

Écologie de la nidification du Moineau friquet, *Passer montanus* : influence des variables environnementales en Ardenne et en Lorraine.

Auteur : De Smet, Emma

Promoteur(s) : Dufrêne, Marc; 28495

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master en bioingénieur : gestion des forêts et des espaces naturels, à finalité spécialisée

Année académique : 2024-2025

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/24012>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative" (BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

ECOLOGIE DE LA NIDIFICATION DU MOINEAU FRIQUET, *PASSER MONTANUS* : INFLUENCE DES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES EN ARDENNE ET EN LORRAINE

EMMA DE SMET

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRÉSENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER BIOINGENIEUR EN MASTER EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS**

ANNEE ACADEMIQUE 2024-2025

CO-PROMOTEURS : PR. MARC DUFRENE & DR. ROBIN GAILLY

"Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique¹ de Gembloux Agro-Bio Tech."

"Le présent document n'engage que son auteur."

¹ Dans ce cas, l'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre du personnel(s) enseignant de GxABT.

ECOLOGIE DE LA NIDIFICATION DU MOINEAU FRIQUET, *PASSER MONTANUS* : INFLUENCE DES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES EN ARDENNE ET EN LORRAINE

EMMA DE SMET

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRÉSENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER BIOINGENIEUR EN MASTER EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS**

ANNEE ACADEMIQUE 2024-2025

CO-PROMOTEURS : PR. MARC DUFRENE & DR. ROBIN GAILLY

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mes promoteurs, Marc Dufrêne et Robin Gailly, sans qui la réalisation de ce travail n'aurait pas été possible. Merci au Pr. Dufrêne qui m'a permis de cadrer correctement ce TFE dès le début. Un immense merci à Robin pour sa réactivité, la qualité de son encadrement et ses précieux conseils tout au long du processus, de la mise en place du protocole à la relecture finale.

Je tiens également à remercier Anne pour ses nombreuses relectures.

Merci à Thomas Duchesne et Yves Brostaux pour leurs précieux conseils pour la partie statistique.

Merci à Léopold et Axel qui ont égayé les sorties sur le terrain et surtout sans qui l'acquisition des données aurait été interminable. Merci aussi à Léopold de m'avoir aidée à cartographier les haies.

Merci à tous mes proches pour leur soutien indéfectible et leurs remarques avisées. Merci à Séverine de m'avoir permis de loger en Gaume et merci pour ces petites attentions qui ont rendu le séjour plus agréable.

Je tiens également à remercier mes amis gembloutois pour leur soutien moral durant ce long périple. Merci d'avoir égayé mes journées.

Je ne peux évidemment pas terminer ces remerciements sans mentionner Charlotte pour son soutien sans faille du premier au dernier jour. Merci de m'avoir épaulée dans les moments les plus difficiles.

Résumé

Le Moineau friquet, *Passer montanus*, autrefois commun en Wallonie, connaît depuis plusieurs décennies un déclin alarmant. De ce fait, l'espèce a été sélectionnée pour bénéficier du projet Life B4B dans lequel s'inscrit ce travail afin d'identifier les variables environnementales expliquant la présence de l'espèce dans les derniers bastions de Wallonie, en Ardenne et en Lorraine. L'objectif sera également de caractériser les sites de nidification pour orienter efficacement les futures actions de conservation.

Un modèle MaxEnt a permis d'identifier les zones les plus favorables sur base de données d'occupation du sol, d'altitude et de coordonnées spatiales. Ensuite, des inventaires de terrain ont été réalisés pour récolter des données fines sur les habitats et les sites de nidification. Ces données ont ensuite été analysées à deux échelles (maille de 1 km² et buffer de 250 m) via des modèles linéaires généralisés.

Les résultats mettent en évidence des stratégies d'occupation contrastées entre l'Ardenne et la Lorraine. En Ardenne, le Moineau friquet semble dépendre fortement du bâti agricole et des poulaillers pour subvenir à ses besoins alimentaires et il préfère nichier dans des cavités artificielles en périphérie des villages. À l'inverse, en Lorraine, l'espèce fréquente principalement les prairies ouvertes, où les abris à bétail isolés constituent les principaux sites de nidification.

Les recommandations issues de ce travail incluent la préservation des structures existantes (principalement des abris à bétail en Lorraine, mur à cavités et structure agricole extensive en Ardenne), la restauration de l'hétérogénéité paysagère et en complément l'installation de nichoirs en béton de bois. Leur mise en œuvre doit être rapide et localisée en Ardenne et en Lorraine, où des populations viables persistent encore. Finalement, il sera impératif d'évaluer l'efficacité de ces mesures dans le temps pour espérer enrayer le déclin du Moineau friquet en Wallonie. Idéalement, il faudrait s'associer à des structures transfrontalières pour mettre en œuvre des actions à une échelle supranationale.

Summary

The tree sparrow, *Passer montanus*, once common in Wallonia, has been experiencing an alarming decline for several decades. As a result, the species has been selected to benefit from the Life B4B project, of which this work is a part, in order to identify the environmental variables explaining the presence of the species in its last strongholds in Wallonia, the Ardennes and Lorraine. The aim will also be to characterise nesting sites in order to effectively guide future conservation actions.

A MaxEnt model was used to identify the most favourable areas based on land use, altitude and spatial coordinates data. Field surveys were then carried out to collect detailed data on habitats and nesting sites. These data were then analysed at two scales (1 km² grid and 250 m buffer) using generalised linear models.

The results highlight contrasting occupation strategies between the Ardennes and Lorraine. In the Ardennes, the tree sparrow seems to depend heavily on farm buildings and chicken coops for its food supply and prefers to nest in artificial cavities on the outskirts of villages. Conversely, in Lorraine, the species mainly frequents open meadows, where isolated livestock shelters are the main nesting sites.

The recommendations resulting from this work include the preservation of existing structures (mainly livestock shelters in Lorraine, cavity walls and extensive agricultural structures in the Ardennes), the restoration of landscape heterogeneity and, in addition, the installation of wood concrete nesting boxes. These measures must be implemented quickly and locally in the Ardennes and Lorraine, where viable populations still persist. Finally, it will be essential to evaluate the effectiveness of these measures over time in order to hope to halt the decline of the tree sparrow in Wallonia. Ideally, it would be necessary to join forces with cross-border structures to implement actions on a supranational scale.

Table des matières

1. Introduction	1
2. Etat de l'art	3
2.1 Qu'est-ce que le Life B4B ?	3
2.2 Description du Moineau friquet	4
2.2.1 Statut	4
2.2.2 Ecologie générale	4
2.2.2.1 Caractéristiques physiques	4
2.2.2.2 Comportement sociale et territorialité	4
2.2.2.3 Cycle de vie et reproduction	5
2.2.2.4 Hybridation	6
2.2.2.5 Habitat et préférences environnementales	6
2.2.2.6 Nidification	7
2.2.2.7 Régime alimentaire et stratégies d'alimentation	8
2.2.2.8 Prédation	8
2.3 Situation et évolution des populations en Wallonie	10
2.4 Situation et évolution des populations en Europe	13
2.5 Menaces	14
2.5.1 Changements agricoles et intensification	14
2.5.2 Urbanisation et modifications de l'habitat	14
2.5.3 Autres menaces	15
3. Objectif	16
4. Matériel et méthodes	18
4.1 Choix des régions	18
4.2. Identification des zones de présence potentielle du Moineau friquet	19
4.2.1. Variables et données utilisées	19
4.2.2. Maxent	21
4.3 Plan d'échantillonnage	23
4.4 Inventaire sur le terrain	25
4.4.1 Informations générales	25
4.4.2 Méthodologie d'acquisition des paramètres environnementaux et de nidification	26

4.5 Analyses des données	27
5. Résultats	29
5.1 MaxEnt	29
5.1.1 Modèle MaxEnt	31
5.1.2 Résultat MaxEnt	31
5.2 Résultats des inventaires de terrain	32
5.2.1 Résultats à l'échelle paysagère et locale	33
5.2.1.1 En Ardenne	33
5.2.1.2 En Lorraine	33
5.2.2 Résultat à l'échelle microscopique	36
5.2.2.1 En Ardenne	36
5.2.2.2 En Lorraine	38
6. Discussion	40
6.1 Interprétation des résultats MaxEnt	40
6.2 Interprétation des résultats à l'échelle locale et microscopique.....	41
6.2.1 Ardenne	41
6.2.2 Lorraine	44
6.2.3 Comparaison entre les deux régions	44
7. Proposition d'un plan d'action	47
7.1 Maintenir les structures actuelles	47
7.2 Gestion et amélioration de l'habitat	48
7.2.1 Structure paysagère à maintenir et restaurer	48
7.2.2 Gestion agricole et disponibilité alimentaire.....	48
7.2.3 Installation de nichoirs	49
7.3 Suivi scientifique.....	50
8. Limites et perspectives de l'études	51
9. Conclusion.....	53
10. Contributions personnelles	54
11. Bibliographie	55
12. Annexes.....	61

Liste des figures

Figure 1 : Moineau friquet adulte, <i>Passer montanus</i> photographié à Zele - Mespeleer. © Carlito Vanroose, 2025. Licence CC BY-NC-ND.	4
Figure 2 : Moineau friquet juvénile, <i>Passer montanus</i> photographié à Sovet. © Lary Verlaine, 2025. Licence CC BY-NC-ND.	4
Figure 3 : Évolution de l'abondance relative du Moineau friquet (<i>Passer montanus</i>) en Wallonie entre 1990 et 2024. Données issues du programme SOCWAL (Suivi des Oiseaux Communs en Wallonie). Déclin moyen estimé : -5,81 % par an. © Aves-Natagora, 2021.	11
Figure 4 : Indice global des espèces de milieux agricole, aussi appelé FBI pour Farmland Bird Index. Cet indice est utilisé notamment par l'Institut de Statistique Européen pour évaluer l'efficacité des mesures agri-environnementales en Europe. © Aves-Natagora,	12
Figure 5 : Illustration des différentes échelles spatiales de 3 mailles d'échantillonnages en Ardenne.	17
Figure 6 : Mailles IGN de 1km ² où des Moineaux friquets ont été signalés sur la plateforme Observations.be sur la période 2020-2024.	18
Figure 7 : Cartographie de la modélisation MaxEnt pour le Moineau friquet en Wallonie avec l'agrandissement d'un bloc. Les zones en vert et bleu représentent respectivement les blocs et les mailles à inventorier en Ardenne et en Lorraine.	24
Figure 8 : Photo d'un mur à cavités fortes.	26
Figure 9 : Photo d'un abris à bétail en pierre et tuile.	26
Figure 11 : Photo d'un abris à bétail en bois et tôle	26
Figure 10 : Photo d'un abris à bétail en tôle	26
Figure 12 : Répartition de la localisation des nids en Ardenne	36
Figure 13 : Répartition des landcovers autour des nids localisés en Ardenne	37
Figure 14 : Répartition de la localisation des nids en Lorraine	38
Figure 15 : Répartition des landcovers autour des nids localisés en Lorraine	39
Figure 16 : Graphique en radar des orientations des nids les deux régions confondues	39

