) il voyait autour du point d'écoute : par exemple, il notait la présence d'une mare, d'un marais, d'une ferme, d'un sentier, de ronciers, de haies, de broussailles, d'un verger, d'arbres, de buissons, de bandes enherbées... Ces données sont également exploitées dans le présent projet. (voir en annexe une feuille de relevé)

l'observateur ne devait pas noter les cultures alentour lors de l'inventaire 2013. De plus, à cette époque, les parcellaires agricoles n'étaient pas encore disponibles. Cependant, en 2019, grâce à ces différentes couches SIG pour le département du Nord en France et la Flandre occidentale en Belgique (malheureusement, les couches wallones n'étaient pas disponibles), les cultures présentes sur les points d'écoute en 2013 ont pu être retrouvées et analysées par la suite.

Chapitre 3

Etude des cultures dans la zone d'étude

L'étude des cultures sur la zone d'étude est inédite : ces précisions n'étaient pas demandées en 2013 lors des comptages.

Une zone tampon de 300 mètres autour des points d'écoute a été générée à l'aide du logiciel QGIS (version 3.4 Madeira)[5].

Une couche d'occupation du sol totale a ensuite été élaborée à l'intérieur de ces cercles autour des points d'écoute : pour cela, les couches SIG du projet ARCH [6] ont été nécessaires pour déterminer les paysages en France (ainsi que les haies), ainsi que différentes couches SIG (bois, bâti, routes,...) en Belgique, principalement issues d'Open Street Map[7], sauf pour les boisements (couche SIG qui date de 2000 mais plus fiable que les couches plus récentes, qui provient de l'Agence de la Nature et des Forêts (Agent-schap voor Natur en Bos)). Il a fallu vérifier l'exactitude de ces couches en les comparant avec l'orthophotoplan de 2013 et corriger la topologie afin de combler les éventuelles lacunes et supprimer les recouvrements non souhaités (travail nécessaire notamment sur la frontière pour faire correspondre les jeux de données de sources différentes). Pour les cultures, des couches SIG fournies par Géoportail : Référentiel parcellaire graphique 2013, sources : Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, Agence de services et de paiement) ont été utilisées pour la France et des couches éditées par le Département de l'agriculture et de la pêche (Departement Landbouw en Visserij) en Flandre Occidentale. Avant de se lancer dans la comparaison de l'occupation du terrain par les cultures en France et en Belgique, il a fallu créer une classification commune des cultures : en effet, les classifications déjà existantes en Flandres et en France étaient différentes, et les cultures en elles-mêmes également. Une classification des cultures semblables en groupes sur la zone d'étude a donc été créée : les 141 types précis de culture ont été regroupés en 12 groupes : "betteraves", qui regroupe les betteraves mais aussi la chicorée et les choux-raves ; "céréales" ; "colza" (mis à part car il présente une préférence pour certaines espèces d'oiseaux) ; herbages intensifs (prairies permanentes, champs de trèfle, etc.) ; champs et

herbages extensifs (prairies fleuries, prairies à gestion écologique, etc.); légumes en tout genre ; lin ; maïs ; "naturel" (bandes enherbées, jachères, etc.) ; pommes de terre ; vergers ; autres (tabac, houblon, culture non spécifiée). Le logiciel FME[8] a été utilisé pour créer un fichier SIG global reprenant une nomenclature commune sur toute la zone étudiée et générer un tableur répertoriant la superficie représentée par chaque type de culture et de paysages pour chaque cercle de comptage.

Une comparaison des cultures a été ensuite effectuée, grâce à ces groupes, sur toute la zone d'étude, après création du plus petit polygone qui englobe l'intégralité des points d'écoute :

Tableau de pourcentages d'occupation des cultures *en 2013* :

Tableau 1 : Comparaison des cultures en France et en Belgique : en gras, les différences significatives statistiquement.

Groupe de culture	France	Belgique
Betteraves	5.94	7.00
Céréales	40.07	13.90
Colza	1.44	0.02
Herbages intensifs	10.44	26.21
Herbages extensifs	0.27	0.08
Légumes	7.88	7.74
Lin	3.36	0.67
Maïs	11.66	26.55
Naturel	1.37	0.62
Pommes de terre	17.49	13.78
Vergers	0.24	0.33
Autres	0	0.46

Selon ce tableau, la Belgique privilégie la culture de maïs et a plus d'herbages intensifs. D'un autre côté, en France, il y a plus de céréales qu'en Belgique ; de même, il y a beaucoup plus de colza, et plus de lin.

En complément, une superficie moyenne des parcelles plus petite en Belgique qu'en France a été constatée (2.11 hectares contre 3.74 hectares), d'où une plus grande diversité des cultures par point d'écoute.

Chapitre 4

Étude générale des points aléatoires : avifaune et paysage

Quels points utiliser ?

Pour les points d'écoute, il faut se concentrer sur les points « random » qui sont, d'un point de vue stratégie d'échantillonnage, les plus pertinents et robustes[9]. En effet, les autres points d'écoutes, notamment du côté belges, ont été visités car les observateurs étaient sûrs de croiser des bruants jaunes avec une grande probabilité [2]. Cependant, ceci biaise les analyses statistiques.

Pour étudier les différences de l'avifaune entre la France et la Belgique, les données des 96 points d'écoute aléatoires visités ont été utilisées. Par contre, pour étudier les données de paysage, seulement 82 points d'écoute seront exploités, puisque des données paysagères manquent sur certains points, notamment au niveau des cultures.

Commençons d'abord par effectuer une sélection des espèces : au début, les espèces à repérer étaient au nombre de 40. Expliquons les critères de cette sélection : 1) c'est mieux d'avoir moins de variables pour les analyses ; 2) certaines espèces étaient trop peu présentes (oie cendrée, hypolaïs polyglote, etc.) ; 3) il fallait une sélection pertinente, donc les mammifères ou encore les anatidés ont été retirés ; 4) certaines espèces retirées n'ont pas de lien direct avec le milieu agricole.

Voici donc la sélection, de 27 espèces, qui a été décidée (les milieux humides ne sont pas considérés) :

