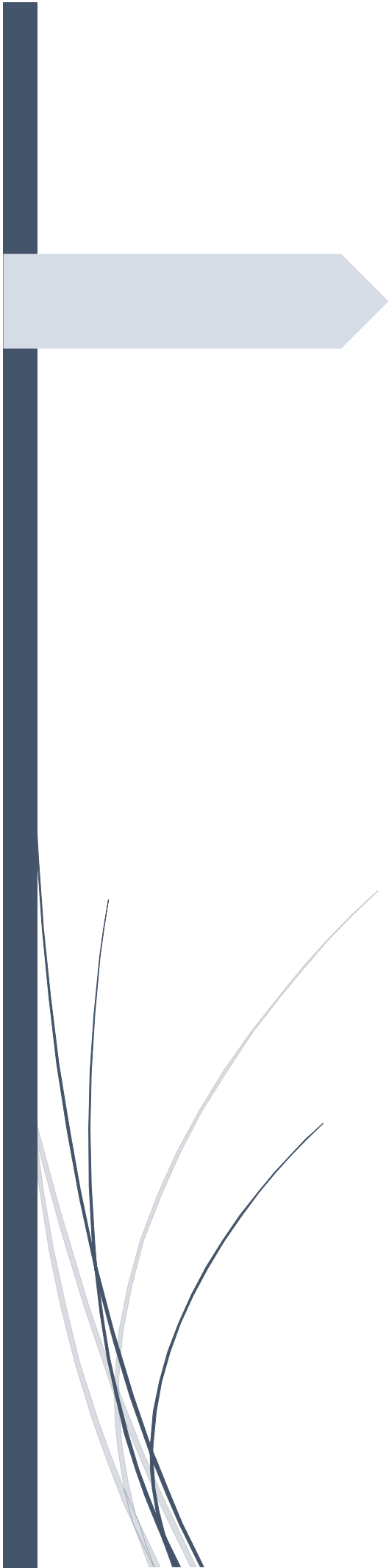




Evolution d'un peuplement d'oiseaux suite à une modification du traitement forestier

*Stage réalisé dans le cadre du module
Initiation à la Recherche
M1 – Mention Ecologie*

Encadrants : Marie-Line MAUBLANC

& Jean-François GERARD

Laboratoire d'accueil : INRAE – CEFS



Maddalena RIESS
STAGIAIRE
18/03/20 – 30/04/20



Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, au succès de mon stage et ainsi à la rédaction du présent mémoire.

Dans un premier temps, j'aimerais remercier mes encadrants, Marie-Line MAUBLANC et Jean-François GERARD, chercheurs à l'INRAE – CEFS qui, malgré la situation particulière, ont été particulièrement disponibles et à l'écoute pour me fournir de précieux conseils. De plus, ils ont fait preuve de patience vis-à-vis de connaissances que je n'avais pas, et que j'ai pu acquérir grâce à eux.

Dans un second temps, j'aimerais également remercier mes responsables du côté de l'université, à savoir Emilie THIEFFIN-LECOMPTE et Monique GARDES, enseignante-chercheuses toutes les deux, pour avoir pris régulièrement des nouvelles des stagiaires dans la même situation que moi. Grâce à elles, un maximum de personnes ont pu continuer ou commencer leur stage dans de bonnes conditions. Merci également au responsable du Master 1 Ecologie, Jean-Baptiste FERDY, pour avoir également pris des nouvelles régulières de tous les étudiants, de nous avoir tenu au courant des différentes modalités d'examen et des circonstances, et pour l'écoute disponible.

Merci également aux secrétaires de l'INRAE – CEFS (Pascale DUFOUR) et du bureau des stages de l'Université Paul Sabatier (Frédéric LE BIHAN) qui se sont démenés afin de me permettre de réaliser mon stage dans les règles avec une convention de stage disponible et entièrement signée.

J'aimerais aussi remercier ma mère, pour avoir créé un environnement sain et propre au travail, dans la bonne humeur, et avoir pris de son temps pour cela.

Pour terminer, je remercie mes amis proches, et Romain en particulier, pour la motivation et le soutien échangés entre nous tout le long de cette période.

Sommaire

Résumé	3
Introduction	4
Matériel et méthodes	6
<i>Zone d'étude</i>	<i>6</i>
<i>Méthode d'échantillonnage.....</i>	<i>7</i>
<i>Analyses.....</i>	<i>8</i>
Résultats.....	11
<i>Effet du traitement forestier</i>	<i>11</i>
<i>Effet de la structure de la végétation</i>	<i>13</i>
<i>Structure de la végétation et distribution des espèces.....</i>	<i>15</i>
Discussion.....	18
Bibliographie	20
Annexes.....	21

Résumé

Face aux enjeux du changement climatique, la préservation des forêts se révèle particulièrement importante, et cela passe par la préservation des espèces forestières telles que les oiseaux. Cependant, dans le contexte économique actuel, il peut être difficile d'allier la forte demande de services rendus par les forêts et la protection de la biodiversité. Cette étude s'est ainsi intéressée à l'évolution d'un peuplement d'oiseaux nicheurs dans une forêt française en reconversion pour une gestion forestière durable. Celle-ci a reçu deux traitements forestiers différents dans deux zones distinctes, et des indices de santé du peuplement d'oiseaux tels que l'abondance, la richesse et la diversité ont été recoltés, ainsi que des données relatives à la structure de la végétation. Bien que l'analyse de ces données n'a pas permis de mettre en évidence un effet du type de traitement forestier, elle a pu montrer une amélioration globale de la forêt, notamment grâce à la diversité d'habitats favorisée.

Mots-clés : avifaune, gestion forestière, diversité, écologie.