Liste des tableaux

Tableau 1 : Définition des différents landcovers utilisés pour la modélisation MaxEnt.	19
Tableau 2 : Performances des modèles MaxEnt en Ardenne et en Lorraine selon différentes combinaisons de variables.	31
Tableau 3 : Influence et contribution des différentes variables du modèle MaxEnt pour l'Ardenne et la Lorraine. L'influence est positive (+), négative (-) ou complexe (~)	31
Tableau 4 : Résultats synthétisés du nombre de mailles inventoriées et favorables, ainsi que les observations de Moineau friquet en Ardenne et en Lorraine	32
Tableau 5 : Résultats des modèles linéaires généralisés évaluant l'influence de la présence ou du nombre d'élément paysager la probabilité de présence du Moineau friquet, à l'échelle des mailles de 1 km ² , en Ardenne et en Lorraine. Les résultats sont présentés sous forme de valeur p, odds ratio (OR) et intervalle de confiance à 95 % (IC 95) pour chaque variable. Les niveaux de significativité sont indiqués par un code couleur : jaune	

clair (significatif ($p < 0,05$)), jaune (hautement significatif ($0,01 \leq p < 0,05$)) et jaune foncé (très hautement significatif ($p < 0,001$)).....	34
Tableau 6 : Résultats des modèles linéaires généralisés évaluant l'influence de la présence ou du nombre d'élément paysager la probabilité de présence du Moineau friquet, à l'échelle des buffers de 250m, en Ardenne et en Lorraine. Les résultats sont présentés sous forme de valeur p , odds ratio (OR) et intervalle de confiance à 95 % (IC 95) pour chaque variable. Les niveaux de significativité sont indiqués par un code couleur : jaune clair (significatif ($p < 0,05$)), jaune (hautement significatif ($0,01 \leq p < 0,05$)) et jaune foncé (très hautement significatif ($p < 0,001$)).....	35

Liste des annexes

Annexe 1 : Performances des modèles MaxEnt en Ardenne et en Lorraine selon différentes combinaisons de variables.....	61
Annexe 2 :Influence et contribution des différentes variables du modèle MaxEnt pour en Ardenne et en Lorraine.....	61
Annexe 3 : Mailles échantillonnées en Ardenne.....	62
Annexe 4 : Mailles échantillonnées en Lorraine.....	63
Annexe 5 : Encodage des observations de Moineaux friquets en Ardenne.....	65
Annexe 6 : Encodage des observations de Moineaux friquets en Lorraine.....	66
Annexe 7 : Nombre et pourcentage des différents types d'abris à bétail en Ardenne et en Lorraine.....	67

1. Introduction

De nombreuses espèces animales sélectionnent leur habitat selon une hiérarchie d'échelles spatiales imbriquées, allant de l'aire de répartition globale à la structure fine du site de nidification. Chez les oiseaux, cette approche multi-niveau permet de mieux comprendre les mécanismes de sélection de l'habitat et les réponses comportementales aux variations de disponibilité ou de qualité des ressources. Ainsi, un oiseau peut choisir un territoire à l'échelle du paysage (mosaïque d'habitats agricoles, villages, prairies), tout en sélectionnant au sein de celui-ci des micro-habitats favorables, comme des cavités de nidification, des haies ou des structures agricoles spécifiques (Johnson, 1980 ; Wiens, 1989 ; Mayor et al., 2009). Cette approche est d'autant plus pertinente pour les espèces agricoles déclinantes, dont les exigences écologiques se traduisent par des besoins précis à plusieurs niveaux spatiaux.

C'est dans cette perspective spatiale intégrée qu'il convient d'aborder la situation du Moineau friquet (*Passer montanus*) qui était jadis une espèce aussi répandue que le Moineau domestique (*Passer domesticus*) en Belgique. Dès les années 70, les premiers signes de déclin sont observés localement, et se confirment dans la décennie suivante (Jacob et al., 2010). Il est désormais classé dans la catégorie "en danger" dans la liste rouge des oiseaux nicheurs de Wallonie (Paquet et al., 2021). Au cours de la période 1990-2024, le programme de Surveillance des oiseaux nicheurs communs par relevés ponctuels (SOCWAL) a mis en évidence pour cette espèce une tendance moyenne annuelle de -6,13%, le déclin s'accélérant, avec une tendance de -10,5% par an en moyenne entre 2013 et 2024 (Derouaux A., 2024). Malheureusement, ce déclin essuyé par la Belgique touche aussi d'autres pays limitrophes comme la France, l'Allemagne et l'Angleterre. Par conséquent, cette chute de populations s'étend bien au-delà des frontières belges (c.f 2.4 Situation et évolution des populations en Europe)

Dans ce contexte préoccupant, des initiatives à l'échelle européenne ont été mises en place pour soutenir la biodiversité, notamment le programme LIFE, qui permet entre autres de financer des actions en faveur de l'environnement. Plus précisément, cette étude fait suite à la mise en place du projet LIFE Belgium for Biodiversity (LIFE B4B), une initiative nationale intégrant 14 partenaires différents, avec pour objectif de restaurer et de conserver la biodiversité en Belgique.

Natagora fait partie des 14 partenaires du projet, avec pour mission principale la rédaction de 14 plans d'action ciblés, couvrant neuf espèces d'oiseaux, trois espèces de chauves-souris, un amphibiens et un reptile. Au vu du déclin marqué et continu du Moineau friquet, l'espèce a été sélectionnée pour bénéficier de ce dernier. Ainsi, les connaissances produites dans le cadre de cette étude viendront appuyer l'élaboration du plan d'action dédié au Moineau friquet. La mise en œuvre de celui-ci est prévue à partir de 2026 en collaboration avec Natagriwal.

Concrètement, il s'agit ici d'identifier les variables environnementales et paysagères à différentes échelles spatiales pouvant expliquer la présence ou l'absence du Moineau friquet dans les territoires étudiés, et d'examiner les caractéristiques des sites de nidification afin de guider les futures actions.

Comme beaucoup d'autres espèces d'oiseaux, le Moineau friquet est, vraisemblablement, la victime silencieuse de la transformation de nos paysages ruraux caractérisée par une raréfaction des sites de nidification et des ressources alimentaires. Pour autant, les raisons précises de ce déclin restent mal comprises et son déclin fulgurant comparativement à d'autres espèces agricoles demeure inexpliqué (Jacob et al., 2010). Il figure parmi les espèces agricoles les plus touchées avec le Pipit farlouse (*Anthus pratensis*), la Perdrix grise (*Perdix perdix*), la Tourterelle des bois (*Streptopelia turtur*) et le Bruant proyer (*Miliaria calandra*) (Derouaux., 2021), avec toutefois comme particularité propre qu'il a jadis été une espèce très répandue et abondante.

Par conséquent, l'objectif principal de ce travail est d'identifier les variables environnementales et paysagères influençant la présence du Moineau friquet (*Passer montanus*) en Wallonie, et de caractériser les sites de nidification utilisés actuellement par l'espèce dans deux écorégions : l'Ardenne et la Lorraine.

2. Etat de l'art

2.1 Qu'est-ce que le Life B4B ?

Le programme LIFE constitue l'instrument financier de l'Union européenne dédié exclusivement à l'environnement et à l'action climatique. Créé en 1992, ce programme a pour objectif principal de soutenir la mise en œuvre des politiques environnementales et climatiques de l'UE, en finançant des projets concrets de protection de la nature, de restauration des écosystèmes, d'atténuation du changement climatique ou encore de transition vers une économie circulaire. Le programme LIFE joue un rôle de catalyseur en finançant des actions concrètes de terrain, qu'elles soient portées à l'échelle locale, régionale ou nationale.

Dans ce contexte, le projet LIFE Belgium for Biodiversity est une réelle opportunité de restaurer la nature en Belgique via de nombreux axes de travail. Ce projet se concentre sur 4 piliers, basés sur la stratégie de l'Union Européenne en faveur de la biodiversité à l'horizon 2030 (LIFE Belgium for Biodiversity, s.d.). Tout d'abord, il a pour but de protéger et restaurer la biodiversité en améliorant l'intégrité des zones protégées tout en améliorant l'état de conservation des espèces et des habitats. Ensuite, il vise à réduire l'impact des pressions environnementales sur la biodiversité en Belgique, comme la pollution lumineuse. Finalement, le dernier objectif sera de favoriser le changement systémique pour renforcer la collaboration entre les différentes parties prenantes afin de partager les connaissances et de promouvoir le réseau Natura 2000.

Comme le LIFE BNIP avant lui, il s'agit d'un projet stratégique, c'est-à-dire qu'il vise de manière globale à faciliter les processus qui concourent à l'atteinte des objectifs en matière de nature en Belgique. Il contribue ainsi à la mise en œuvre de la directive européenne "Habitats", de la directive "Oiseaux", de la stratégie européenne pour la biodiversité à l'horizon 2030 et des nouveaux cadres juridiques prévus par l'UE.

Le projet mobilise une centaine de professionnels de la conservation de la nature à travers tout le pays et compte au total 14 partenaires différents, dont fait partie Natagora.

Les missions de Natagora sont bien définies et visent notamment la rédaction de 14 plans d'action espèces où se retrouvent 9 espèces d'oiseaux (la Sarcelle d'hiver (*Anas crecca*), le Râle des genêts (*Crex crex*), la Tourterelle des bois (*Streptopelia turtur*), la Chouette de Tengmalm (*Aegolius funereus*), le Tarier des prés (*Saxicola rubetra*), la Pie-grièche grise (*Lanius excubitor*), le Moineau friquet (*Passer montanus*), la Bécassine sourde (*Lymnocryptes minimus*) et la Bécassine des marais (*Gallinago gallinago*)); 3 espèces de chauves-souris (le Murin à oreilles échancrées (*Myotis emarginatus*), le Murin d'Alcathoe (*Myotis alcathoe*) et le Murin de Brandt (*Myotis brandtii*)); un amphibien (la Rainette verte (*Hyla arborea*)) et un reptile (la Vipère Périade (*Vipera berus*)).

La réalisation de ce travail de fin d'études s'inscrit dans le projet LIFE B4B, avec pour objectif d'approfondir la compréhension de l'écologie du Moineau friquet en Ardenne et en Lorraine.

2.2 Description du Moineau friquet

2.2.1 Statut

Le Moineau friquet (*Passer montanus*) appartient à la famille des Passéridés, comprise dans l'ordre des passereaux au sein de la classe des oiseaux. On distingue 6 sous-espèces réparties sur plusieurs continents, la sous-espèce nominale (*Passer montanus montanus*), celle dont il est question dans ce TFE, est la plus répandue et s'étend de l'Asie à l'Europe (Barlow et al., 2020).