Espèces des milieux agricoles :	Gorgebleue à miroir, Fauvette babillarde (<i>Sylvia curruca</i>), Faisan de Colchide, Bruant jaune, Bergeronnette printanière, Fauvette grisette, Pipit farlouse, Bruant proyer, Linotte mélodieuse, Caille des blés (<i>Coturnix coturnix</i>), Perdrix grise, Bruant des roseaux, Tarier pâtre, Hypolaïs ictérine (<i>Hippolaïs icterina</i>), Faucon crécerelle (<i>Falco tinnunculus</i>), Alouette des champs, Tourterelle des bois
Espèces des milieux bâtis et des jardins :	Hirondelle rustique, Gobemouche gris (<i>Muscicapa striata</i>), Verdier d'Europe (<i>Chloris chloris</i>), Hirondelle de fenêtre, Chardonneret élégant (<i>Carduelis carduelis</i>), Moineau friquet, Bergeronnette grise (<i>Motacilla alba</i>), Rougequeue noir (<i>Phoenicurus ochruros</i>)
Espèces des milieux forestiers :	Grive draine (<i>Turdus viscivorus</i>)
Espèces généralistes :	Coucou (<i>Cuculus canorus</i>)
Espèces retirées de la sélection	Tadorne de Belon (<i>Tadorna tadorna</i>), Buse variable (<i>Buteo buteo</i>), Busard des roseaux (<i>Circus aeruginosus</i>), Bernache du Canada, Oie cendrée (<i>Anser anser</i>), Barge à queue noire (<i>Limosa limosa</i>), Oulette d'Egypte, Corbeau freux, Huîtrier pie (<i>Haematopus ostralegus</i>), Lièvre (<i>Lepus europaeus</i>), Lapin (<i>Oryctolagus cuniculus</i>), Chevreuil (<i>Capreolus capreolus</i>), puis les espèces qui n'ont pas été aperçues : Rougequeue à front blanc (<i>Phoenicurus phoenicurus</i>), Busard saint-Martin (<i>Circus cyaneus</i>), Busard cendré (<i>Circus pygarrus</i>) ; et le Vanneau huppé, pour les raisons mentionnées plus haut.

Voici un tableau qui compare la présence des espèces, en pourcentage, entre les points aléatoires français (55 au total) et belges (41 au total).

Tableau 2 : Répartition en pourcentage de présence des différentes espèces oiseaux recensées. En gras sont mises en évidence les espèces pour lesquelles il y a une différence significative ($p < 0.05$) entre les points français et belges.

Espèce	points aléatoires	France	Belgique
Gorgebleue à miroir	11.5%	12.7%	9.8%
Fauvette babillarde	6.3%	9.1%	2.4%
Faisan de Colchide	36.5%	21.8%	56.1%
Bruant jaune	38.5%	58.2%	12.2%
Bergeronnette printanière	46.9%	34.5%	63.4%
Fauvette grisette	44.8%	56.4%	29.3%
Pipit farlouse	8.3%	14.5%	0.0%
Bruant proyer	4.2%	7.3%	0.0%
Linotte mélodieuse	20.9%	20.0%	22.0%
Caille des blés	3.1%	3.6%	2.4%
Perdrix grise	43.8%	50.9%	34.1%
Bruant des roseaux	11.5%	14.5%	7.3%
Tarier pâtre	2.1%	3.6%	0.0%
Hypolaïs icterine	11.5%	10.9%	12.2%
Faucon crécerelle	8.3%	5.5%	12.2%
Alouette des champs	74.0%	76.4%	70.7%
Tourterelle des bois	3.1%	5.5%	0.0%
Hirondelle rustique	27.1%	14.5%	43.9%
Gobemouche gris	4.2%	1.8%	7.3%
Verdier d'Europe	14.6%	9.1%	22.0%
Hirondelle de fenêtre	25.0%	40.0%	4.9%
Chardonneret élégant	8.3%	9.1%	7.3%
Moineau friquet	15.6%	5.5%	29.3%
Bergeronnette grise	21.9%	20.0%	24.4%
Rougequeue noir	11.5%	9.1%	14.6%
Grive draine	9.4%	3.6%	17.1%
Coucou	11.5%	16.4%	4.9%

Chapitre 5

Les analyses

5.1 Opérations préliminaires

Les analyses sont effectuées avec le Nmax d'oiseau par point, que ce soit en avril, mai ou juin.

Comme rappelé dans le paragraphe décrivant la méthode de comptage, 100 points d'écoute ont été tirés aléatoirement. Parmi ces points, 96 ont été explorés et avaient des données exploitables. Cependant, il a fallu encore retirer ou retoucher quelques points (données aberrantes, encore appelées "outliers") avant de commencer les analyses : en explorant le jeu de données, il a été remarqué qu'un point comptait 25 Linottes lors de son comptage en Nmax. Comme il paraît peu vraisemblable de trouver 25 territoires de linottes dans un point avec rayon de 300 mètres (c'était sans doute un rassemblement d'individus), le comptage d'un autre mois, qui était de 0, a été considéré.

Il a fallu également retirer des points qui présentaient trop de différences paysagères avec les autres points, ce qui aurait "tiré" les résultats en écrasant l'information pertinente recherchée, ce qui n'a pas d'intérêt : un point avait un score de "naturel humide" de 5, ce qui était trop comparé aux autres (0,1 ou 2).

Puis il fallait aussi enlever les points qui manquaient de renseignements sur les cultures : tous les point wallons (indisponibilité du parcellaire wallon de 2013), les points situés physiquement en Flandres mais dont le cercle de comptage comprenait une partie wallone, et les points français qui avaient quelques cultures indéterminées (les petits agriculteurs ne sont pas obligés de déclarer leurs parcelles, donc ces informations manquaient). Tout ceci réduisit l'échantillon à 82 points d'écoute.

5.2 Analyses

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R [10]. Différentes analyses ont été testées durant ce projet, et les résultats d'une partie d'entre elles, jugées parti-

nentes pour ce présent rapport, sont présentés ici. Parmi les méthodes utilisées mais non présentées, citons la nMDS, les modèles linéaires généralisés (GLM), les modèles additifs généralisés (GAM)... Les résultats apportés par ces méthodes étaient soit identiques (donc redondants) à ceux apportés par les méthodes présentées mais moins robustes, soit incohérents.

5.2.1 Analyse exploratoire

Pour les analyses exploratoires, c'est l'ensemble des points random exploitables qui est l'objet de ces analyses. Une ACP (Analyse en Composantes Principales) est effectuée sur les données transformées pour appliquer la mesure de Hellinger (voir annexe) sur la matrice d'abondance des effectifs d'oiseaux, avec le package FactoMineR pour le logiciel R[11]. A partir de ces résultats, une classification dite "de Ward" est effectuée : chaque point d'écoute est classé dans des groupes (ici, deux), *sans prendre en compte la géographie du point*, qui ont un sens au niveau des espèces. Le résultat est transposé graphiquement :