Abstract

Facing the climate change challenges, the conservation of forests is particularly important, and this requires the preservation of forest species such as birds. However, in the current economic context, it can be difficult to combine the high demand for the services provided by forests with the protection of biodiversity. This study focused on the evolution of a breeding bird population in a French forest which is in transition to a more sustainable forest management. As a result, it has received two different forest treatments in two distinct areas, and indicators the of bird's population's health such as abundance, richness and diversity have been collected, as well as data on vegetation structure. Although the data analysis didn't allow to show an effect of the forest treatment, it has thus shown a global improvement of the forest, notably through the favoured diversity of habitats.

Keywords: avifauna, forest management, diversity, ecology.

Introduction

Face au changement climatique et à ses impacts grandissants, la conservation des forêts, véritables puits de carbone, joue un rôle essentiel dans la lutte pour la réduction de nos impacts écologiques. Les forêts sont largement reconnues pour leur capacité à stocker le CO₂ atmosphérique (Toohey, 2018), capacité dont les populations sont conscientes ; cependant il est parfois oublié leur rôle de maintien de la biodiversité (IUCN), essentielle au maintien des écosystèmes. Ainsi, les modes de gestion forestière évoluent, afin de laisser place à des techniques plus durables.

En effet, les forêts rendent de nombreux services écosystémiques et économiques, et bien souvent dans le passé, les besoins économiques ont pris le dessus, négligeant l'impact et le rôle du maintien de la biodiversité. La mise en place de nouvelles méthodes permettant d'exploiter la ressource bois tout en préservant la diversité permet ainsi d'augmenter la résilience des écosystèmes forestiers. Des pays tels que l'Allemagne, par exemple, utilisent depuis plusieurs années des méthodes de traitement irrégulier (German Forestry Council), censé permettre la conservation des habitats des espèces en permanence. Au contraire, en France, le traitement traditionnel régulier aurait tendance à perturber les espèces, notamment lors de la coupe rase de grandes parcelles. Effectivement, l'impact des conditions environnementales sur les espèces est considérable.

Le changement climatique, de manière générale, affecte négativement les oiseaux, y compris les espèces forestières, mais tend à favoriser les espèces généralistes, plus aptes à supporter un changement rapide d'habitats (Crick, 2004), ce qui pourrait être amplifié par le traitement régulier. Le changement de nourriture pendant l'ontogenèse (Haywood et al., 1992), le changement de température (McCarty et al., 2008) et de végétation (Bradbury, 2005) ont des impacts sur la reproduction des oiseaux et leur descendance (Bryant, 1978), mettant en péril la survie des espèces. L'environnement impacte également le choix de l'habitat, et ainsi la qualité de la nourriture. Cela influence par exemple la masse du corps chez l'insecte et la durée de son développement (Tremmel et al., 2012). Les chiroptères sont également dépendants des conditions environnementales, puisque l'humidité du milieu, en atténuant les sons, impacte la portée de l'écholocation (Griffin, 1971), et influence donc la communication

entre individus. De plus, la température et la qualité de la nourriture ont un impact sur la reproduction (Mello et al., 2009), comme chez les oiseaux.

Bien que les études portant sur l'impact des gestions forestières sur la faune existent, elles sont peu nombreuses vis-à-vis du nombre d'écosystèmes forestiers existants, et peu d'entre elles analysent des données sur le long terme.

En Juin 2005, un projet est né entre le gestionnaire d'une grande forêt privée et l'INRA – CEFS, dans le but de concilier la présence d'une population de chevreuils en bonne condition et la régénération forestière.

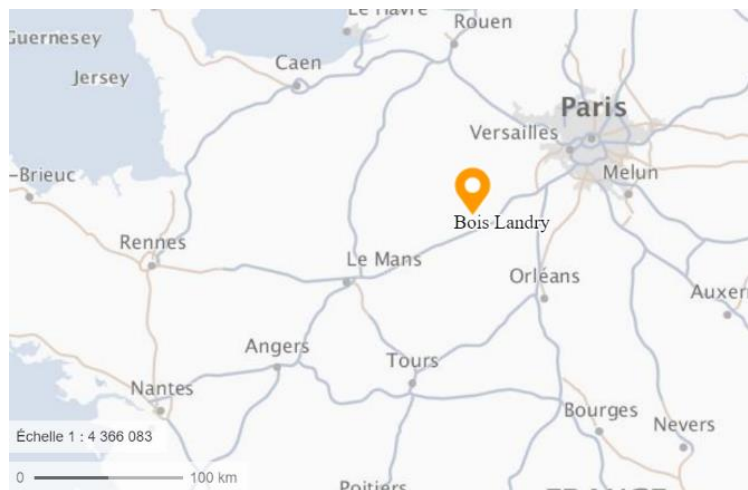
Après l'atteinte d'un équilibre satisfaisant entre forêt et cervidés, le projet s'est ensuite élargi au suivi de l'impact du traitement forestier sur la biodiversité, dans le but d'accorder exploitation (sylvicole, cynégétique et touristique) de la forêt et biodiversité. Il s'agit donc d'étudier sur le long terme l'impact de deux différents modes de gestion forestière : la futaie régulière, où tous les arbres d'une même zone sont coupés au même moment, et la futaie jardinée, où les coupes se font à l'arbre, permettant de maintenir en permanence plusieurs classes d'âge. Cette forêt a donc été partagée en deux zones avec deux types de traitement forestier différents (régulier vs. irrégulier), afin de voir si, comme attendu, un mode de gestion durable favorise le respect des quatre fonctions de la forêt : production de bois, protection de la biodiversité, accueil du public, protection contre les risques naturels (CRPF Île-de-France Centre-Val de Loire).