Le Moineau friquet bénéficie d'un statut de protection à la fois européen et national. À l'échelle de l'Union européenne, il est inscrit à l'annexe II de la Directive Oiseaux (2009/147/CE), ce qui impose aux États membres de garantir la protection des individus, de leurs œufs, de leurs nids et de leurs habitats de reproduction (Union européenne, 2009). Il figure également à l'annexe III de la Convention de Berne, qui engage les pays signataires à assurer la conservation des espèces de faune sauvage et de leurs milieux de vie (Conseil de l'Europe, 1979).

En Belgique, ces obligations ont été transposées dans les législations régionales, notamment via le Code wallon de l'environnement et la loi sur la conservation de la nature en Flandre et en Wallonie. Le Moineau friquet est donc une espèce strictement protégée sur l'ensemble du territoire national (Vlaamse Overheid, 2017; Service public de Wallonie, 2019).

2.2.2 Ecologie générale

2.2.2.1 Caractéristiques physiques



Figure 2 : Moineau friquet adulte, *Passer montanus* photographié à Zele - Mespeleer. © Carlito Vanroose, 2025. Licence CC BY-NC-ND.



Figure 1 : Moineau friquet juvénile, *Passer montanus* photographié à Sovet. © Lary Verlaine, 2025. Licence CC BY-NC-ND.

Brièvement, le Moineau friquet se distingue facilement du Moineau domestique (*Passer domesticus*) grâce à sa calotte brun-chocolat et à sa tache noire nette sur les joues blanches (Figure 1). Son dos est brun-jaunâtre strié de noir, ses ailes brunes portent deux barres blanches, et son dessous est beige clair sans bavette. Les juvéniles sont quant à eux plus ternes, avec des contrastes atténués et une tache noire moins marquée sur les joues (Figure 2).

2.2.2.2 Comportement sociale et territorialité

Tout d'abord, il faut savoir que le comportement social du Moineau friquet varie selon les saisons.

Durant la période de reproduction, s'étendant de mars à début juillet, l'espèce adopte un mode de vie monogame, chaque couple défendant activement les abords immédiats de sa cavité de nidification.

Ceci lui permet donc de s'établir en petites colonies pour autant que les cavités soient espacées d'au moins 5 cm (Barlow et al., 2020).

En dehors de cette phase, d'août à février, l'espèce adopte un comportement gréginaire, formant des volées parfois très importantes. Celles-ci regroupent généralement entre 15 et 20 individus, mais leur taille peut augmenter sensiblement en fonction des conditions, atteignant parfois de 150 à 200 individus (Géroudet P., 1998).

En Wallonie, il y a une dizaine d'années, des groupes hivernaux de plus de 250 moineaux friquets pouvaient encore être observés, principalement en recherche de nourriture. Aujourd'hui, ce type d'observation est devenu très rare. Dans la province du Luxembourg, seules une à deux observations de groupes importants sont recensées par an, et ceux-ci ne dépassent que très rarement les 150 individus (Observations.be, s.d.).

Après l'envol, les jeunes forment de petits groupes post-juvéniles, généralement confinés dans un rayon de 1 à 1,5 km autour de leur site natal, dans les champs et les haies (Barlow et al., 2020). Mais ils peuvent parfois parcourir jusqu'à 6,5km (Johnston, 2011).

Enfin, il est assez fréquent de rencontrer des groupes mixtes composés de Moineaux friquets et de Moineaux domestiques.

2.2.2.3 Cycle de vie et reproduction

Les couples se forment de septembre à novembre dès la première année de vie. L'espèce est généralement monogame et le couple perdure à vie, sauf en cas de décès de l'un des partenaires (Barlow et al., 2020). Puchala (2004) a cependant démontré que la polygynie pouvait subvenir fréquemment (Puchala P., 2004).

En Europe, la période de reproduction s'étale généralement de début avril à mi-août (Dolenec et al., 2011; LPO, s.d.; García-Navas et al., 2008; Wegrzynowicz A., 2017). L'intervalle entre l'envol des jeunes d'une couvée et l'initiation de la ponte d'œufs de la suivante est d'environ 1 mois. Généralement, l'espèce réalise 2 à 3 couvées par saison (Barlow et al., 2020). Mais il se peut que le nid soit abandonné à n'importe quel stade de la reproduction, la plupart du temps en réaction à de la prédation ou à un dérangement anthropique. Dans ce cas, une ponte de remplacement est généralement observée (Lee et al., 2023).

La taille des couvées varie généralement de 5 à 6 œufs (Géroudet P., 1998). Les tailles moyennes rapportées sont de $4,80 \pm 0,67$ œufs en Espagne (García-Navas et al., 2008), de 4,9 œufs en Croatie (Dolenec et al., 2011), et de $5,18 \pm 0,81$ œufs en Pologne (Wegrzynowicz A., 2017).

La taille des couvées ainsi que le taux d'échec de celles-ci sont influencés par le moment de la saison, ainsi les deuxièmes et troisièmes nichées sont souvent plus petites (Barlow et al., 2020) et cette dernière échoue plus fréquemment que les précédentes. Au final, 55,9% des œufs pondus donnent des jeunes à l'envol, ce qui équivaut en moyenne à 3 juvéniles par nichée (Johnston, 2011; Kerman & Ayas, 2016).

L'incubation débute après la ponte du dernier œuf et est assurée par les deux membres du couple, seule la femelle couve la nuit. Après 11 à 12 jours, l'éclosion de tous les œufs survient généralement en quelques heures, cependant les couvées plus importantes peuvent nécessiter 1 à 3 jours pour une éclosion complète (Barlow et al., 2020; Géroudet P., 1998).

Les oisillons atteignent la masse adulte d'environ 23g au 13ème jour et restent au nid encore 18 à 20 jours. Après l'envol, ils continuent d'être nourris par leurs parents durant 6 à 14 jours (Barlow et al., 2020).

2.2.2.4 Hybridation

Des cas d'hybridation entre le Moineau friquet, *Passer montanus* et le Moineau domestique, *Passer domesticus* ont déjà été rapportés notamment en Belgique mais ceux-ci restent occasionnels (Cramp & Perrins, 1994). Par exemple, dans nos contrées, lors de la création de l'Atlas des oiseaux nicheurs, plusieurs observations ont eu lieu en Ardenne durant la période 2005-2006. En outre, un couple mixte a été observé et des mâles hybrides se sont appariés à des femelles de Moineau domestique (Bonne L., 2009).

Les individus hybrides présentent des caractéristiques morphologiques intermédiaires à ceux des parents (Solberg & Ringsby, 1996). Bien que l'hybridation puisse exister et produire une descendance viable, les analyses ADN révèlent que les hybrides mâles F1 sont probablement partiellement stériles, limitant le transfert de gènes entre les populations (Solberg et al., 2006).

De tels cas peuvent témoigner d'une population en déclin du Moineau friquet, où la rareté des partenaires conspécifiques favorise l'hybridation (Bonne L., 2009). De plus, Solberberg et Ringsby (1996) suggèrent que l'hybridation implique probablement des individus inexpérimentés. Elle peut être facilitée aussi par la division spatiale de la population en petites sous-populations isolées.

De nos jours, chaque année, des cas d'hybridation entre les deux espèces sont rapportés et confirmés sur la plateforme d'encodage participative observation.be (Observations.be, s.d.).

2.2.2.5 Habitat et préférences environnementales

Le Moineau friquet occupe divers types de milieux mais reste généralement associé aux paysages agricoles. En Europe, il est présent tout au long de l'année et est rarement rencontré en altitude au-delà de 1500m (Barlow et al., 2020).

En Belgique, cette espèce est majoritairement aperçue dans les villages à l'aspect traditionnel où plusieurs types d'éléments paysagers s'entremêlent. En effet, elle préfère les zones rurales où friches, vergers, fermes, jardins et milieux bocagers se rencontrent (Jacob et al., 2010).

Comme beaucoup d'autres espèces, elle reste cependant à l'écart des zones agricoles intensément gérées pour privilégier les paysages présentant une belle diversité de milieux. Le Moineau friquet est d'ailleurs considéré comme un excellent indicateur de paysages riches et variés (Daskalova et al., 2018).

A contrario, il se tient à distance des milieux densément urbanisés (Ramos-Elvira et al., 2023).

Cependant, des études menées dans d'autres villes européennes montrent que le Moineau friquet peut s'adapter à certains environnements urbains sous certaines conditions spécifiques. Ainsi, en République Tchèque, l'espèce atteint 2,8 individus au 10 ha dans l'espace urbain, avec des pics de 10,3 individus/10 ha dans les jardins familiaux (Šálek et al., 2015). Et dans plusieurs villes polonaises comme Wrocław et Legnica, le Moineau friquet maintient des populations viables principalement dans les parcs urbains anciens de caractère semi-naturel (Tomiałojc L., 2012).

Toutefois, le succès urbain du friquet dépend d'un mélange équilibré entre espaces verts et bâtiments anciens, tout en évitant les surfaces artificielles (Šálek et al., 2015).

À nouveau, l'utilisation de l'habitat par les Moineaux friquets semble varier selon le moment de la période de reproduction, en fonction de la disponibilité des ressources alimentaires. Lors de la première couvée, les moineaux utilisent principalement des milieux pérennes tels que les buissons, haies et jardins, car les habitats annuels comme les champs de cultures offrent peu d'insectes à cette période, la colonisation de ces derniers depuis les bordures de champs ne faisant que commencer. En revanche, pendant les deuxièmes et troisièmes nichées, les moineaux se concentrent sur les champs de cultures annuelles, les friches et les prairies non fauchées car les densités d'insectes y sont les plus élevées. Les céréales ont généralement une forte infestation de pucerons après la première émergence des inflorescences, suivie par de fortes densités de prédateurs de pucerons comme les coccinelles et les syrphes (Grass et al., 2017).

2.2.2.6 Nidification

Le Moineau friquet est un nicheur cavernicole qui utilise des cavités naturelles, créées par d'autres espèces d'oiseaux ou d'origine anthropique (Lee et al., 2022; Lee et al., 2023). Historiquement, le friquet nichait principalement dans les cavités arboricoles, c'était d'ailleurs son habitat exclusif au XIXème siècle. C'est aussi de là que provient son nom anglais "Tree sparrow" (Daskalova et al., 2018; Jacob et al., 2010).

Aujourd'hui, ses sites de nidification sont plus variés mais incluent principalement des trous d'arbres, des vieux murs et des interstices présents dans les toitures des maisons. En outre, l'espèce fait tout de même preuve d'une remarquable adaptabilité lors de la sélection de ses sites de nidification, c'est pourquoi elle peut également nicher dans des nichoirs, des abris à bétail, des piquets de clôture et même tirer profit de nids construits par d'autres espèces (Jacob et al., 2010).