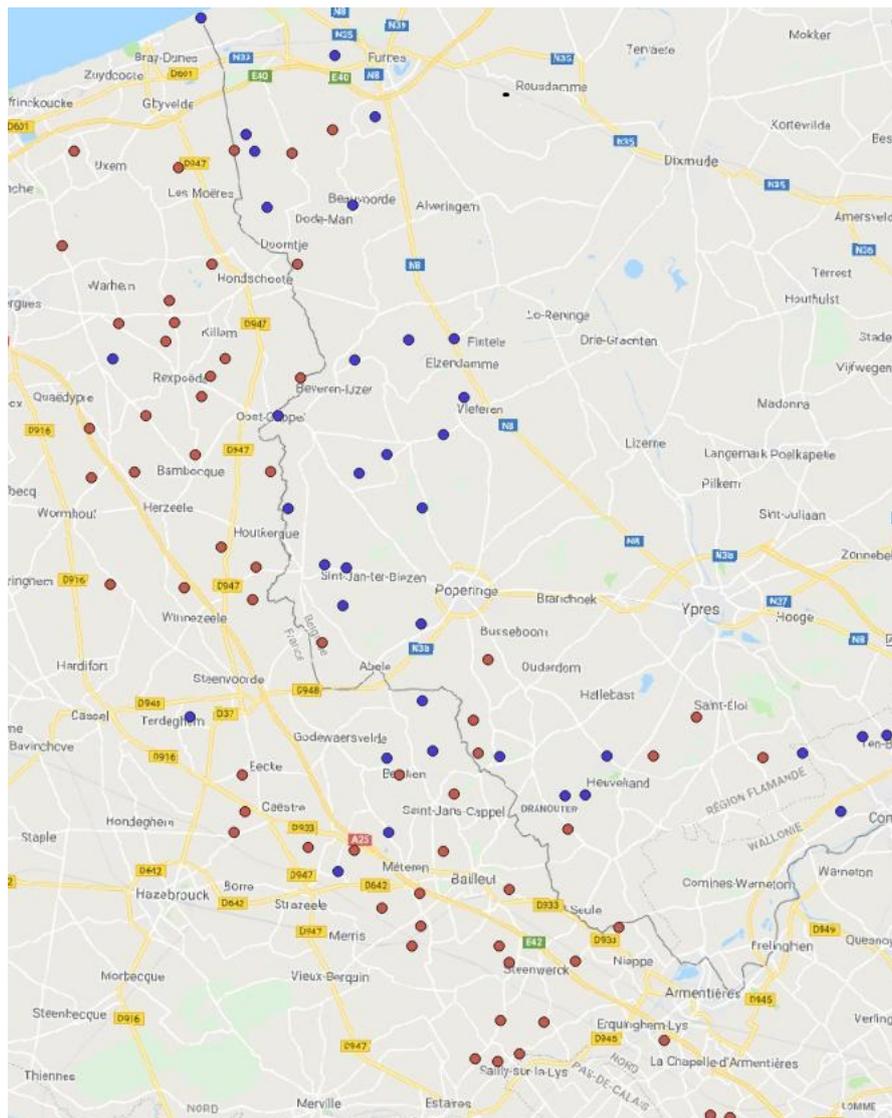


FIGURE 5.1 – Classification hiérarchique des points d'écoute en deux groupes : les points d'écoute bleus et rouges peuvent être considérés comme différents au niveau des espèces d'oiseaux

Un groupe majoritairement français (points rouges) et un groupe majoritairement belge (points bleus) se dessinent à partir de cette classification. Celle-ci ayant été effectuée en fonction de la répartition des espèces d'oiseaux, le logiciel R peut trouver les espèces qui caractérisent ces deux groupes : le groupe "rouge" est en grande partie expliqué par la présence/abondance d'**Alouettes**, de **Bruants jaunes**, d'**Hirondelles de fenêtre**, de **Gorgebleues** et de **Perdrix**. Le groupe "bleu", quant à lui, est en grande partie expliqué par la présence/abondance de **Faisans**, **Hirondelles rustiques** et de **Grives draines**.

En conclusion, en se basant uniquement sur les répartitions d'espèces "discriminantes", il existe deux groupes qui tracent presque la frontière franco-belge...

Grâce à ces analyses, une petite idée des différences qui existent entre la France et la Belgique peut déjà être remarquée.

5.2.2 Y a-t-il une différence au niveau paysager entre la France et la Belgique ?

Une méthode assez commune en écologie, l'analyse des redondances (ou encore RDA, d'après l'acronyme du nom de la méthode en anglais, "Redundancy Analysis") [12] [13], a été utilisée. Sur le logiciel R, la RDA est réalisée grâce au package vegan [14] Les résultats de l'analyse permettent d'effectuer un "test de significativité", qui fonctionne par permutations aléatoires des points d'écoute [12][13] : si ce test s'avère significatif (la p-valeur est inférieure à 0.05), on rejette, avec 5% de chance de se tromper, l'hypothèse nulle du test qui stipule qu'il n'y pas de relation (significative) entre la matrice (en quelque sorte, le jeu de données) dite "réponse" (alternativement, la matrice des scores paysagers, la matrice des petits éléments paysagers, et la matrice des types de culture) et les variables "explicatives" (le pays dans lequel se trouve le point d'écoutes). Si la relation entre les deux matrices s'avère significative, une "analyse de la variance multivariée permutationnelle" (ou PERMANOVA[13]) est effectuée, et cela pour voir si les différences entre les points français et belges sont significatives.

- Première étape : la matrice des scores paysagers :

La RDA n'est pas significative, donc il n'existe pas de relation significative entre la matrice points d'écoute/géographie et la matrice point d'écoute/scores paysages. Donc on ne peut pas conclure qu'il existe une différence significative au niveau paysager "global" : après tout, la zone d'étude est majoritairement agricole et considéré uniforme (sauf sur la côte). De plus, la MANOVA permutationnelle indique qu'il n'y a pas de différence entre les deux pays au niveau du paysage à grande échelle.

- Deuxième étape : matrice des petits éléments paysagers :

La RDA indique une relation significative (mais proche du seuil de la p-valeur) entre la matrice de géographie et la matrice des PEPs (petits éléments paysagers).

5.2.3 Y a-t-il une différence au niveau des espèces entre la France et la Belgique ?

Tout d'abord, le test intitulé "analyse de similarités" (en abrégé, ANOSIM [15]) pour tester la différence statistique entre les points français et belges au niveau des espèces est appliqué. Pour résumer, le test fournit une "p-valeur" : si cette p-valeur est inférieure à 0.05, il peut être dit, avec seulement 5% de chances de se tromper, qu'il y a une différence significative entre les groupes. Dans notre cas, la p-valeur est inférieure à 0.001, ce qui signifie qu'en effet, il y a une différence hautement significative, au niveau des espèces, entre la France et la Belgique. Par la suite, l'objectif sera de trouver quels éléments causent cette différence.

À présent, une détermination des espèces caractéristiques des points français et des points belges (donc *en fonction de la géographie*) est effectuée (à ne pas confondre avec la manoeuvre effectuée dans les analyses exploratoires qui créait des groupes en se basant uniquement sur les répartitions d'espèces et non sur la géographie) : pour cela, l'"indicator value" de Dufrene et Legendre [6] est utilisé. Comment fonctionne-t-il ? Il est calculé de cette manière :

$$\text{IndVal}_{ij} = 100 * A_{ij} * B_{ij},$$

avec A_{ij} la proportion des individus de l'espèce i qui sont dans le pays j , et B_{ij} la proportion des points d'écoute du pays j qui contiennent l'espèce i .

La méthode sous le logiciel R donne les espèces qui caractérisent le plus les deux pays : le **Bruant jaune** (IV=0.5262), l'**Hirondelle de fenêtre** (IV=0.3603), la **Fauvette grise** (IV=0.3602) et, dans une moindre mesure, le **Pipit farlouse** (IV=0.1556) sont les espèces caractéristiques des points français. Quant aux points belges, ils sont caractérisés par le **Faisan de Colchide** (IV=0.4147), la **Bergeronnette printanière** (IV=0.3930) et le **Moineau friquet** (IV=0.2568).