Le présent rapport s'inscrit dans le cadre de cette étude prévue sur une trentaine d'années. Après huit ans de récolte de données, ce rapport portera sur l'évolution des populations d'oiseaux, la question posée étant de déterminer si la partie de la forêt traitée de manière irrégulière impacte positivement cette classe et de quelle manière, comparativement à la partie traitée de manière régulière.

Matériel et méthodes

Zone d'étude

Le Bois Landry est situé dans la région Centre, en France, au sein de la commune de Champrond-en-Gâtine en Eure-et-Loir (28). Cette forêt, située à une heure et demie de la ville de Paris, s'étend sur 1250 hectares, et fait partie du Parc Naturel Régional (PNR) du Perche.



***Fig. 1** : Localisation du Bois Landry*

Né en 1937, le domaine du Bois Landry se caractérise par son abondance de chênes et de chevreuils. Depuis les années 2000, des mesures de gestion durable de plus en plus conséquentes ont permis au site d'obtenir de nombreux labels de développement durable (Natura 2000 – Directive Oiseaux, Programme Européen de Forêts Certifiées (PEFC), Wildlife Estates Label, Stratégie Nationale Biodiversité), et de tourisme durable (« Valeurs Parc » du PNR du Perche, « Vélo » Centre-Val de Loire (2016), Tourisme & Handicap). En effet, en plus d'une exploitation durable, les services rendus sont nombreux et variés : bois de chauffage éco-certié, cabanes dans les arbres, formations et séminaires en sylviculture, chasse et tourisme vert...

Dans le souci d'améliorer sa gestion forestière, et suite aux difficultés de régénération de la forêt due à la forte présence de cervidés, le domaine du Bois Landry est devenu un lieu d'étude sur l'équilibre sylvo-cynégétique, ou équilibre forêt-gibier, et d'une façon plus générale sur la multifonctionnalité de la forêt, ainsi qu'un lieu de formation pour gestionnaires forestiers.

Méthode d'échantillonnage

Afin d'étudier les effets des deux modes de gestion, deux zones ont été définies dans la forêt, à l'Ouest et à l'Est d'une route départementale qui traverse la forêt. L'Ouest conserve une gestion traditionnelle en futaie régulière ainsi que des îlots de vieillissement et de conservation, tandis que l'Est est modifié en futaie jardinée : chaque zone est susceptible de favoriser certaines espèces, augmentant globalement la biodiversité du Bois Landry.

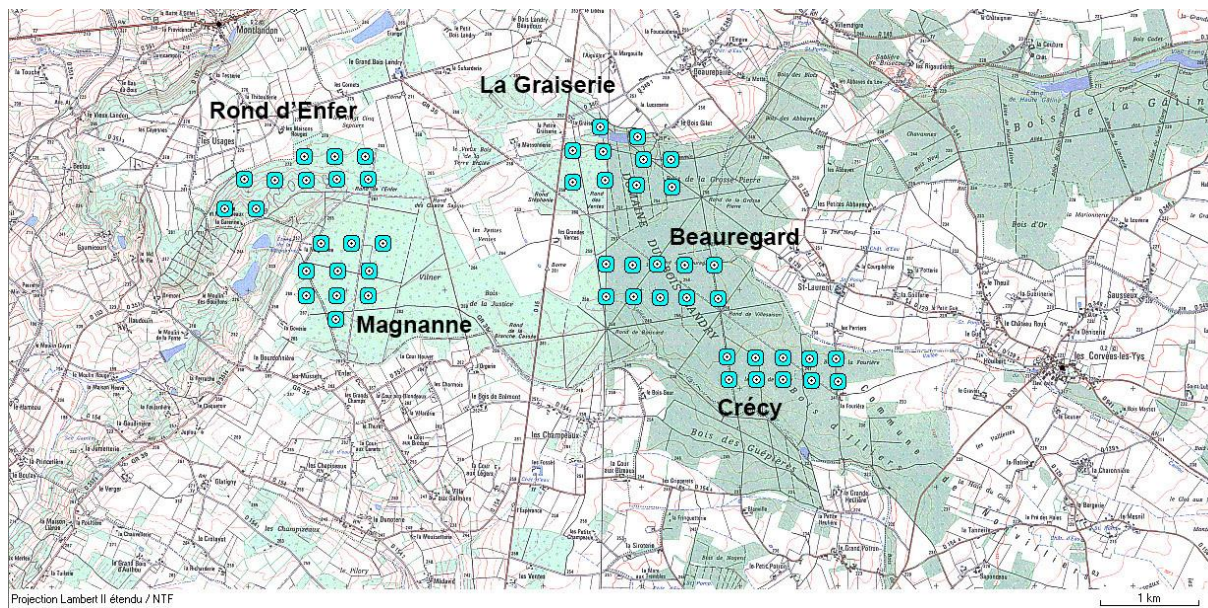


Fig. 2 : Localisation des cinq secteurs et de leurs points d'écoute respectifs dans les zones Ouest et Est

La méthode d'échantillonnage ornithologique s'est faite sur cinq secteurs (Magnanne et Rond d'Enfer à l'Ouest, Crécy, La Graiserie et Beauregard à l'Est), avec dix « points d'écoute » EPS (Echantillonnages Ponctuels Simples) distants de 250 mètres par secteur (voir Fig. 2), soit un total de 50 EPS. Cette méthode consiste en la notation, par l'opérateur et à chaque printemps des années 2012 à 2019, de tous les oiseaux vus et entendus pendant vingt minutes sur chaque point. Par convention, on attribue à chaque oiseau vu ou entendu crier la valeur 1, un oiseau entendu chanter est noté 2, et une famille est notée 3. Ceci a permis d'obtenir des données telles que la richesse (nombre d'espèces différentes contactées : totale ou ponctuelle moyenne), l'abondance (nombre d'« individus » : totale ou ponctuelle moyenne), la fréquence (nombre de points où une espèce a été contactée : absolue ou relative), ainsi que le degré de constance des espèces (espèce constante = contactée sur plus de 50% des

points, accessoire = intermédiaire, et satellite = contactée sur moins de 25% des points) et leur renouvellement (présence/absence d'une année à la suivante). Un indice de diversité a également été calculé : l'indice de Shannon, H' :

$$H' = - \sum_{i=1}^n (p_i * \log_2(p_i))$$

où p_i = nombre d' « individus » de l'espèce i / nombre total d' « individus » contactés (toutes espèces).