Les cavités idéales présentent une entrée d'un diamètre d'environ 30 mm, offrant une meilleure protection contre les prédateurs que des ouvertures plus larges (Juignet, 2018).

La sélection du site de nidification est observée du printemps à la fin de l'été. Les sites choisis sont situés à une hauteur minimale d'un mètre, le plus souvent entre 1 et 10 mètres au-dessus du sol.

Ensuite, la construction du nid au sein de la cavité prend environ 5 jours et est réalisée de manière égale par les deux adultes. Le nid forme une structure sphérique avec une entrée latérale. Il est composé d'herbes lâchement entrelacées, de tiges séchées, de paille et de radicelles entourant une coupe tapissée de matériaux plus doux tels que des plumes, fourrure, parties de fleurs, et parfois de matériaux artificiels (Barlow et al., 2020; García-Navas et al., 2008).

Les dimensions du nid varient selon la cavité : de 6,0 à 42,0 cm en hauteur et de 12,5 à 45,0 cm en largeur, avec un diamètre interne de 3,5 à 4,0 cm. Certains nids comportent aussi un tunnel d'entrée complet de 10,0 à 20,0 cm de longueur. Les matériaux peuvent être collectés jusqu'à 500 mètres autour du site de nidification. Les cavités dans les arbres et les nichoirs peuvent être réutilisés pendant plusieurs années, selon notamment la pression de compétition avec les Moineaux domestiques (Barlow et al., 2020).

La nidification est plutôt coloniale dans les habitats les plus favorables et isolée dans les habitats de moindre qualité (Cellier et al., 2018). La majorité des couples reproducteurs choisissent la nidification coloniale pour les premières nichées, mais cette préférence évolue vers la nidification solitaire au cours de la saison et des années suivantes (Sasvári & Hegyi, 1994).

Finalement, un comportement assez peu connu concerne la sélection de sites d'hivernage : le couple cherche des cavités de nidification potentielles en octobre-novembre, y apporte du matériel de nidification afin d'aménager la cavité et s'y abrite pendant l'hiver. Au printemps, il utilise soit le site sélectionné à l'automne, soit construit un nouveau nid ailleurs pour la reproduction (Barlow et al., 2020). Cette sélection précoce est positivement associée à la performance de nidification future (Pinowski et al., 2014).

2.2.2.7 Régime alimentaire et stratégies d'alimentation

Le Moineau friquet est granivore toute l'année avec une préférence pour les graminées sauvages et les Brassicacées, sans pour autant dédaigner les variétés cultivées. En effet, il apprécie les céréales agricoles comprenant le maïs, le blé, l'avoine et le seigle ainsi que les mélanges commerciaux de graines pour oiseaux vendus dans le commerce (le millet, le tournesol et le milo) (Barlow et al., 2020).

Il consomme également des graines d'aventices (indigènes et introduites) mais aussi des jeunes pousses en germination, les bourgeons et les fleurs des arbres fruitiers au printemps en Europe (Summers-Smith., 1995). Durant l'hiver, leur besoin énergétique quotidien estimé varie entre 7,6g et 9,9g de graines de céréales, ce qui équivaut à 45-60 minutes d'alimentation continue sur un site riche en nourriture pour satisfaire les besoins énergétiques (Mónus & Barta, 2016).

En période de reproduction, les jeunes moineaux friquets présentent une dépendance marquée aux invertébrés. Selon Folk et Pellantova (1985), jusqu'à 99% de leur alimentation peut être constituée d'arthropodes. Grass et al. (2017) rapportent de leur côté que les invertébrés représentent en moyenne 77% de l'alimentation des jeunes lors des deuxièmes et troisièmes couvées. Cette tendance est aussi confirmée par Barlow et al. (2020), dans leur synthèse pour *Birds of the World*, où ils indiquent que 70% du régime alimentaire des oisillons est composé d'arthropodes et que les 30% restants sont constitués de végétaux.

Les deux parents nourrissent les petits de manière à peu près égale, recueillant des éléments alimentaires de 10 à 300 m du nid. La participation du mâle diminue quelque peu vers la fin de la période de nidification parce qu'il se prépare à faire la cour à la femelle pour la prochaine couvée. Si un parent est perdu, l'adulte survivant est capable de nourrir seul la couvée en endossant le rôle des 2 parents (Barlow et al., 2020).

2.2.2.8 Prédatation

Les principaux prédateurs du Moineau friquet incluent à la fois des rapaces diurnes et des mammifères carnivores. Parmi les rapaces diurnes, l'Épervier d'Europe (*Accipiter nisus*) est un des prédateurs les plus fréquents, particulièrement lors des phases d'alimentation au sol. Du côté des mammifères, le chat domestique (*Felis catus*) représente une menace importante, notamment dans les zones habitées ou semi-urbaines, tandis que le rat (*Rattus spp.*) peut occasionnellement prédaire les œufs ou les oisillons directement dans les nids (Barlow et al., 2020).

Dans le cas de l'Épervier d'Europe, une spécialisation sur cette proie est parfois observée, comme par exemple en milieu urbain, en Russie, où le Moineau friquet représentait 41% des proies de ce dernier pendant la période de reproduction et 22% en hiver, dépassant même les Moineaux domestiques plus nombreux (Baranovskii & Ivanov, 2016).

2.3 Situation et évolution des populations en Wallonie

En Belgique, le Moineau friquet a longtemps présenté une population stable, sans fluctuation notable jusqu'aux années 1970, avec une estimation nationale avoisinant les 100 000 couples nicheurs. C'est au cours de la décennie suivante que les premières chutes d'effectifs significatives sont survenues, attribuées notamment à la raréfaction progressive des ressources alimentaires et des sites de nidification, accentuée par l'épisode climatique sévère de 1985-1987.

Ensuite, l'Atlas des oiseaux nicheurs de Wallonie (2001–2007) a estimé une réduction de 77 % des effectifs en à peine trois décennies. La population y était alors estimée à environ 12 000 couples, et bien que l'aire de répartition soit restée relativement continue (recul limité à 4 %), toutes les zones autrefois caractérisées par des densités élevées ont maintenant disparu (Jacob et al., 2010).

Malheureusement, aujourd'hui, la situation est encore plus alarmante. Non seulement le déclin des effectifs se poursuit, mais il s'accompagne désormais d'un recul notable de son aire de répartition en Wallonie : l'espèce a pratiquement disparu des régions où elle était autrefois commune, comme le Condroz et la Famenne. Si bien que maintenant les derniers noyaux de population se concentrent principalement en Ardenne et en Lorraine (Observations.be, s.d. ; ELIE - UCLouvain, 2015).

Les données du programme SOCWAL (Surveillance des Oiseaux Communs en Wallonie), couvrant la période 1990–2024, indiquent une tendance moyenne annuelle de déclin de -6,13 %. Cette dynamique s'est encore aggravée récemment, avec une chute moyenne estimée à -10,5 % par an entre 2013 et 2024 (Derouaux., 2024) (Figure 3).

En appliquant le taux de décroissance calculé à l'effectif estimé lors du rapportage 2013–2018, les projections récentes situent la population entre 530 et 830 couples, bien que cette estimation puisse être considérée comme particulièrement pessimiste.

Moineau friquet Déclin -5.81 % par an

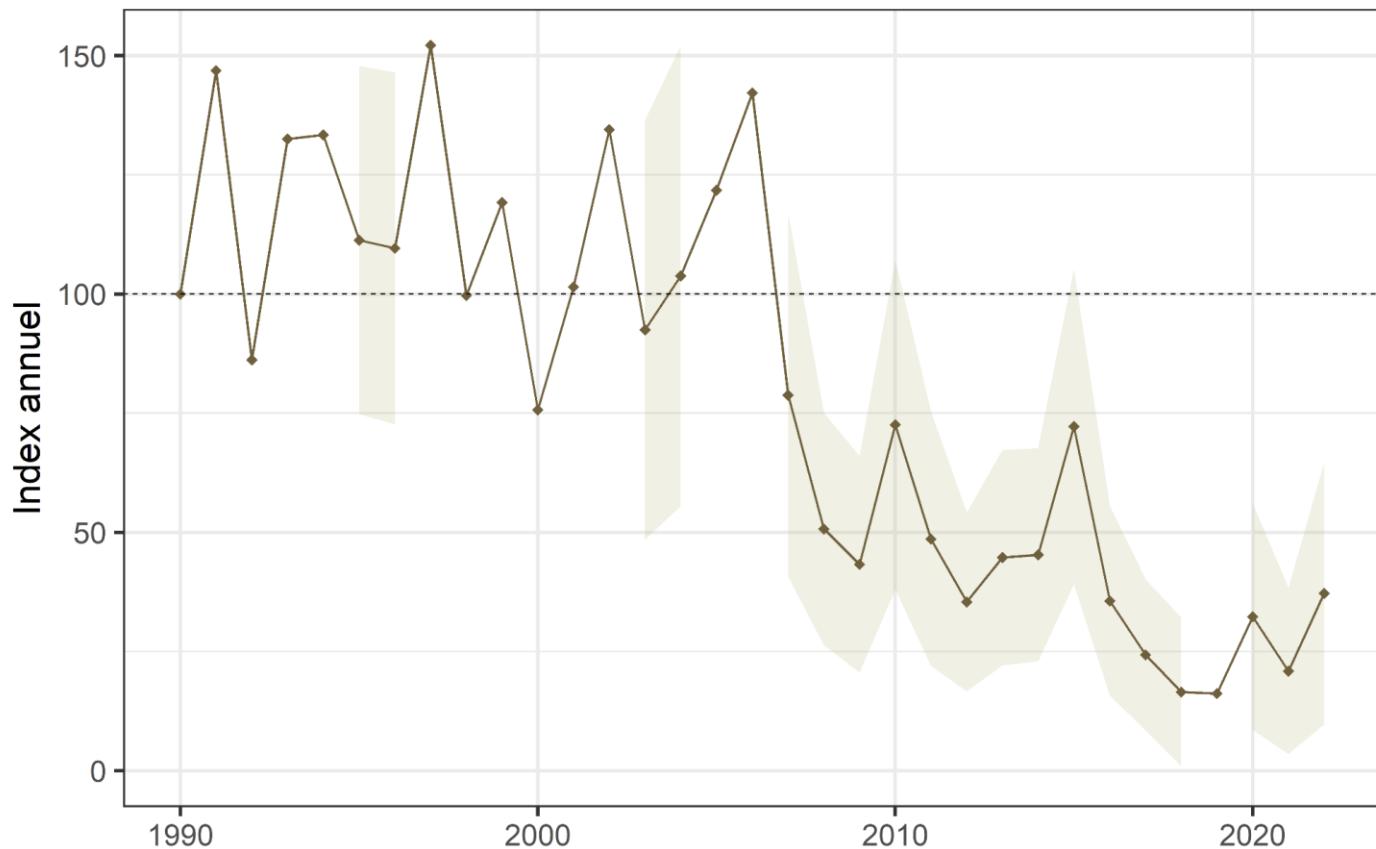


Figure 3 : Évolution de l'abondance relative du Moineau friquet (*Passer montanus*) en Wallonie entre 1990 et 2024. Données issues du programme SOCWAL (Suivi des Oiseaux Communs en Wallonie). Déclin moyen estimé : -5,81 % par an. © Aves-Natagora, 2021.