Afin de tester la relation entre la matrice des oiseaux et la matrice de géographie, effectuons une RDA avec les matrices d'oiseaux et de géographie : que ce soit avec la matrice d'abondance d'oiseaux ou avec la matrice de présence/absence, les analyses de redondance indiquent une relation significative entre les deux matrices.

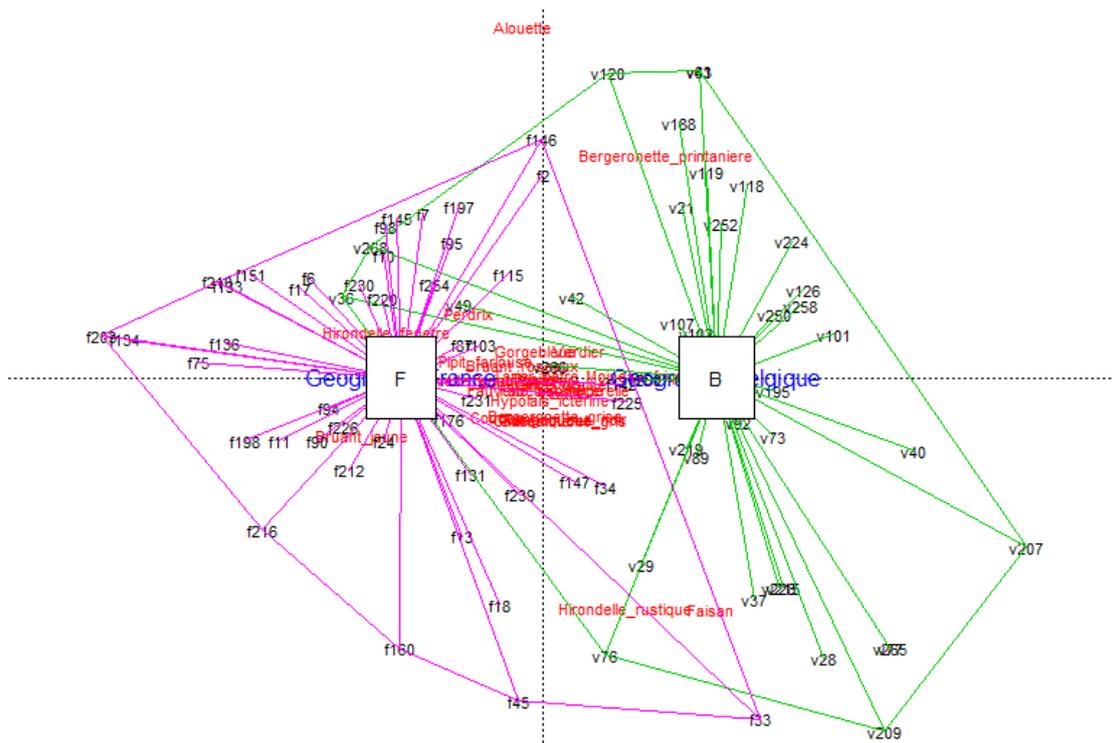


FIGURE 5.4 – Graphe de l'analyse de redondance espèces/pays

Le graphique montre des dissimilarités entre les deux pays. Les points français se trouvent en grande majorité sur la partie gauche du graphique, inversement pour les points belges. Pour voir si la différence entre la France et la Belgique est significative, une MANOVA permutacionnelle (PERMANOVA) est effectuée : la p-valeur est inférieure à 0.001 ; il y a donc une différence statistique hautement significative et donc robuste entre les deux pays au niveau du cortège d'oiseaux des milieux agricoles.

5.2.4 Quels éléments environnementaux/anthropiques expliquent les différences constatées, et pour quelles espèces ?

Nous voulons à présent déterminer, d'une manière générale et pour toutes les espèces de la sélection, quels sont les éléments du paysage qui expliqueraient ces différences. Par la suite, nous essaierons de trouver, individuellement pour chaque espèce d'oiseau, quelles sont les variables du paysage qui les attirent ou les rebutent.

Une analyse de redondance entre les matrices points d'écoute/oiseaux et points d'écoute/PEP est d'abord effectuée, puis une autre analyse de redondance entre les matrices points d'écoute/oiseaux et points d'écoute/cultures. Toutes les variables ne sont pas incluses dans l'analyse : une sélection de variables est effectuée a priori.

Une sélection de variables dite "forward" est effectuée : la base est un modèle sans variables explicatives, puis elles sont rajoutées une par une et on voit lesquelles sont

France/Belgique, car on retrouve des espèces à la fois aussi présente en France qu'en Belgique (Bergeronnette grise), des espèces principalement présentes en Belgique (Hirondelle rustique), et des espèces majoritairement françaises (Coucou).

A présent, voyons si les cultures peuvent expliquer les différences constatées au niveau de la répartition des oiseaux : comme précédemment, une sélection de variables est effectuée : avec la matrice des cultures en présence/absence, les variables sélectionnées sont Herbage extensif, Vergers, Herbage intensif et le lin (un peu moins significatif mais intéressant à mettre car les quatre directions sur le graphique sont visibles).