Concernant la structure verticale de la végétation, elle a été relevée grâce à une mire sur huit strates de hauteur allant de 0 à plus de 16 mètres, exprimée en pourcentage de recouvrement de la végétation projeté au sol.

Strate	Hauteur (m)	Nom	Richesse
1	0-0,25	Herbacée inférieure	Micro-faune
2	0,25-0,5	Herbacée supérieure	Floristique
3	0,5-1		
4	1-2	Arbustive inférieure	Ressources importantes de nourriture et de gîtes pour les oiseaux
5	2-4		
6	4-8	Arbustive supérieure	
7	8-16	Arborescente inférieure	Faunistique et floristique
8	>16	Arborescente supérieure	

Tab. 1 : Répartition, nom et richesse fournie pour chacune des huit strates échantillonnées (N.B. la huitième strate étant parfois notée en présence/absence, elle n'a pas été prise en compte dans les analyses)

Analyses

Les données ont été analysées par des modèles mixtes sous RStudio. Les variables dépendantes de ces modèles concernant les oiseaux sont : l'abondance ponctuelle moyenne, la richesse ponctuelle moyenne et l'indice de Shannon.

Les variables indépendantes concernent la localisation des données (zone) ainsi que l'année, mais aussi des données relatives à la végétation (recouvrements des strates 1 à 7).

Certaines variables indépendantes seront également en facteur aléatoire selon le modèle et ce qui a été étudié, tels que l'année et le secteur, le point d'écoute étant toujours considéré comme facteur aléatoire.

Tous les groupes de modèles mixtes (modèle complet et sous-modèles qui en découlent) ont été construits avec la fonction *lmer* (package *lme4*) et comparés par AICc (Critère d'Information d'Akaike corrigé pour les échantillons de petite taille). Le modèle retenu est donc celui ayant la plus petite valeur d'AICc, sauf si un des autres modèles possède un $\Delta AICc \leq 2$ et un degré de liberté inférieur au modèle initialement retenu, auquel cas il remplace le modèle en question.

Deux types de modèles mixtes ont ainsi été construits :

- Le premier, du type : $Y \sim \text{Zone} * \text{Année} + (1|\text{Année}) + (1|\text{Secteur}) + (1|\text{Point})$, Y étant successivement l'abondance ponctuelle moyenne, l'indice de Shannon et la richesse ponctuelle moyenne, permet de voir si le traitement forestier a un effet sur les oiseaux.
- Le second, du type : $Y \sim \text{strate_1} + \text{strate_2} + \dots + \text{strate_6} + \text{strate_7} + (1|\text{Point}) + (1|\text{Année})$, permet de son côté d'étudier l'effet de la structure de la végétation sur les différentes variables Y.

Enfin, une ACC (Analyse Canonique des Correspondances) a été réalisée entre les recouvrements de la première à la septième strate et l'ensemble des abondances des espèces contactées sur au moins 50% des points d'écoute dont le biotope de prédilection est connu (voir *Tab. 2*), permettant de compléter et d'affiner les résultats précédents sur le lien entre la structure de la végétation et ces différentes espèces. Celle-ci a été réalisée avec la fonction *cca* du package *vegan*.

Nom	Code	Biotope de prédilection
Fauvette des jardins	FaDJ	Stades intermédiaires des successions végétales
Fauvette à tête noire	FaTN	Stades intermédiaires des successions végétales
Grimpereau des jardins	GDJ	Optimum forestier
Grive draine	GD	Optimum forestier
Grive musicienne	GM	Ubiquiste forestier
Mésange à longue queue	MLQ	Stades intermédiaires des successions végétales
Mésange bleue	MB	Ubiquiste forestier
Mésange charbonnière	MC	Ubiquiste forestier
Merle	M	Ubiquiste forestier
Pic épeiche	PE	Optimum forestier
Pouillot fitis	PF	Stades intermédiaires des successions végétales
Pouillot siffleur	PS	Optimum forestier
Pouillot véloce	PV	Ubiquiste forestier
Rougegorge familier	Rou	Ubiquiste forestier
Rougequeue à front blanc	RaFB	Optimum forestier
Sittelle	S	Optimum forestier
Troglodyte	T	Ubiquiste forestier

Tab. 2 : Nom, code et biotope de prédilection des espèces les plus répandues

Résultats

Effet du traitement forestier

Dans un premier temps, les modèles mixtes dérivant du modèle complet $Y \sim \text{Zone} * \text{Année} + (1|\text{Année}) + (1|\text{Secteur}) + (1|\text{Point})$, ont permis de montrer que la zone, autrement dit le traitement forestier, n'a pas eu d'effet significatif sur l'abondance ponctuelle, la richesse ponctuelle et l'indice de Shannon, tandis que l'année a eu un effet sur ces trois variables, comme le suggèrent les figures 3 à 5 avec une augmentation de ces variables dans chaque zone au cours du temps.