Cette situation s'inscrit dans un contexte plus large de déclin des oiseaux agricoles en Wallonie. Parmi les 17 espèces indicatrices de ce milieu, 12 sont en déclin (70,6 %), 2 sont stables (11,8 %) et seulement 3 sont en augmentation (17,6 %). Si certaines espèces montrent une dynamique positive, d'autres connaissent des pertes particulièrement sévères. Cinq espèces, dont le Moineau friquet, présentent une chute de population supérieure à 80 %. Ainsi, l'indice global des oiseaux agricoles affiche une tendance annuelle de -2,7 %, soit une baisse cumulée de 59,4 % depuis 1990 (Figure 4).

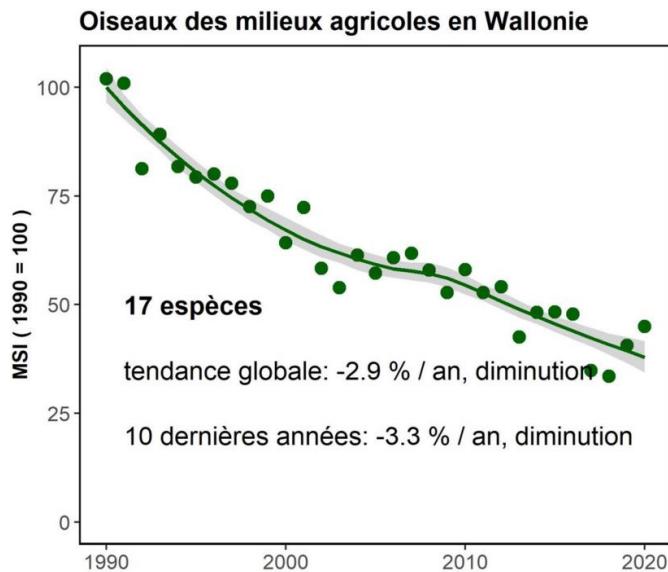


Figure 4 : Indice global des espèces de milieux agricole, aussi appelé FBI pour Farmland Bird Index. Cet indice est utilisé notamment par l'Institut de Statistique Européen pour évaluer l'efficacité des mesures agri-environnementales en Europe. © Aves-Natagora,

Ainsi, l'évolution du statut de conservation du Moineau friquet reflète cette dynamique défavorable. En Wallonie, il est passé de la catégorie « Quasi menacée » en 2010 à celle de « En danger » en 2021, rejoignant ainsi la liste des 20 espèces dont le statut s'est dégradé au cours de la dernière décennie (Paquet et al., 2021).

En Flandre, les données du nouvel Atlas (2020–2024, à paraître) confirment également un fort déclin, avec une population nicheuse estimée entre 2 600 et 3 800 couples.

2.4 Situation et évolution des populations en Europe

À l'échelle de l'Europe, les dynamiques de population du Moineau friquet (*Passer montanus*) présentent un contraste entre l'Ouest et l'Est/Nord du continent. Dans la majorité des pays d'Europe occidentale, les déclins sont marqués, continus et préoccupants, alors que dans plusieurs régions nordiques et orientales, les tendances apparaissent globalement stables, voire positives (Keller et al., 2020).

Selon le “European Breeding Bird Atlas 2” (EBBA2), bien que l'aire de reproduction de l'espèce n'ait que légèrement reculé à l'échelle continentale (-3%) entre les périodes 1980–1989 et 2013–2017, des modifications notables de distribution et d'abondance sont observées à l'échelle nationale. Les bastions les plus denses se concentrent désormais en Europe centrale et orientale, notamment en Allemagne de l'Est, Tchéquie, Slovaquie, Pologne, Hongrie, Roumanie et Ukraine. À l'inverse, des contractions de l'aire de répartition sont visibles dans certaines parties de l'Europe occidentale, notamment en France, les îles Britanniques, ainsi qu'en Irlande et en Écosse.

Ce recul est particulièrement prononcé dans des pays limitrophes de la Belgique : en France, la population a chuté de 66 % entre 1989 et 2013, et de 30 % depuis 2010. La population nicheuse y est actuellement estimée entre 70 000 et 140 000 couples, et l'aire de répartition s'est réduite de 23 % depuis le précédent atlas de 1985–1989 (Juignet, 2018). En Allemagne, le déclin est également continu, avec des pertes annuelles de 1 à 3 % enregistrées depuis plusieurs décennies (Mayer, 2025).

En revanche, certaines zones nordiques ou orientales présentent des dynamiques plus favorables. En Finlande, le Moineau friquet a connu une expansion de son aire de reproduction vers le nord, avec une augmentation des effectifs nicheurs et un gain d'altitude dans certaines régions (Jokimäki et al., 2021). En Suisse, bien que l'espèce montre une certaine stabilité, une dynamique altitudinale est également observée avec des gains au-dessus de 400 m et un léger déclin en plaine (Keller et al., 2020). Tandis qu'en Pologne, une amélioration des paramètres reproducteurs entre 1980 et 2000 a permis un redressement partiel des populations (Wegrzynowicz, 2017).

Plus globalement, ces tendances suggèrent que les paysages agricoles extensifs, moins intensifiés, associés à une température modérée en période de reproduction, constituent un habitat favorable pour l'espèce à l'échelle continentale (Keller et al., 2020).

2.5 Menaces

Le déclin du Moineau friquet résulte d'un ensemble complexe de facteurs, souvent interconnectés, qui agissent en synergie. Ces menaces multiples n'ont pas toujours été pleinement identifiées ni quantifiées, mais elles touchent à la fois l'accès aux ressources alimentaires, la disponibilité des sites de nidification et les caractéristiques structurelles des habitats fréquentés par l'espèce. Il apparaît donc nécessaire de considérer cette problématique dans une perspective multifactorielle.

En Wallonie, les déclins observés semblent largement imputables à la raréfaction simultanée des ressources trophiques et des sites de nidification (Jacob et al., 2010).

2.5.1 Changements agricoles et intensification

En Belgique, l'intensification agricole constitue l'une des principales causes du déclin du Moineau friquet au cours du XXe siècle (Jacob et al., 2010). Cette intensification regroupe une multitude de facteurs combinés : remembrement, augmentation de la taille des parcelles, disparition des haies, des vieux vergers « hautes tiges » et des vieux arbres à cavités (Juignet, 2018). Elle peut également se traduire par : le drainage des terres, l'introduction de nouveaux types de cultures, "l'amélioration" des pâturages, l'augmentation des intrants agrochimiques, le passage du semis de printemps à l'automne, la récolte d'ensilage, et la réduction des rotations traditionnelles (Krebs et al., 1999).

Via la mise en œuvre de tous ces changements, l'intensification a affecté la disponibilité des trois ressources clés pour les moineaux friquets : l'accès aux graines, aux invertébrés et aux sites de nidification appropriés (Field & Anderson, 2004).

Tout d'abord, le passage des semis de printemps aux semis d'automne réduit la disponibilité des graines durant la période critique (de février à mars). Ensuite, avec la forte amélioration de l'efficacité de récolte des grains et la mise en place de couverts hivernaux à la place des chaumes, l'accès aux grains est limité (Juignet, 2018). De plus, la simplification des systèmes agricoles réduit la capacité des paysages agricoles à fournir des ressources alimentaires invertébrées continues tout au long de la saison de reproduction (Field & Anderson, 2004). Finalement, la gestion inappropriée des haies et vieux arbres, incluant les tailles drastiques et leur suppression contribue au déclin de l'espèce (Juignet, 2018).

2.5.2 Urbanisation et modifications de l'habitat

L'urbanisation et les modifications architecturales ont considérablement réduit les sites de nidification potentiels. L'architecture moderne sans cavités induit des bâtiments plus hermétiques, diminuant le nombre de cavités et rendant leur accessibilité difficile (Cellier et al., 2018). De plus, les cavités existantes sont souvent rebouchées lors des rénovations (Juignet, 2018).

De même, les espaces verts sont de plus en plus contrôlés et régulés laissant peu de place à l'ensauvagement et aux mosaïques d'habitats. Ce type de gestion contribue au déclin de l'espèce. Car, pour autant que les espaces verts ne soient pas détruits, ils possèdent la plupart du temps une tonte stricte et des haies peu diversifiées, ce qui réduit par conséquent les ressources alimentaires ainsi que les zones refuges (Cellier et al., 2018).

2.5.3 Autres menaces

D'autres facteurs, bien que moins bien documentés, pourraient également jouer un rôle non négligeable dans le déclin du Moineau friquet. Les maladies, par exemple, constituent une hypothèse plausible, notamment pour expliquer certaines baisses brutales et localisées de populations. À ce jour, peu d'études ont été menées sur ce sujet, mais des pathogènes comme *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, ou encore *Candida spp.* ont été identifiés chez l'espèce (Barlow et al., 2020).

Les conditions climatiques extrêmes sont également une source de mortalité, en particulier entre janvier et mars. Pendant ces mois, une couverture neigeuse de plus de 10 cm peut empêcher l'accès aux graines, entraînant des pertes significatives, notamment chez les adultes (Barlow et al., 2020).

3. Objectif

L'objectif principal de ce travail est d'identifier les variables environnementales et paysagères influençant la présence du Moineau friquet (*Passer montanus*) en Ardenne et en Lorraine, et également de caractériser les sites de nidification utilisés actuellement par l'espèce.

Cette étude repose sur une approche à différentes échelles régionalisées, visant à comprendre les mécanismes sous-jacents à la répartition de l'espèce.

Afin de faciliter la lecture de ce travail, il est important de clarifier la terminologie utilisée pour décrire les différentes échelles d'analyse (Figure 5). En écologie du paysage, les échelles spatiales sont souvent emboîtées les unes dans les autres, chacune correspondant à un niveau d'organisation écologique ou à une fonction spécifique. Dans ce travail, trois niveaux principaux sont distingués.