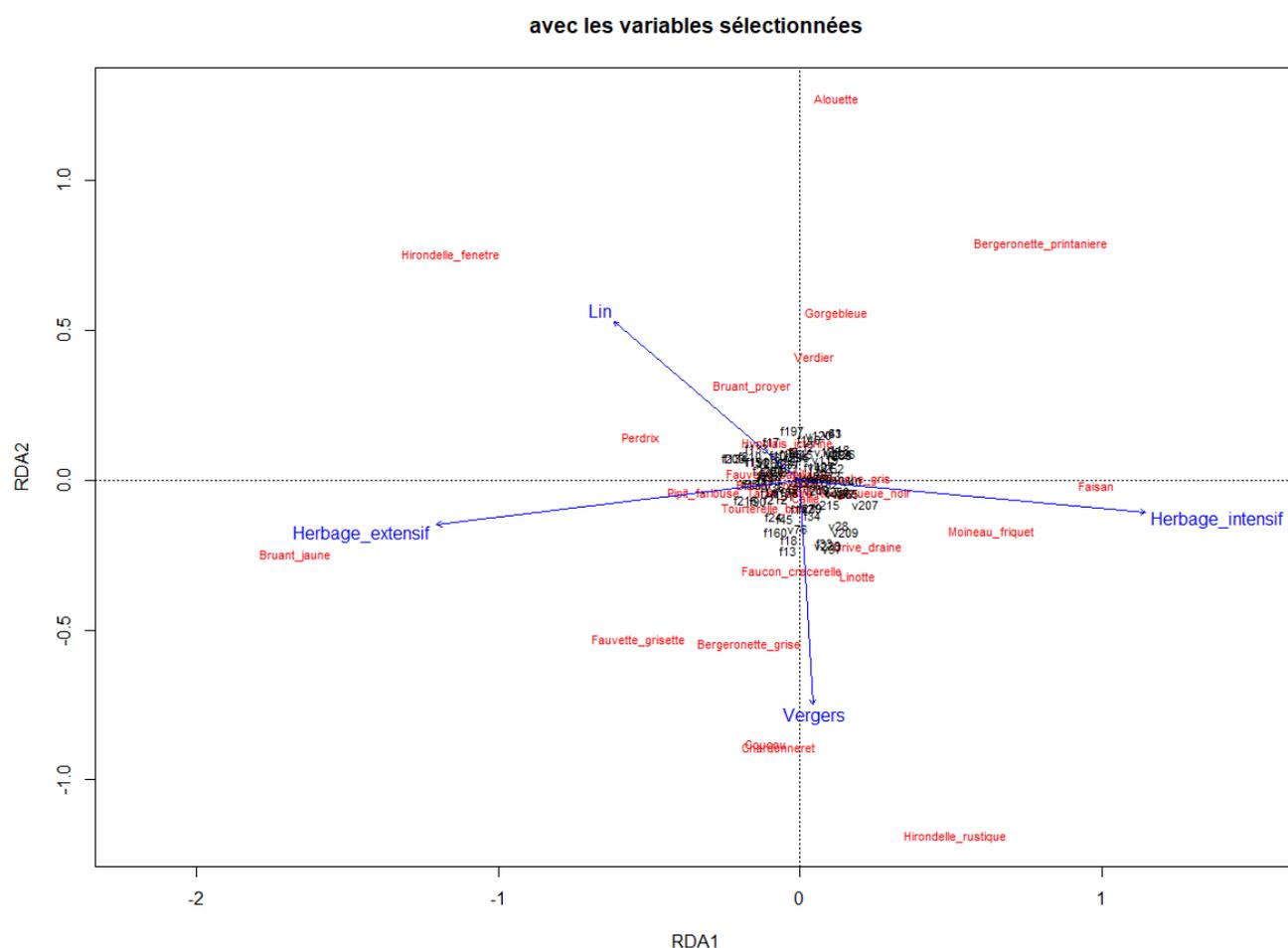


FIGURE 5.6 – RDA oiseaux/cultures

Interprétation des graphiques : le Bruant jaune est fortement corrélé avec les herbages extensifs, qui est une catégorie de cultures qui est plus abondante en France. Le Coucou, le Chardonneret, la Bergeronnette grise ou encore le Faucon crécerelle sont corrélés avec les vergers (mais la proportion de vergers est faible) ; les deux espèces qui semblent apprécier le plus les herbages intensifs sont le Moineau friquet et le Faisan, qui sont des

espèces plus présentes en Belgique.

Nous avons vu quelles sont les variables qui font varier significativement les présences et abondances d'oiseaux à un niveau global : à présent, nous allons tenter de trouver, pour chaque espèce d'oiseau qui a été aperçue sur un nombre suffisant de points d'écoute (au moins 5), quelles préférences ils peuvent avoir, grâce à la technique des arbres de régression [16] (une approche par modèle linéaire généralisé a été également envisagée, mais les résultats n'étaient pas concluants, surtout concernant les cultures), aussi appelé partitionnement récursif. Voici un exemple d'arbre de régression :

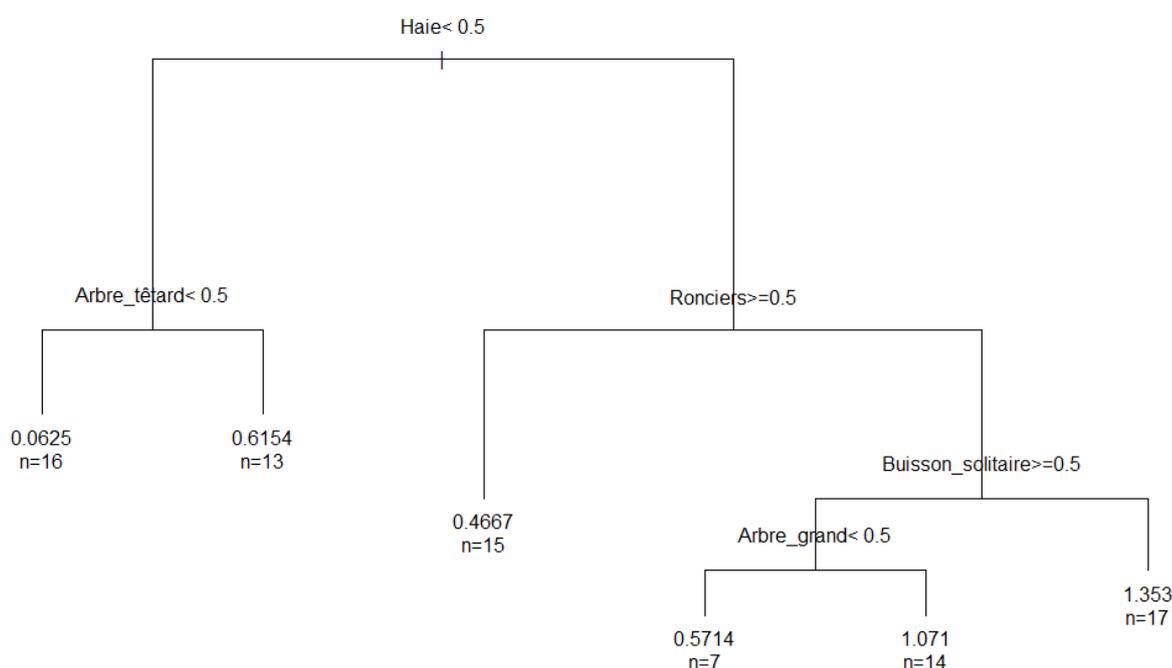


FIGURE 5.7 – Arbre de régression sur la population de Bruants jaunes et les PEPs. On peut lire le nombre moyen de Bruants jaunes par point d'écoute des groupes créés par l'algorithme et le nombre de points d'écoute dans ces mêmes groupes à chaque extrémité. Quand la condition indiquée par l'arbre est respectée (exemple : Haie < 0.5), on continue à gauche le long de l'arbre.

Différentes combinaisons de PEPs qui sont jugées pertinentes par l'algorithme peuvent être repérées, grâce à un critère d'impureté calculé : toutes les séparations possibles sont envisagées par l'algorithme, puis celle qui a le plus petit critère d'impureté est sélectionnée. L'opération est répétée plusieurs fois jusqu'à un critère d'arrêt (nombre minimal par groupe ou non-amélioration). Par exemple, pour le cas du Bruant jaune, il peut être constaté qu'ils sont plus nombreux sur les points avec Haies (Haie > 0.5).

sans ronciers (Ronciers < 0.5) et sans buisson solitaire (Buisson solitaire < 0.5). Voici les résultats constatés par espèce :