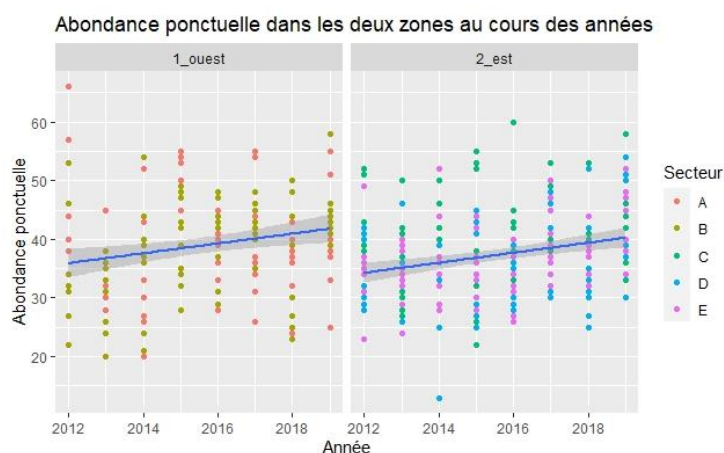


Fig. 3

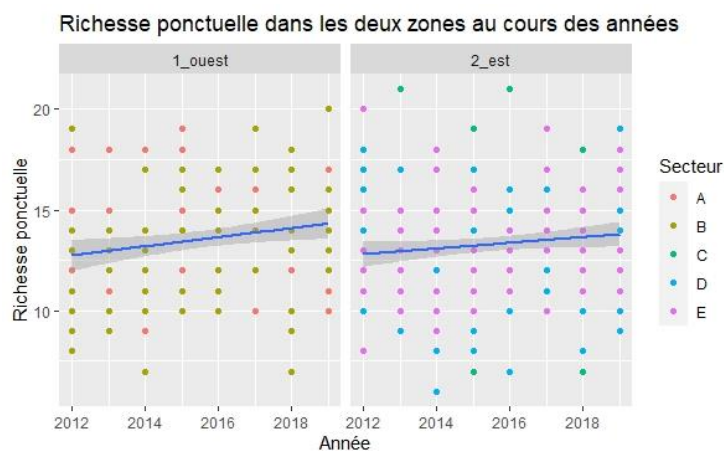


Fig. 4

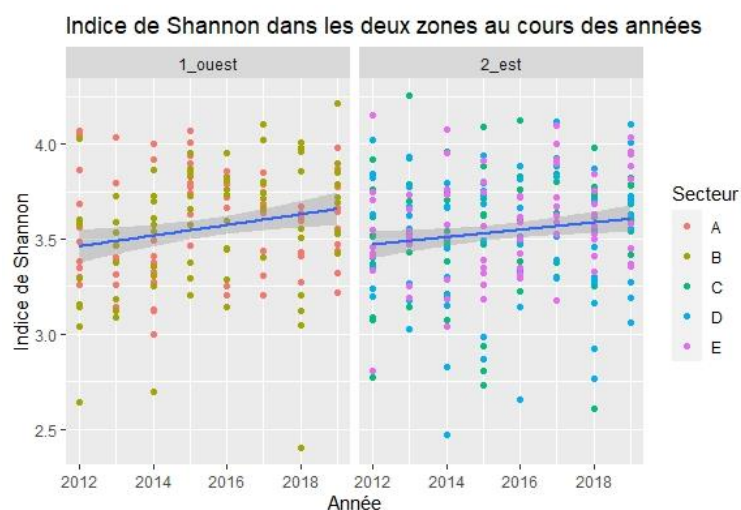


Fig. 5

Fig. 3, 4 et 5 : Evolutions de l'abondance ponctuelle, de la richesse ponctuelle et de l'indice de Shannon dans les deux zones au cours du temps
(N.B. Les secteurs A, B, C, D et E correspondent respectivement à Rond d'Enfer, Magnanne, La Graiserie, Beauregard et Crécy)

En effet, concernant l'abondance ponctuelle et l'indice de Shannon, le même modèle est retenu : $Y \sim \text{Année} + (1|\text{Année}) + (1|\text{Secteur}) + (1|\text{Point})$. Pour la richesse ponctuelle, le modèle de plus faible AICc inclut également l'année, mais l'effet reste incertain étant donné que le modèle nul a un ΔAICc de 0,815 (voir Tab. 3).

Variable Y	Modèles	Degrés de liberté	AICc	ΔAICc
Abondance ponctuelle moyenne	Abondance ~ Zone*Année + (1 Année) + (1 Secteur) + (1 Point)	8	2756,312	2,834
	Abondance ~ Zone+Année + (1 Année) + (1 Secteur) + (1 Point)	7	2754,229	0,751
	Abondance ~ Année + (1 Année) + (1 Secteur) + (1 Point)	6	2753,478	0
	Abondance ~ Zone + (1 Année) + (1 Secteur) + (1 Point)	6	2757,144	3,666
	Abondance ~ (1 Année) + (1 Secteur) + (1 Point)	5	2756,352	2,874
Richesse ponctuelle moyenne	Richesse ~ Zone*Année + (1 Année) + (1 Secteur) + (1 Point)	8	1903,935	3,136
	Richesse ~ Zone+Année + (1 Année) + (1 Secteur) + (1 Point)	7	1902,444	1,645
	Richesse ~ Année + (1 Année) + (1 Secteur) + (1 Point)	6	1900,799	0
	Richesse ~ Zone + (1 Année) + (1 Secteur) + (1 Point)	6	1903,249	2,45
	Richesse ~ (1 Année) + (1 Secteur) + (1 Point)	5	1901,614	0,815
	Shannon ~ Zone*Année + (1 Année) + (1 Secteur) + (1 Point)	8	180,5738	3,4233
	Shannon ~ Zone+Année + (1 Année) + (1 Secteur) + (1 Point)	7	178,9562	1,8057

Indice de Shannon	Shannon ~ Année + (1 Année) + (1 Secteur) + (1 Point)	6	177,1505	0
	Shannon ~ Zone + (1 Année) + (1 Secteur) + (1 Point)	6	181,1330	3,9825
	Shannon ~ (1 Année) + (1 Secteur) + (1 Point)	5	179,3385	2,188

Tab. 3 : Ensemble des modèles mixtes étudiant l'effet du traitement forestier selon la variable Y, leurs degrés de liberté et valeurs d'AICc et de $\Delta AICc$, le modèle retenu pour chaque variable Y étant mis en évidence

De plus, les coefficients de la variable *Année* sont, dans les trois cas, de signe positif (voir *Tab. 4*). Ceci permet de prouver l'augmentation de l'abondance et de la richesse ponctuelles, et de l'indice de Shannon au cours de la période 2012-2019 dans la forêt du Bois Landry.