- L'échelle microscopique (Levin, 1992 ; Turner et al., 2001) correspond au site de nidification lui-même, c'est-à-dire l'unité spatiale minimale où l'espèce interagit directement avec son habitat, en l'occurrence dans ce cas-ci, une cavité. À ce niveau, l'analyse se focalise sur les caractéristiques immédiates du support de nidification : localisation du nid (ex : bâtiment, nichoir), hauteur et orientation.
- L'échelle locale représentée par un buffer de 250 mètres autour du site de nidification et des observations. Une taille cohérente avec le territoire d'exploitation d'un couple reproducteur pour la recherche de nourriture lors de la période de reproduction (Barlow et al., 2020). Ce niveau correspond à ce que Wiens (1989) qualifie de "home range scale", ou ce que McGarigal et Cushman (2002) désignent comme "scale of effect", c'est-à-dire l'échelle spatiale à laquelle les variables paysagères ont un effet significatif sur la présence de l'espèce.
- L'échelle paysagère (Levin, 1992 ; Turner et al., 2001) est définie, ici, par des mailles de 1 km². Cette échelle permet d'évaluer la structure du paysage dans son ensemble et de relier les présences observées à des gradients environnementaux plus globaux.

Ces trois échelles s'emboîtent donc hiérarchiquement et permettent d'explorer les relations entre l'espèce et son environnement à plusieurs niveaux d'organisation spatiale.

Les connaissances acquises dans le cadre de cette étude contribueront directement à l'élaboration d'un plan d'action rédigé par Natagora dans le cadre du projet européen LIFE Belgium for Biodiversity (B4B), en collaboration avec Natagriwal, dont la mise en œuvre est prévue à partir de 2026.

Ce travail s'inscrit donc dans une perspective concrète d'aide à la conservation, visant à mieux comprendre les conditions écologiques nécessaires au maintien du Moineau friquet et ainsi à définir les leviers paysagers susceptibles d'atténuer son déclin.



Figure 5 : Illustration des différentes échelles spatiales de 3 mailles d'échantillonnages en Ardenne.

4. Matériel et méthodes

Dans le cadre de ce travail, des outils d'intelligence artificielle ont été utilisés de manière très ponctuelle pour optimiser la rédaction et la programmation. ChatGPT a servi à reformuler certaines idées afin d'améliorer la clarté et la fluidité des textes, tandis que la plateforme Claude a apporté une aide ciblée pour le développement de certaines portions de code RStudio.

4.1 Choix des régions

Tout d'abord, il était primordial de définir précisément les zones dans lesquelles allaient se dérouler les prospections. Le choix s'est finalement porté sur l'Ardenne et la Lorraine, identifiées comme les plus appropriées en raison de la viabilité de leurs populations locales. En effet, les données issues de la plateforme Observation.be révèlent que les populations de Moineaux friquets présentes dans l'Est et le Sud de la Belgique sont non seulement plus abondantes, mais également moins fragmentées que dans d'autres régions du pays (Figure 6) (Observation.be, s.d.). Ceci justifie leur sélection, car elles augmentent les probabilités de détection sur le terrain. Plus précisément, l'espèce a été recensée sur un ensemble de mailles totalisant 230 km² en Ardenne et sur 81 km² pour la Lorraine.

À l'échelle régionale, l'Ardenne et la Lorraine peuvent ainsi être considérées comme des zones noyaux pour l'espèce, où la mise en œuvre d'un plan d'action ciblé demeure encore envisageable et justifiée. Dans cette même optique, il a été décidé de ne pas inclure le massif ardennais à l'Ouest de Givet, qui se trouve en dehors des zones noyaux, afin de concentrer les efforts sur le cœur de l'Ardenne.

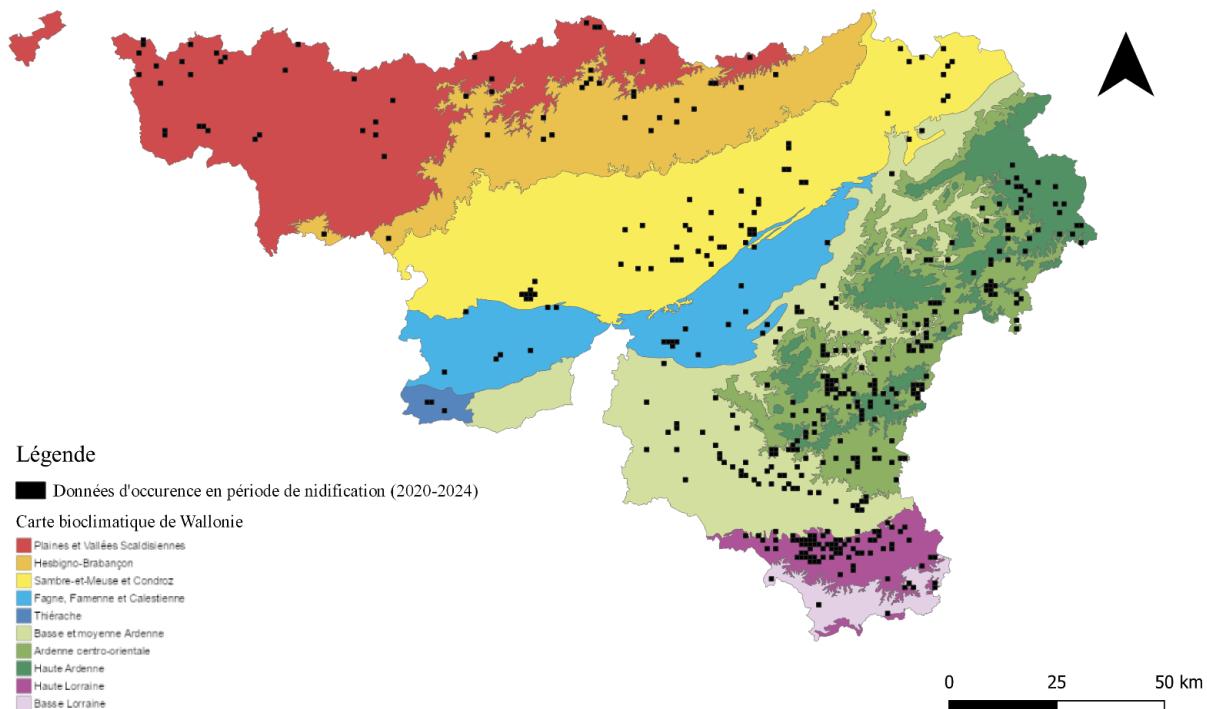


Figure 6 : Mailles IGN de 1km² où des Moineaux friquets ont été signalés sur la plateforme Observation.be sur la période 2020-2024.

4.2. Identification des zones de présence potentielle du Moineau friquet

La méthode MaxEnt a été utilisée pour identifier grossièrement les zones de présence potentielle de l'espèce et ainsi aiguiller le plan d'échantillonnage. En déterminant la probabilité de présence du Moineau friquet en fonction des différents paramètres intégrés au modèle (Phillips et al., 2006), cette approche a pour objectif d'optimiser le plan d'échantillonnage en ciblant les zones les plus susceptibles d'abriter ladite espèce, plutôt que de prospecter des habitats qu'on sait inadaptés sur base de leur écologie, comme les forêts denses dans ce cas-ci.

Brièvement, la méthode MaxEnt (Maximum Entropy) utilise à la fois des données de présence de l'espèce et différentes variables environnementales pour modéliser une distribution spatiale potentielle. Pour cette étude, trois types de variables environnementales ont été retenues : les classes d'occupation du sol reprises dans la base de données des écotypes 2022 (Radoux et al., 2022), l'altitude et les coordonnées spatiales x et y. Ces informations permettent *in fine* de générer une grille constituée de mailles de 1km² contenant chacune une valeur d'adéquation de l'habitat pour le Moineau friquet. Finalement, afin de faciliter l'interprétation des résultats, ces valeurs sont converties en grille binaire grâce à l'application du seuil statistiquement déterminé. Ainsi, au terme du processus, le modèle détermine si les mailles de 1km² possèdent ou non les caractéristiques nécessaires à l'espèce cible selon un certain seuil de probabilité de présence.

4.2.1. Variables et données utilisées

Avant tout, il est important de préciser que l'unité d'analyse retenue est la maille de 1 km² car c'est à cette échelle que se dérouleront les inventaires de terrain. Par conséquent, les données environnementales ont été préparées à cette échelle.

Comme mentionné auparavant, trois types de variables environnementales ont été choisies. Ce choix ne relève pas du hasard mais bien d'une volonté de choisir des paramètres dont l'information est pertinente au vu de l'échelle spatiale régionale. Il était nécessaire de préparer ces différents jeux de données comme suit.

Dix types d'occupation du sol ont été introduits dans le modèle (Tableau 1). Les classes d'occupation du sol ont subi quelques adaptations. La classe se référant aux surfaces imperméables artificialisées comprenant les routes, les voies ferrées et les parkings a été supprimée. En effet, la matrice de corrélation entre variables environnementales révèle une corrélation très forte ($r = 0.876$) entre cette classe et celle se rapportant aux constructions humaines de plus d'un mètre. Bien que ces deux classes représentent des éléments distincts de l'environnement anthropisé, leur forte corrélation spatiale crée une redondance dans le modèle. De plus, les constructions humaines sont pertinentes vis-à-vis de l'écologie du Moineau friquet notamment pour les sites de nidifications ce qui n'est pas le cas des surfaces imperméables. La distinction entre les classes de conifères et d'angiospermes a été maintenue, mais sans considération de leur hauteur.

Pour l'agrégation des données d'occupation du sol à l'échelle de la maille de 1km², les données étaient déjà organisées sous forme de grille où chaque polygone représente une maille de 1km², au total, l'Ardenne comprend 4991 mailles et la Lorraine 719. Lors de la rasterisation, chaque maille conserve les proportions de chaque type de landcover.

Tableau 1 : Définition des différents landcovers utilisés pour la modélisation MaxEnt.

N°	Définition
10	Eaux libres, y compris les rivières, les étangs et les lacs.
15	Sol nu permanent ou couverture végétale < 10 %, y compris les dunes, les rochers nus et les carrières.
21	Bâtiments de plus de 1 m de hauteur, y compris les maisons, les bâtiments commerciaux et industriels et les ponts.
30	Terres arables (labourées au moins une fois par an), y compris les terres cultivées et les prairies temporaires.
35	Prairies (exploitées), y compris les prairies agricoles intensives, les jardins et les prairies de loisirs.
40	Végétation ouverte présentant un intérêt biologique (sèche), y compris les prairies extensives présentant un intérêt biologique, les prairies naturelles et la végétation des landes (ainsi que les tourbières si elles sont sèches en surface).
45	Végétation ouverte présentant un intérêt biologique (humide), y compris les roselières et les marais.
48	Végétation ligneuse récemment perturbée (moins de 5 ans auparavant), y compris les jeunes plantations et les coupes à blanc.
50 et 51	Arbres et arbustes à feuilles aiguillées, isolés, dans des haies ou à l'intérieur de forêts, y compris les sapins de Noël.
55 et 56	Arbre et arbustes à feuilles larges, isolés, dans des haies ou à l'intérieur de forêts, y compris les vergers intensifs.