Espèce	Variables appréciées	Variables évitées
Gorgebleue à miroir	Marais, sinon bande enherbée ; lin + herbage intensif	Fermes, grands arbres
Fauvette babillarde		
Faisan de Colchide	Herbages intensifs , maïs, Mare	Herbage extensif + maïs
Bruant jaune	Haies, Herbages extensifs	Ronciers, herbages intensifs
Bergeronnette printanière	Pas de PEPs, Légumes, Betteraves	Herbages extensifs
Fauvette grissette	Haies , bandes enherbées, légumes + herbages extensifs	
Pipit farlouse	Pas de PEPs, naturel + herbage extensifs	
Bruant proyer		
Linotte mélodieuse	Haies, arbres morts, pommes de terre, céréales	Grands arbres, légumes
Caille des blés		
Perdrix grise	sentier + haie, pommes de terre + légumes	Petits arbres
Bruant des roseaux	Bandes enherbées, lin sans maïs	Grands arbres, fermes
Tarier pâtre		
Hypolaïs icterine	Ronciers	Sentiers, herbages intensifs
Faucon crécerelle	Pas de PEPs, herbages extensifs	
Alouette des champs	Pas de PEPs, ou grand arbre + sentier, betteraves + légumes, lin	
Tourterelle des bois		

Espèce	Variables appréciées	Variables évitées
Hirondelle rustique	Broussailles sèches , arbre grand + arbre mort	
Gobemouche gris	Broussailles sèches	
Verdier	buisson solitaire sans haies	
Hirondelle de fenêtre	Haies +sentier	grand arbre, maïs+légumes
Chardonneret élégant	Broussailles sèches , naturel	légumes
Moineau friquet	Herbages intensifs , arbres têtards, pommes de terre + herbages intensifs	
Bergeronnette grise	Broussailles sèches , pommes de terre + lé- gumes + herbage exten- sif	Arbres morts
Rougequeue noir	Mare + Ferme + Haie, herbage intensif + natu- rel	
Grive draine	Mare	
Coucou	Broussailles sèches	Betteraves

Légende : un "+" entre deux éléments correspond à une combinaison de ces deux éléments. Une "," entre deux éléments signifie que ce sont deux éléments différents. En gras, les éléments qui ont un impact significatif sur la dispersion des oiseaux à l'échelle globale. Nuance : certains résultats sont à interpréter avec précautions car il peut y avoir des caractères induits.

Dans un grand nombre de cas, les différences France/Belgique constatées ont été retrouvées.

Les résultats seront un peu plus fiables lors de l'analyse de 2019 : il y aura plus de points aléatoires.

Chapitre 6

Interprétations des analyses

Résumons les facteurs qui expliqueraient les différences au niveau des espèces pour lesquelles des disparités au niveau des pays ont été constatées :

1) Le Bruant jaune semble préférer les haies (la présence de haies plutôt que le linéaire total, même s'il existe une corrélation significative ($p < 0.05$) entre le nombre de Bruants jaunes et le linéaire de haies en mètres selon le test de corrélation de Kendal, non détaillé dans le présent rapport), ce qui pourrait expliquer sa plus grande présence en France, où il y a plus de haies. Il semble préférer les herbages extensifs (prairies fleuries, etc.) et les éléments "naturels", également plus présents en France. Ces éléments fournissent en effet de la nourriture pour les jeunes du Bruant jaune, qui se nourrissent d'invertébrés [17]. Il a logiquement une préférence pour le milieu agricole.



FIGURE 6.1 – Bruant jaune mâle, ©Karl Gillebert

2) Le Moineau friquet semble préférer les fermes, mais ce n'est pas, stricto sensu, ce qui explique la différence entre France et Belgique. Par contre, une préférence pour les champs de maïs et les herbages intensifs, qui sont des cultures majoritaires en Belgique, et qui sont à proximité de fermes dans ce pays, ont été constatées ; ce qui créerait cette

préférence. Voici une explication possible : la combinaison de maïs et d'herbages intensifs signifie en général qu'il y a élevage intensif. La relation sera donc indirecte. Dans le maïs, il y a de mauvaises herbes qui donnent de nombreuses petites graines (Echinochloa, Setaria, Panicum...) très aimées par cette espèce [O.Dochy]. De même, une préférence pour les arbres têtards a été détectée, mais seulement sur les points belges. Peut-être faudrait-il observer attentivement les fermes belges pour voir qu'est-ce qui attire autant les moineaux friquets (même si le Moineau friquet est assez couramment observé dans des vergers, il n'y a pas forcément plus de vergers haute tige en Belgique).



FIGURE 6.2 – Moineau friquet sur une branche, ©Jean-Philippe Liégeois

3) pour la Fauvette grisette : l'espèce est caractéristique du groupe « France » pour les points random, mais la différence n'est pas significative si les 391 points d'écoute sont pris comme base d'étude [2]... Elle préfère les haies (en effet, cette espèce souffre de la destruction des haies et de l'uniformisation des paysages agricoles [1]), qui sont plus présentes en France, et elle semble avoir une préférence pour les éléments naturels.



FIGURE 6.3 – Fauvette grisette mâle, ©Jean-Philippe Liégeois

4) pour le Pipit farlouse : préférerait les sentiers et les bandes enherbées (PEPs des champs) et un mélange de bâti et d'agricole. Malheureusement, la différence France/Belgique ne peut s'expliquer par ces facteurs environnementaux. Par contre, un mélange d'éléments naturels et d'herbages extensifs semble l'attirer - puisque cette espèce niche dans l'herbe au sol et son nid ne risque pas d'être fauché ou écrasé par du bétail dans ces types de culture [1]- et cette combinaison est plus présente en France.



FIGURE 6.4 – Pipit farlouse, ©Karl Gillebert

5) pour la Bergeronnette printanière : elle n'a pas vraiment de préférence au niveau PEPs, le milieu agricole est logiquement privilégié. Aurait une préférence pour les betteraves et les légumes. Cependant, il y a peu de différence au niveau des betteraves entre la France et la Belgique (3.6% contre 2.8%). Ça n'explique pas la différence, même si on retrouve souvent des champs de betteraves combinés avec d'autres champs dans les cercles de comptage autour des points d'écoute belges. Il est connu, dans la littérature (par exemple dans [18]), que la combinaison betteraves/céréales/pommes de terre est idéale pour l'espèce (céréales pour le premier nid et betteraves ou pommes de terre pour le second). Cependant, les analyses effectuées n'ont pas pu mettre en évidence cette préférence, et, de toute façon, celle-ci n'expliquerait pas les différences constatées (pour rappel, la Bergeronnette printanière est plus présente en Belgique). Peut-être faudrait-il regarder au niveau des traitements des champs (pesticides, etc.) ?



FIGURE 6.5 – Bergeronnette printanière, ©Vincent Gaveriaux

6) pour le Faisan de Colchide : pourrait être influencé par les lâchers pour la chasse (peut-être qu'il y a plus de lâchers en Belgique ?) donc fausserait les résultats ; selon les analyses, il aurait une préférence pour le bâti. Pas vraiment de préférence pour les PEPs, si ce n'est les vergers. Semble préférer les herbages intensifs, qui sont plus présents en Belgique.



FIGURE 6.6 – Faisans, mâle et femelle, ©Denis Mougeot

7) pour l'Alouette des champs : sa préférence pour les champs de légumes et de betteraves n'explique pas la différence (l'Alouette est plus présente en France) car il y a presque autant de légumes en France qu'en Belgique (3-4%). Cependant, la préférence pour le lin peut expliquer la différence, même si le lien peut être indirect.