Modèle retenu	AICc	Coefficient	Erreur standard	t-value
Abondance ~ Année + (1 Année) + (1 Secteur) + (1 Point)	2753,478	0,8499	0,3243	2,621
Richesse ~ Année + (1 Année) + (1 Secteur) + (1 Point)	1900,799	0,17531	0,09418	1,862
Shannon ~ Année + (1 Année) + (1 Secteur) + (1 Point)	177,1505	0,022931	0,009673	2,371

Tab. 4 : Modèles retenus, valeurs d'AICc, coefficients, erreurs standard et t-value correspondantes

Effet de la structure de la végétation

Ni la zone, c'est-à-dire le type de traitement forestier, ni le secteur ne semblant avoir d'effet sensible sur les variables retenues pour caractériser le peuplement d'oiseaux, nous avons, dans un second temps, construit les modèles mixtes du second type, $Y \sim \text{strate_1} + \text{strate_2} + \dots + \text{strate_6} + \text{strate_7} + (1|\text{Point}) + (1|\text{Année})$.

Ces modèles nous ont permis de montrer que le recouvrement d'une strate en particulier a un effet sur les différentes variables Y.

En effet, quelle que soit la variable étudiée, le même modèle a été retenu : $Y \sim \text{strate_6} + (1|\text{Point}) + (1|\text{Année})$.

Variable Y	Modèles	Degrés de liberté	AICc	ΔAICc
Abondance ponctuelle moyenne	Abondance ~ strate_1 + strate_2 + ... + strate_6 + strate_7 + (1 Point) + (1 Année)	11	2746,826	11,262
	Abondance ~ strate_6 + (1 Point) + (1 Année)	5	2735,564	0
	Abondance ~ (1 Point) + (1 Année)	4	2743,731	8,167
Richesse ponctuelle moyenne	Richesse ~ strate_1 + strate_2 + ... + strate_6 + strate_7 + (1 Point) + (1 Année)	11	1897,266	9,25
	Richesse ~ strate_6 + (1 Point) + (1 Année)	5	1888,016	0
	Richesse ~ (1 Point) + (1 Année)	4	1891,047	3,031
Indice de Shannon	Shannon ~ strate_1 + strate_2 + ... + strate_6 + strate_7 + (1 Point) + (1 Année)	11	182,0188	8,6194
	Shannon ~ strate_6 + (1 Point) + (1 Année)	5	173,3994	0
	Shannon ~ (1 Point) + (1 Année)	4	176,95	3,5506

Tab. 5 : Modèles mixtes complets, retenus et nuls étudiant l'effet de la structure de la végétation selon la variable Y, leurs degrés de liberté et valeurs d'AICc et de ΔAICc , le modèle retenu pour chaque variable Y étant mis en évidence

De plus, le coefficient de l'effet *strate_6* est toujours de signe négatif (voir *Tab. 6*), prouvant l'effet négatif d'une augmentation du recouvrement de la strate 6 sur l'abondance et la richesse ponctuelles, ainsi que sur l'indice de Shannon.

Modèle retenu	AICc	Coefficient	Erreur standard	t-value
Abondance ~ strate_6 + (1 Point) + (1 Année)	2735,564	-0,07557	0,02343	-3,225
Richesse ~ strate_6 + (1 Point) + (1 Année)	1888,016	-0,018357	0,008085	-2,271
Shannon ~ strate_6 + (1 Point) + (1 Année)	173,3994	-0,0022248	0,0009325	-2,386

Tab. 6 : Modèles retenus, valeur d'AICc, coefficient, erreur standard et t-value correspondantes

Structure de la végétation et distribution des espèces

La construction des modèles mixtes précédents étudiant l'effet de la structure de la végétation a semblé indiquer un lien entre les recouvrements des différentes strates. En effet, le résumé du modèle complet sur la richesse ponctuelle moyenne, par exemple, avec la commande *summary()* permet d'obtenir un aperçu de la corrélation entre variables indépendantes, soit entre les recouvrements des strates 1 à 7 (voir *Annexes*) pour cette variable, et montre des différences de signe entre certains groupes de strates ainsi que des différences notables de valeurs.

Le calcul du coefficient de corrélation de Pearson sur chaque paire de strates a permis de généraliser ces corrélations (voir *Tab. 7*).

	strate_1	strate_2	strate_3	strate_4	strate_5	strate_6	strate_7
strate_1	1						
strate_2	0,75	1					
strate_3	0,55	0,77	1				
strate_4	0,33	0,5	0,7	1			
strate_5	0,11	0,22	0,31	0,6	1		
strate_6	-0,22	-0,16	-0,07	0,21	0,62	1	
strate_7	-0,33	-0,36	-0,3	-0,14	0,15	0,53	1

***Tab. 7 :** Ensemble des coefficients de corrélation de Pearson entre les différentes strates prises deux-à-deux*

Il apparaît ainsi que les strates sont toutes corrélées de proche en proche, les strates 1, 2 et 3 étant fortement corrélées entre elles, la strate 4 l'étant avec la strate 3 mais un peu moins avec la strate 5, tandis que les strates supérieures, également corrélées de proche en proche, le sont avec des coefficients un peu plus faibles.