Ensuite, concernant les variables spatiales, le Modèle Numérique de Terrain (MNT) original a été agrégé à une résolution de 10 mètres par interpolation bilinéaire afin d'obtenir un fichier plus léger à traiter. Cette méthode a été choisie car elle calcule une moyenne pondérée des quatre pixels les plus proches, permettant ainsi de préserver fidèlement les variations topographiques tout en réduisant significativement la taille des données. L'altitude a été ajoutée au modèle car elle permet de modéliser les exigences topographiques de l'espèce tout en étant un bon proxy des conditions climatiques locales et des types d'habitats disponibles. Pour l'agrégation finale à 1km², chaque maille obtient une valeur d'altitude unique correspondant à la moyenne des pixels haute résolution qu'elle contient, représentant ainsi les conditions topographiques moyennes de la zone.

Et enfin, les coordonnées géographiques (longitude et latitude) ont complété le modèle afin de tenir compte de la répartition spatiale des Moineaux friquets au sein de la zone d'étude. En effet, les différentes populations ne sont pas distribuées uniformément dans le territoire et se répartissent plutôt en agrégat dans certaines zones. Chaque maille de 1km² se voit attribuer les coordonnées géographiques de son centroïde, permettant au modèle de détecter d'éventuels gradients spatiaux dans la distribution de l'espèce.

Il est important de noter que toutes les variables environnementales ont été standardisées c'est-à-dire transformées pour avoir une moyenne de 0 et un écart-type de 1 selon la formule $Z = (X - \mu) / \sigma$. Afin de permettre la comparaison directe de leur influence relative. Cette standardisation permet à la fois l'harmonisation des échelles entre variables aux unités différentes, une interprétation facilitée des courbes de réponse et l'amélioration des performances de l'algorithme MaxEnt.

Pour finir, en ce qui concerne les données d'occurrence du Moineau friquet, le modèle s'appuie sur les encodages réalisés sur la plateforme participative "[Observation.be](#)" au cours des six dernières années (2019-2024.) De plus, étant donné que l'étude porte sur la nidification de l'espèce, les données ont été filtrées pour cibler au mieux cette partie de la vie de ce passereau. La sélection des données s'est focalisée sur deux périodes. La première tient compte de toutes les données dont le comportement renseigné suggère des oiseaux nicheurs

possibles, probables ou certains durant l'ensemble de la saison de reproduction (01/03 au 31/08). La seconde intègre toutes les données qui concernent le cœur de la saison de reproduction (01/04 à 15/06) peu importe le comportement encodé. Au total, 1120 données ont été utilisées, dont 812 pour l'Ardenne et 308 pour la Lorraine.

4.2.2. Maxent

La méthode MaxEnt (Maximum Entropy) constitue un algorithme de modélisation de distribution d'espèces particulièrement adapté dans le cas de cette étude. Étant donné qu'elle ne nécessite que des données de présence seule, sans exiger d'information sur les absences réelles de l'espèce. Le principe de cette approche repose sur la recherche de la distribution de probabilité la plus uniforme possible tout en respectant les contraintes imposées par les données d'occurrence et les variables environnementales. Concrètement, l'algorithme compare les conditions environnementales des sites de présence du Moineau friquet avec celles disponibles sur l'ensemble de la zone d'étude.

Afin de définir ces conditions de base, 1000 points de fond ont été échantillonnés aléatoirement sur la carte. En fin de compte, cette comparaison permet d'identifier les combinaisons de conditions environnementales propices à la présence de l'espèce cible.

Ensuite, pour évaluer la performance prédictive du modèle, les données d'occurrence sont divisées en deux ensembles : 70% des observations constituent les données d'entraînement utilisées pour construire le modèle tandis que les 30% restants forment l'ensemble de test servant à évaluer la capacité de généralisation du modèle sur des données indépendantes.

Cette division permet de calculer des métriques de performance comme l'AUC (Area Under the Curve) sur les données de test, offrant une estimation objective de la qualité prédictive du modèle.

Le résultat final se présente sous forme d'une carte continue d'adéquation de l'habitat, où chaque pixel reçoit une valeur comprise entre 0 et 1. Cette carte doit être interprétée comme une probabilité de présence relative plutôt que comme des probabilités absolues de présence. Les valeurs élevées indiquent des conditions environnementales similaires à celles des sites de présence connue, mais ne garantissent pas la présence effective de l'espèce qui peut être limitée par d'autres facteurs non modélisés.

Ensuite, pour faciliter la mise en place du plan d'échantillonnage, il a fallu calculer le seuil optimal maximisant la somme de la sensibilité et de la spécificité pour générer une carte binaire. La sensibilité mesure la capacité du modèle à détecter les vrais positifs, tandis que la spécificité mesure sa capacité à éviter les faux positifs. Cette valeur optimale permet de distinguer l'habitat favorable de l'habitat défavorable. Une maille est considérée comme favorable lorsque sa valeur d'adéquation d'habitat dépasse ce seuil, même si certaines variables individuelles n'atteignent pas leurs valeurs optimales. Inversement, une maille avec une forte proportion d'un habitat généralement favorable peut être classée comme défavorable si d'autres facteurs limitants sont présents.

Afin de définir le meilleur modèle, plusieurs variantes ont été testées. Tout d'abord, les régions ont été analysées ensemble puis séparément en distinguant l'Ardenne de la Lorraine afin d'identifier d'éventuelles

variations entre les variables dominantes. Puis, plusieurs combinaisons de variables ont été testées : l'occupation du sol seule, l'occupation du sol accompagnée d'une variable spatiale soit l'altitude soit les coordonnées géographiques et finalement le modèle le plus complet comportant les trois types de variables.

Suite à plusieurs tests comparatifs, le modèle optimal a été sélectionné en se basant sur l'analyse de la contribution variable des facteurs environnementaux et l'évaluation des performances via les valeurs d'AUC (Annexe 2) (Tableau 2 & 3).

Dans l'ensemble, les performances des modèles sont bonnes pour les deux régions. Le modèle complet a été retenu dans les deux cas, car en Ardenne, l'ajout des coordonnées améliorait légèrement les résultats, tandis qu'en Lorraine, c'est l'altitude qui apportait un gain notable. Dans les deux régions toutefois, la contribution des variables spatiales restait importante, mais variait fortement selon le territoire. Ainsi, il a semblé préférable d'analyser les régions séparément, en conservant pour chacune le modèle le plus complet. En effet, la comparaison interrégionale a montré que les contributions des différentes variables différaient radicalement d'un lieu à l'autre (Tableau 3).

Une fois le modèle optimal sélectionné pour chacune des régions, l'étape suivante a consisté à interpréter ses résultats afin d'identifier les variables environnementales exerçant la plus forte influence sur la probabilité de présence du Moineau friquet.

Tout d'abord, il faut analyser les courbes de réponse marginales car elles constituent l'élément central de l'interprétation. En effet, elles révèlent comment la probabilité de présence de l'espèce varie en fonction de chaque variable environnementale testée. Dans le contexte des variables standardisées utilisées dans cette étude, une valeur de 0 sur l'axe des abscisses correspond à la moyenne régionale de la variable, les valeurs positives indiquent des conditions supérieures à la moyenne, et les valeurs négatives des conditions inférieures.

Ensuite, il est également possible de comparer les pourcentages de contribution des variables. Cependant, ils doivent être interprétés avec précaution car ils reflètent l'importance relative dans le modèle spécifique testé, et non nécessairement l'importance écologique absolue. Une variable avec une forte contribution indique qu'elle explique une grande part de la variance dans la distribution observée, mais cela peut également refléter la structure particulière du paysage étudié. Il faut donc combiner cette information avec l'analyse des courbes de réponse pour comprendre le type de relation et ainsi identifier d'éventuels seuils écologiques.

Après cela, les différents modèles ont été comparés sur base de leur AUC (Area Under the Curve) respectif. Ce dernier fournit une mesure de la capacité discriminante du modèle. Autrement dit, un AUC de test supérieur à 0,7 indique une bonne performance prédictive, au-delà de 0,8 une très bonne performance, et au-delà de 0,9 une excellente performance. En outre, l'analyse comparative entre les modèles permet d'évaluer l'apport spécifique de chaque type de variables. Si l'ajout d'une variable améliore significativement l'AUC de test ($>0,02$) alors celle-ci capture probablement un signal écologique. De plus, il est également possible de calculer la différence entre l'AUC d'entraînement et de test afin de vérifier le surapprentissage : une différence inférieure à 0,05 suggère un modèle robuste, entre 0,05 et 0,10 un risque modéré de surapprentissage, et au-delà de 0,10 un surapprentissage probable nécessitant une révision du modèle. Le surapprentissage correspond à une situation où le modèle s'ajuste trop aux données d'entraînement, au détriment de sa capacité à généraliser sur de nouvelles données.

4.3 Plan d'échantillonnage

Les prédictions produites par la méthode MaxEnt et les données d'occurrences récentes ont servi de base pour élaborer le plan d'échantillonnage. Seules les mailles de 1 km² qui ont été identifiées par MaxEnt (probabilité de présence supérieure à la valeur seuil) ou qui ont connu au moins une donnée de Moineau friquet en période de nidification au cours des six dernières années ont été conservées pour définir l'échantillonnage (mailles sélectionnables).

Pour optimiser les sorties sur le terrain en limitant les déplacements, les mailles IGN de 1 km² ont été regroupées par 9, pour former des blocs de 3x3 km en Ardenne et en Lorraine. Une grille régulière de blocs a été appliquée sur l'ensemble du territoire. Les blocs comprenant moins de trois mailles sélectionnables selon les critères donnés ci-avant ont été écartés.

La sélection des blocs éligibles s'est par la suite déroulée aléatoirement, avec une condition supplémentaire ajoutée à l'Ardenne pour éviter de prendre des blocs spatialement trop proches les uns des autres. Les mailles sélectionnées devaient impérativement être éloignées de plus de 15 km pour ainsi couvrir plus de zones géographiques avec des contextes différents.

Ensuite, les mailles ont également été sélectionnées de manière aléatoire au sein des blocs retenus en respectant toujours ces deux conditions :

- 1) Une première maille a été tirée au sort parmi celles cumulant les deux critères : prédition favorable du modèle MaxEnt et occurrence de Moineau friquet au cours des six dernières années.
- 2) Deux mailles supplémentaires ont été tirées au sort parmi les mailles éligibles restantes, c'est-à-dire celles répondant à au moins l'un des critères suivants : prédition favorable du modèle MaxEnt ou occurrence récente du Moineau friquet, la combinaison des deux étant possible également.