FIGURE 6.7 – Alouette, ©Vincent Gaveriaux

LE CAS PARTICULIER DES HIRONDELLES : Concernant l’Hirondelle de fenêtre, il est difficile d’interpréter les résultats car c’est un oiseau très mobile. Mais elle est majoritaire en France, alors que l’Hirondelle rustique est majoritaire en Belgique. Selon les analyses, elle semble préférer les haies, ce qui expliquerait la différence (peut-être est-ce un endroit privilégié de chasse d’insectes), mais ceci pourrait être une coïncidence.



FIGURE 6.8 – Hirondelle de fenêtre, ©Thierry Tancrez

Concernant l’Hirondelle rustique : tout comme pour l’Hirondelle de fenêtre, il est difficile d’interpréter les résultats. Elle semble préférer les grands arbres et les mares, ces dernières étant plus présentes en Belgique... Elle semble avoir une préférence pour le bâti (par observation, les fermes) et, même si cela n’a pas été mis en évidence dans les analyses, il semblerait qu’il y ait plus de bâti en Belgique [2]. Cela pourrait expliquer la différence. Pour les deux espèces d’hirondelles, les éléments en notre possession ne permettent pas de tirer des conclusions. Une nouvelle fois, peut-être faudrait-il s’attarder sur l’analyse des bâtiments des fermes.



FIGURE 6.9 – Hirondelle rustique, ©Thierry Tancrez

A part pour le Bruant jaune ou la Fauvette grise, il est difficile de montrer quelles variantes du paysage et des cultures expliquent les différences France/Belgique avec les données à disposition. Les faibles R^2 des analyses RDA indiquent que la variance est expliquée par d'autres facteurs, qui n'apparaissent pas dans ceux pris en compte dans les analyses.

Conclusions

Une différence flagrante de répartition au niveau des espèces (encore plus pour certaines espèces en particulier) a été mise en évidence, que ce soit avec les données d'abondance ou même celles de présence/absence. Celle-ci n'est pas expliquée par les différences au niveau paysager à grande échelle, mais nous nous sommes dits qu'elle pouvait être expliquée par les différences de petits éléments paysagers et de cultures agricoles dans les deux pays. Cependant, les données à disposition n'étaient, pour la plupart de espèces, pas suffisantes pour expliquer les différences de répartition entre la France et la Belgique. D'autres facteurs pourraient influencer la présence ou l'absence de ces espèces : la présence de bétail (et quel bétail), les traitements des champs (pesticides), la qualité de l'eau, la qualité de l'air, la qualité du sol, la qualité et la taille des petits éléments paysagers (exemple : est-ce que les haies sont fauchées à leur pied)... Tout cela laisse à croire que les différences constatées se jouent plutôt à petite échelle, et donc qu'une grande différence de traitements (divers) peut être considérée entre la France et la Belgique, ce qui affecteraient les oiseaux.

Dans l'enquête de 2019, les acteurs du projet TEC ont demandé aux observateurs de noter de nouveaux paramètres : la présence ou absence de taupinières, et la présence ou absence de bétail (et, le cas échéant, quel type de bétail). Peut-être que ces deux variables vont contribuer à expliquer un peu mieux les différences constatées.

Les résultats que donneront l'enquête de 2019 permettront d'analyser en détail une plus grande portion de territoire (analyses semblables à celles déjà effectuées, dans ce présent rapport et dans celui de Olivier DOCHY) et de voir les tendances, les évolutions tant au niveau paysager qu'au niveau avifaunistique sur les points déjà sondés en 2013.

De plus, une analyse de la "diversité fonctionnelle" pourra être envisagée : analyser plus précisément et décomposer les différentes facettes de la diversité, estimer les différences de diversité fonctionnelle entre les différents pays/habitats... On pourra entre autres relier environnement/espèces et traits biologiques/écologiques de ces espèces via une analyse du « fourth corner » [12] ou une analyse RLQ [12]. Dans cette optique, une table d'attributs comportementaux des espèces étudiées sera nécessaire.

Une question à laquelle on aimerait trouver des pistes de réponse par la suite est : L'homme contrôlerait-il la présence des espèces ? L'impact de l'homme est-il si important que la distribution des espèces puisse être altérée et expliquée par une limite de nature administrative et non biogéographique ?

Remerciements

Je souhaite remercier particulièrement l'ensemble de l'équipe du GON (groupe ornithologique et naturaliste du Nord-Pas-de-Calais), l'association qui m'a accueillie pour ce stage. En particulier Christophe LUCZAK - pour l'important accompagnement mathématique -, Rudy PISCHIUTTA (directeur du GON) et Cedric BEAUDOIN pour m'avoir encadré durant ce stage et pour m'avoir fourni de nombreux détails ornithologiques. Merci également à Claire BLAISE pour sa grande aide concernant la partie cartographie et la prise en main du logiciel QGIS.

Je souhaite également remercier nos partenaires belges, Olivier DOCHY, pour son implication dans le projet (et pour avoir eu l'idée de l'enquête) et Dirk MAES, pour m'avoir expliqué les analyses déjà réalisées en 2014.

Enfin, merci à l'ensemble de l'équipe de la Boutique Des Sciences, la MESHS et le CNRS, sans qui ce stage n'aurait pas été possible et Chi TRAN, ex-maître de conférences à l'université de Lille, pour bien s'occuper de ses étudiants en leur transmettant des offres de stage.

Annexes

Dans les deux pages suivantes, voici des exemplaires de feuilles de relevé qui ont servi pour les comptages de 2019 (recto et verso).

Suivi oiseaux de campagne Monitoring plattelandsvogels

Nom : **via.CB**.....

Heure de départ :

Année : 2019

Date : /

Visite : 1 - 2 - 3

POINT d'écoute n°: 6327

Conduite des oiseaux nicheurs	Code
• Oiseau simplement vu ('présent')	X̄
• Couple dans habitat de reproduction	X
• Observation indiquant un territoire – chant, parade – se battre, etc.	X
• Observation indiquant un nid – transport de nourriture – alarme	⊗
• Découverte du nid	⊙

X = code de l'espèce (voir verso du formulaire)



Structure Paysagère (score)	
Agriculture	
Terrain bâti	
Naturel sec	
Naturel humide	
Bois	
Total	8

*Petits éléments paysagers
et occupation du sol
(à cocher si présent)*

ANIMAUX

<input type="checkbox"/>	Bétail en plein air:
<input type="checkbox"/>	bovin
<input type="checkbox"/>	cheval, âne
<input type="checkbox"/>	mouton
<input type="checkbox"/>	Taupe
<input type="checkbox"/>	présent (taupinières)

TERRAIN BÂTI

- Exploitation agricole active** (en cas de doute: à cocher)
- Chemin "lent"** (chemin de terre, chemin de pierres, sentier)

EAU ET MARAIS

- Mare ou étang** à caractère naturel; étang de jardin seulement hors du quartier urbain, comme dans un grand jardin paysager
- Marais** et autre végétation distinctement **humide**, aussi mare envasé (roseaux, massettes, joncs, laiches, reine des prés, ...) >200 m² [si doute: broussailles sèches]

PRAIRIE ET BROUSSAILLES SECHES

- Prairie ou grande accotement très fleuries** >500 m² (Pissenlit, renoncules, Cardamine des prés, Marguerite, Centaurée,, ...)
- Ronciers** >20 m de longueur, aussi faisant partie d'une haie ou lisière
- Broussailles sèches** >200 m² (friche non fauché ou herbes grandes comme Tanaïs, Armoise, bardanes, Berce, chardons, Grande ortie. Aussi espèces invasives comme la Renouée du Japon,,...)