Enfin, l'ACC réalisée ensuite a permis de caractériser ces groupes, puisqu'elle ne prend pas seulement en compte le recouvrement des strates, mais également les espèces d'oiseaux les plus abondantes dans chaque type de stratification (voir *Fig. 6*), et permet donc également d'expliquer la distribution des espèces selon les recouvrements des strates.

L'ensemble des variables, qu'il s'agisse de la végétation ou des espèces, est très bien expliqué par l'axe 1, représentant 65% de la variance, alors que l'axe 2 ne représente que 11%.

Ainsi, le long de l'axe 1, les strates se séparent en deux groupes. D'un côté, les strates 1, 2 et 3, comme dit auparavant, qui sont très bien expliquées par cet axe, avec des scores avoisinant 80%, ainsi que les strates 4 et 5, moins bien expliquées par cet axe (scores de 62% et 36%). De l'autre côté, les strates 6 et 7 sont moins bien expliquées

que les trois premières strates, mais bien opposées à elles ainsi qu'aux strates 4 et 5 par leurs coordonnées négatives.

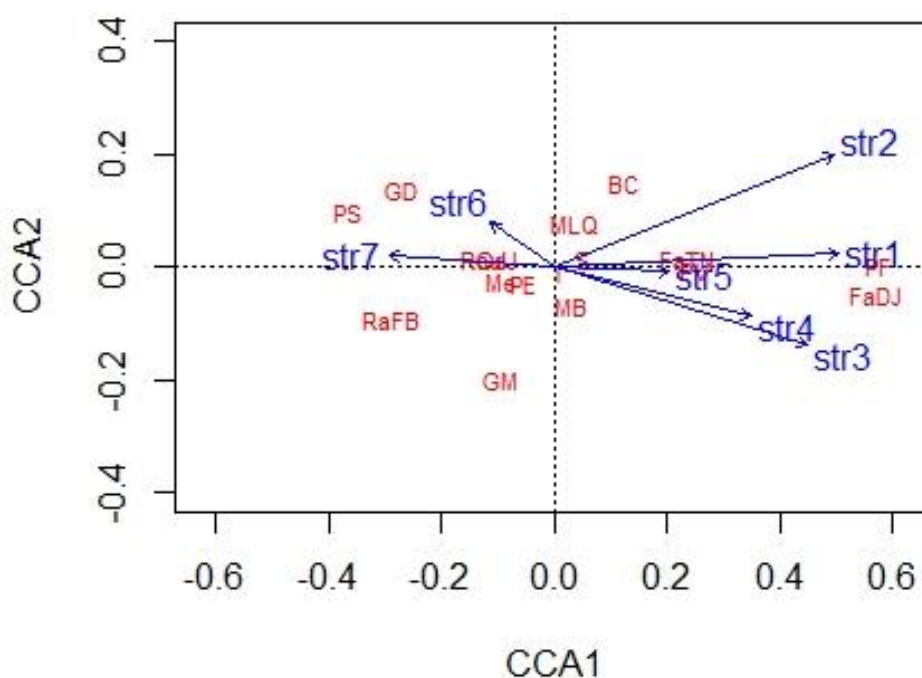


Fig. 6 : Cercle de corrélation de l'ACC sur les recouvrements des strates de végétation et les espèces d'oiseaux les plus abondantes (voir Tab. 2) sur l'ensemble des relevés

L'axe 1 représentant le maximum de variance au travers de la répartition des groupes de strates, les espèces, distribuées le long de cet axe, apparaissent dépendantes des recouvrements des strates.

Ainsi, les groupes de strates s'opposent notamment en terme de présence d'espèces : le premier groupe, à droite, est très bien représenté par la fauvette des jardins (FaDJ) et le pouillot fitis (PF), tandis que le deuxième groupe, à gauche, est bien expliqué par le rougequeue à front blanc (RaFB) et le pouillot siffleur (PS). D'autres espèces telles que la grive musicienne (GM), le rougegorge (Rou), la mésange bleue (MB) ou encore le troglodyte mignon (T), sont positionnées vers le centre du cercle de corrélation.

Discussion

Les analyses réalisées ont permis, dans un premier temps, de mettre en évidence une évolution du peuplement d'oiseaux durant les années 2012 à 2019. Ceci est montré par une augmentation de l'abondance, de la richesse et de la diversité du peuplement. Ces résultats sont très positifs, surtout au vu de ce qui apparaît au niveau national, où les populations d'oiseaux forestiers sont en déclin d'environ 3% entre 1989 et 2017, d'après le programme STOC porté par le Muséum National d'histoire naturelle (ARB).

Cependant, du fait de l'absence d'un effet significatif du traitement forestier, on ne peut pas dire qu'une des deux zones ait été favorisée par un type de gestion forestière particulier. Un tel effet est peut-être plus difficile à évaluer, étant donné les spécificités de chaque secteur échantillonné, et des variations ponctuelles existantes.

Dans un second temps, les analyses réalisées ont permis de mettre en évidence l'effet négatif d'un fort recouvrement de la strate 6, bien que cette strate arbustive supérieure ait pour rôle principal de fournir ressources et gîtes aux oiseaux (voir *Tab. 1*). Une diminution du recouvrement de cette strate devrait provoquer une diminution de l'abondance et de la richesse de l'avifaune, ce qui n'est pas le cas.

En effet, le calcul du coefficient de corrélation de Pearson et l'ACC ont permis de mettre en évidence des corrélations entre certaines strates. De plus, l'ACC a également permis de mettre en évidence l'écologie des espèces d'oiseaux les plus abondantes. Les espèces d'optimum forestier, telles que le rougequeue à front blanc et le pouillot siffleur, sont expliquées par les recouvrements des strates 6 et 7. Les espèces des stades intermédiaires des successions végétales, telles que la fauvette de jardins et le pouillot fitis, sont expliquées par les recouvrements des strates 1 à 3. Les espèces ubiquistes forestières, quant à elles, se retrouvent au centre du cercle de corrélation de l'ACC.