ARBRES ET BUISSONS

- Verger haute tige, parc** avec des arbres répandus
- Haie** aux espèces indigènes (taillée ou pas); pas les haies des jardins ordinaires ou d'une zone verte d'une exploitation
- Un ou plusieurs **arbres grands** >10 m hauteur (hors des bois, jardin OK)
- Un ou plusieurs **arbres petits** <10 m hauteur (hors des bois ou jardins)
- Un ou plusieurs **buissons ou taillis solitaires** <10 m hauteur (hors des bois ou jardins)
- Un ou plusieurs **arbres morts** bien frappants (hors des bois)
- Un ou plusieurs **arbres têtards vieux**

AGRICULTURE

- Champs ou chaume avec **beaucoup de fleurs de champs**: p.ex. matricaire, coquelicot, véronique, Mouron des oiseaux, ...
- Champs de fleurs semé**, couvert nourricier pour le gibier, etc.
- Bande enherbée** (à peine quelques fleurs)
- Champs de **colza**

⊕ = point théorique

Point d'écoute n°: _____

Date: _____

Nom: _____

Recherché ? (/ = non)	Espèce	Abbr.	Nombre d'oiseaux(*)
	Alouette des champs	Al	
	Barge à queue noire	BQN	
	Bergeronnette grise	BrgG	
	Bergeronnette printanière	BrgP	
	Bernache de Canada	Can	
	Bruant des roseaux	BrRos	
	Bruant jaune	BrJ	
	Bruant proyer	BrPr	
	Busard cendré (att. marq. alaire !)	BusC	
	Busard des roseaux (att. marq. alaire !)	BusR	
	Busard Saint-Martin	BusSM	
	Buse variable	Buse	
	Caille des blés	Caille	
	Chardonneret élégant	Chard	
	Corbeau freux	Freux	
	Coucou gris	Cou	
	Faisan de Colchide	Fai	
	Faucon crécerelle	FcCréc	
	Fauvette babillarde	FvBa	
	Fauvette grissette	FvGr	
	Gobemouche gris	GmGr	
	Gorgebleue à miroir	GBI	
	Grive draine	GrDr	
	Hippolaïs icterine	HipIct	
	Hippolaïs polyglotte	HipPol	
	Hirondelle de fenêtre	HirF	
	Hirondelle rustique	HirR	
	Huitrier pie	HuitPie	
	Linotte mélodieuse	Linot	
	Moineau friquet	MFriq	
	Oie cendrée	OieCen	
	Ouette d'Égypte	Ouette	
	Perdrix grise	PX	
	Pie-grièche écorcheur	PGE	
	Pipit farlouse	PpFar	
	Rougequeue à front blanc	RQFB	
	Rougequeue noir	RQN	
	Tadorne de Belon	Tad	
	Tarier des prés	TarPré	
	Tarier pâtre	TarPât	
	Tourterelle des bois	TDB	
	Vanneau huppé	Vann	
	Verdier d'Europe	VerE	
	Chevreuil	Chevr	
	Lapin de garenne	Lap	
	Lièvre d'Europe	Lvr	



(*) A noter: le nombre total d'oiseaux vus ou entendus. Ne notez pas: des juvéniles ou des oiseaux survolant sans lien avec le terrain (p.ex. en migration active). Des oiseaux en vol «cherchant» qqch (p.ex. un busard chassant) comptent tout de même.

Crédits photo

Merci à Cédric BEAUDOIN pour m'avoir autorisé à utiliser des photographies de la phototèque du GON, et merci aux photographes qui sont listés ci-dessous :

GAVERIAUX Vincent : photos d'Alouette des champs, de Bergeronnette printanière, de Tourterelle des bois et de Bruant jaune (couverture).

GILLEBERT Karl : photos de Bruant jaune et de Pipit farlouse.

LIEGEOIS Jean-Philippe : photos de Fauvette grisette et de Moineau friquet.

MOUGEOT Denis : photo de Faisan de Colchide.

TANCREZ Thierry : photos d'Hirondelle de fenêtre et d'Hirondelle rustique.

Bibliographie

- [1] C. Luczak. *Évolution des populations d'oiseaux communs nicheurs dans le Nord-Pas-de-Calais (1995-2014) : Collection Faune du Nord-Pas-de-Calais, Tome1*. GON, 2017.
- [2] O. Dochy. Verslag van de frans-belgische akkervogelinventarisatie 2013, 2014.
- [3] I. Newton. *Farming and Birds*. Harper Collins inprint, 2017.
- [4] O. Dochy. Le bruant jaune : Plan d'actions transfrontalier - projet tec! Technical report, Interreg, 2018.
- [5] QGIS Development Team. *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation, 2009.
- [6] County of Kent and Région Nord-Pas de Calais. Arch (assessing regional changes to habitats). <https://www.hauts-de-france.developpement-durable.gouv.fr/?Projet-ARCH>.
- [7] OpenStreetMap contributors. Planet dump retrieved from <https://planet.osm.org>. <https://www.openstreetmap.org>, 2017.
- [8] Safe Software. Fme. <https://www.safe.com/fme/>.
- [9] S. Frontier. *Stratégies d'échantillonnage en écologie, Collection d'écologie 17*. Masson, Paris Les Presses Universitaires de Laval, 1983.
- [10] R Core Team. *R : A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2019.
- [11] Sébastien Lê, Julie Josse, and François Husson. FactoMineR : A package for multivariate analysis. *Journal of Statistical Software*, 25(1) :1–18, 2008.
- [12] P. Legendre and L. Legendre. *Numerical Ecology*. Elsevier, 1998.
- [13] D. Borcard, F. Gillet, and P. Legendre. *Numerical Ecology With R*. Springer, 2011.
- [14] Jari Oksanen, F. Guillaume Blanchet, Michael Friendly, Roeland Kindt, Pierre Legendre, Dan McGlinn, Peter R. Minchin, R. B. O'Hara, Gavin L. Simpson, Peter Solymos, M. Henry H. Stevens, Eduard Szoecs, and Helene Wagner. *vegan : Community Ecology Package*, 2019. R package version 2.5-5.
- [15] K.R. Clarke. Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18 :117–143, 1993.

- [16] Terry Therneau and Beth Atkinson. *rpart : Recursive Partitioning and Regression Trees*, 2019. R package version 4.1-15.
- [17] S. Cramp and C.M. Perrins. *Handbook of the Birds of Europe, the middle East and North Africa. Vol IX, Bunting and New World Warblers*. Oxford University Press, 1994.
- [18] S. Kragten. Shift in crop preference during the breeding season by yellow wagtails *motacilla flava flava* on arable farms in the netherlands. *Journal of Ornithology*, 152(3) :751–757, 2011.