Ainsi, l'effet globalement négatif du recouvrement de la strate 6 pourrait cependant favoriser la présence d'espèces à optimum forestier, qui contribuent à la richesse et

la diversité globales de la forêt. De même, les espèces spécialistes des stades intermédiaires des successions végétales, plus présentes dans l'autre groupe de strates, contribuent à cette richesse et cette diversité globales.

Le but étant d'améliorer globalement l'état de la forêt, on peut le considérer comme atteint étant donné l'augmentation de l'abondance et de la richesse ponctuelles ainsi que de l'indice de Shannon au cours des années 2012 à 2019. Ceci montre la variété d'habitats présents, très bon indicateur de la santé d'un écosystème forestier, parce qu'elle permet aux différentes espèces de trouver leur biotope de prédilection.

Le sujet se limitant ici aux oiseaux, il serait également intéressant de prendre en considération leurs prédateurs et autres espèces jouant un rôle dans le réseau trophique en question afin d'étudier leur évolution. D'autres groupes d'espèces pourraient aussi être suivis, comme les insectes ou les chiroptères, afin de déterminer si certains sont plus sensibles que les oiseaux au type de traitement forestier. Par ailleurs, le fait qu'un effet du type de traitement sur le peuplement d'oiseaux n'a pas été mis en évidence peut être dû au manque de recul depuis la modification de la gestion forestière. En effet, la reconversion d'un traitement régulier en traitement jardiné (irrégulier) se fait progressivement et ne devient effective qu'après un temps plus ou moins long. Si possible, l'étude gagnerait donc à être poursuivie et élargie à d'autres groupes d'espèces. De cette manière, on pourrait conclure à un effet direct ou indirect du type de traitement forestier, et ainsi faire le lien avec les résultats trouvés ici. En effet, la gestion forestière impacte toutes les espèces forestières.

Enfin, et bien qu'elle n'ait pas permis de montrer de lien entre type de traitement forestier et plusieurs indicateurs sur les oiseaux, cette étude suggère un probable impact anthropique sur la biodiversité, au travers du plus ou moins fort développement des différentes strates de végétation, développement directement lié à la gestion de la forêt. Il est donc urgent de continuer de telles études, afin de protéger ces espaces naturels de la bonne manière, pour empêcher leur disparition et ainsi préserver l'équilibre des écosystèmes.

Bibliographie

Agence Française pour la Biodiversité. Evolution des oiseaux communs : la disparition s'accélère. <https://www.afbiodiversite.fr/actualites/evolution-des-populations-doiseaux-communs-la-disparition-sacceleere>

Bradbury, R. B., Hill, R. A., Mason, D. C., Hinsley, S. A., Wilson, J. D., Balzter, H., ... & Bellamy, P. E. (2005). Modelling relationships between birds and vegetation structure using airborne LiDAR data: a review with case studies from agricultural and woodland environments. *Ibis*, 147(3), 443-452.

Bryant, D. M. (1978). Environmental influences on growth and survival of nestling House Martins *Delichon urbica*. *Ibis*, 120(3), 271-283.

Centre National de la Propriété Forestière (CNPF) – Centre Régional de la Propriété Forestière (CRPF) Île-de-France Centre-Val de Loire, « Biodiversité, gibier et gestion multi-fonctionnelle ». <https://ifc.cnpf.fr/n/biodiversite-gibier-et-gestion-multi-fonctionnelle/n:1915>

Crick, H. Q. (2004). The impact of climate change on birds. *Ibis*, 146, 48-56.

German Forestry Council (Forestry in Germany), « The history of German forestry », *Discover our forests*. <https://www.forstwirtschaft-in-deutschland.de/index.php?id=59&L=1>

Griffin, D. R. (1971). The importance of atmospheric attenuation for the echolocation of bats (Chiroptera). *Animal Behaviour*, 19(1), 55-61.

Haywood, S., & Perrins, C. M. (1992). Is clutch size in birds affected by environmental conditions during growth?. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 249(1325), 195-197.

International Union for Conservation of Nature (IUCN), « Forests and climate change », *Issues Briefs*, Novembre 2017.

Mccarty, J. P., & Winkler, D. W. (1999). Relative importance off environmental variables in determining the growth off nestling Tree Swallows *Tachycineta bicolor*. *Ibis*, 141(2), 286-296.

Mello, M. A. R. (2009). Temporal variation in the organization of a Neotropical assemblage of leaf-nosed bats (Chiroptera: Phyllostomidae). *Acta Oecologica*, 35(2), 280-286.

Toochi, E. C. (2018). Carbon sequestration: how much can forestry sequester CO2. *Forestry Research and Engineering: International Journal*, 2(3), 148-150.

Tremmel, M., & Müller, C. (2013). Insect personality depends on environmental conditions. *Behavioral Ecology*, 24(2), 386-392.

Annexes

	(Intr)	strate_1	strate_2	strate_3	strate_4	strate_5	strate_6
strate_1	-0,225						
strate_2	-0,079	-0,557					
strate_3	-0,065	-0,005	-0,504				
strate_4	-0,054	0,057	0,045	-0,536			
strate_5	-0,012	-0,052	-0,067	0,091	-0,450		
strate_6	-0,095	0,101	0,005	0,042	0,013	-0,570	
strate_7	-0,634	0,012	0,077	0,034	0,060	0,084	-0,463

Annexe 1 : Ensemble des coefficients de corrélation entre chaque strate à partir du modèle mixte complet sur la richesse ponctuelle moyenne