Au total 27 blocs ont été sélectionnés, soit respectivement 12 et 15 blocs pour la Lorraine et pour l'Ardenne, ce qui équivaut à 36 et 44 mailles de 1 km² (Figure 7) (Annexe 3 & 4).

Légende

Résultat MaxEnt

- Maille inférieure au seuil
- Maille supérieure au seuil

Bloc Lorraine

- Maille 1 km² Lorraine
- Limite de la Lorraine

Bloc Ardenne

- Maille 1 km² Ardenne
- Limite de l'Ardenne

- Occurrence de Moineau friquet endéans les 6 ans

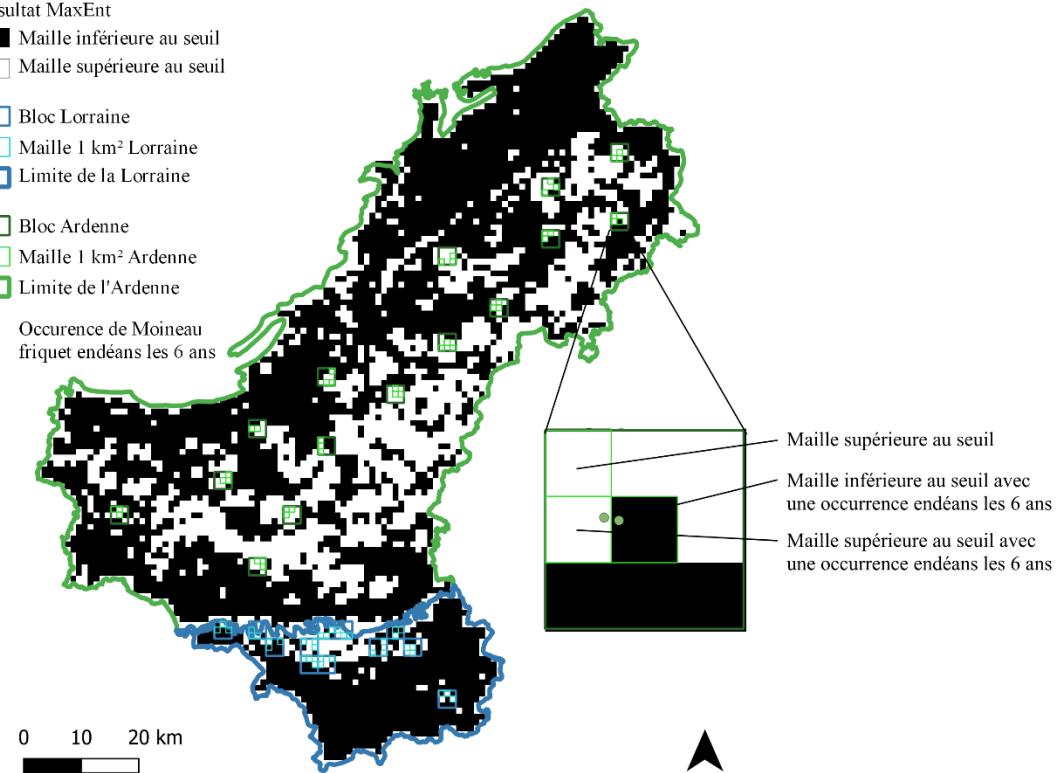


Figure 7 : Cartographie de la modélisation MaxEnt pour le Moineau friquet en Wallonie avec l agrandissement d un bloc. Les zones en vert et bleu représentent respectivement les blocs et les mailles à inventorier en Ardenne et en Lorraine.

Le but du plan d'échantillonnage était d'une part d'augmenter les chances de rencontre de l'espèce sur le terrain en imposant les conditions pour la première maille. Et d'autre part, en étant plus ouvert sur la sélection des deux autres mailles, cela permettait de faire varier les contextes environnementaux et d'explorer de nouvelles zones qui sont parfois moins prospectées ou alors pour lesquelles la prospection y est très localisée.

4.4 Inventaire sur le terrain

4.4.1 Informations générales

Désormais, grâce à la méthode MaxEnt, la prospection se déroule dans des mailles où les conditions régionales sont à priori réunies pour accueillir l'espèce. Il convient donc maintenant de descendre à une échelle plus fine afin d'essayer de comprendre quels sont les autres facteurs déterminants pour le Moineau friquet.

Le but des sorties de terrain était de :

- Dénombrer les 'individus présents au sein de chaque maille et, dans la mesure du possible, de localiser les nids ;
- D'inventorier toute une série d'éléments environnementaux au sein des mailles et plus précisément à proximité des nids (cf. ci-après).

Lors des inventaires, une ou deux personnes sont présentes et parcourent l'ensemble de la maille à pied via les routes et chemins accessibles renseignés sur OpenStreetMap. Les journées de terrain ont débuté à partir du cœur de la saison de reproduction le 1er avril et ce jusqu'au 15 juin, période durant laquelle les oiseaux sont plus actifs.

À noter que préalablement, une phase d'entraînement à la collecte des données a eu lieu, au cours de laquelle tous les observateurs se sont entraînés à reconnaître le Moineau friquet visuellement et auditivement et à standardiser la prise de données pour que chaque personne identifie les paramètres environnementaux de la même manière sur le terrain. Plusieurs journées d'entraînement se sont donc déroulées avant la période de reproduction. Elles ont aussi été l'occasion de tester et développer le module d'encodage des données à l'aide de formulaires QField

La question concernant la détectabilité de l'espèce est légitime car tous les oiseaux ne sont pas forcément observables facilement. Néanmoins, nous pouvons considérer que la détectabilité du Moineau friquet en période de nidification est plutôt élevée : en effet, bien que peu territoriaux, ces derniers défendent avec ardeur la cavité qu'ils occupent en se postant à son entrée et en poussant des cris d'alarme. Ils poussent également des cris lors de leurs déplacements en vol. De plus, il ne s'agit pas d'une espèce particulièrement cryptique et les observateurs ont été préalablement entraînés à sa détection. Au vu de toutes les conditions réunies, la détectabilité ne devrait pas poser de problème majeur. D'autant plus que les journées d'inventaires étaient également dépendantes des conditions météorologiques pour permettre une détectabilité optimale, c'est-à-dire en privilégiant les jours les moins venteux possibles et en évitant ceux trop pluvieux.

4.4.2 Méthodologie d'acquisition des paramètres environnementaux et de nidification

La collecte des données s'est déroulée en deux phases complémentaires. Dans un premier temps, l'ensemble des éléments paysagers a été inventorié à l'échelle paysagère au sein des mailles de 1 km². Dans un second temps, après la génération des buffers, les relevés ont été complétés en dehors des mailles déjà prospectées, afin de recueillir les informations manquantes, qu'il s'agisse d'éléments paysagers ou de nouvelles occurrences de Moineau friquet.



Figure 8 : Photo d'un mur à cavités fortes.

Les éléments à inventorier ont été sélectionnés sur base de la littérature scientifique et en accord avec des experts Natagora. Ils comprenaient les vergers, friches, poulaillers, fermes, tas de fumier, hangars agricoles, points d'eau, murs à cavités, nichoirs et abris à bétail. Ces éléments ont été relevés à l'aide d'un shapefile dédié, garantissant leur géoréférencement précis et permettant un traitement spatial ultérieur.

Deux catégories d'éléments ont fait l'objet d'une attention particulière.

Les murs à cavités ont été qualifiés selon trois classes en fonction du nombre d'anfractuosités disponibles : faible (moins de 5 cavités), moyen (5 à 10 cavités) et fort (plus de 10 cavités) (Figure 8).

Les abris à bétail sont isolés en prairie et sont décrits en fonction du matériau de construction (pierre, tôle, bois, ...), ces caractéristiques pouvant influencer leur attractivité pour la nidification. (Figure 9, 10 et 11)



Figure 11 : Photo d'un abri à bétail en pierre et tuile.



Figure 10 : Photo d'un abri à bétail en tôle.



Figure 9 : Photo d'un abri à bétail en bois et tôle.

En complément, les haies présentes dans les buffers de 250 m ont été cartographiées à posteriori à partir d'images aériennes sur QGIS. Elles ont été classées en deux catégories : haies situées en milieu bâti et haies situées hors des villages.

Enfin, pour chaque nid détecté, un ensemble de paramètres de nidification a été relevé afin d'identifier d'éventuels schémas récurrents : localisation du nid (abris à bétail, bâtiment habité en façade, ...), hauteur et orientation de l'entrée. Le comptage des individus a suivi un protocole standardisé : un individu observé équivalait à un couple présumé, deux individus correspondaient également à un couple, trois individus à deux couples, et ainsi de suite.

Toutes les occurrences observées seront encodées sur la plateforme Observation.be pour compléter la base de données régionale.

4.5 Analyses des données

Dans un premier temps, l'analyse MaxEnt a permis de localiser les zones de présence potentielle du Moineau friquet à l'échelle des mailles de 1 km². Toutefois, pour affiner cette approche, il est essentiel de passer à des échelles plus fines à l'aide d'une modélisation complémentaire fondée sur les modèles linéaires généralisés (GLM). Cette seconde étape vise à mieux comprendre les relations fonctionnelles entre la présence du Moineau friquet et les éléments environnementaux.

L'objectif de cette démarche est de quantifier avec précision l'influence des éléments paysagers à une échelle plus petite sur la probabilité de présence du Moineau friquet.

Plus spécifiquement, cette analyse poursuit trois objectifs :

- 1) Identifier les éléments paysagers jouant un rôle déterminant dans la présence du Moineau friquet ;
- 2) Evaluer l'effet du nombre et de la simple présence des éléments paysagers ;
- 3) Comparer l'effet des éléments paysagers à l'échelle locale (buffer de 250 m) et à l'échelle paysagère (maille de 1 km²).

Dans le cadre de cette étude, des modèles linéaires généralisés (GLM) ont été construits à partir des données collectées pour les deux échelles pour tester de manière univariée l'effet de chaque élément paysager sur la probabilité de présence du Moineau friquet en nidification.

Afin d'analyser les relations entre la présence du moineau friquet et les éléments paysagers à l'échelle locale, des buffers de 250 mètres de rayon ont été générés autour des points d'observation. Pour garantir la comparabilité des données entre les régions et éviter les doublons, un processus de sélection rigoureux a été appliqué.

En Lorraine, 17 points d'observation ont été retenus, et au total 50 buffers ont été générés. En Ardenne, 24 observations ont conduit à la création de 65 buffers. Ainsi, chaque observation est entourée d'un buffer et les buffers restant serviront de comparaison, les considérant comme des zones d'absence de l'espèce.

La superposition des buffers posait un risque de redondance des données. Pour y remédier, une règle de non-superposition maximale de 25 % a été appliquée : lorsque deux buffers se chevauchaient à plus de 25 % de leur surface, l'un d'eux était supprimé de l'analyse. Ce filtrage a permis de respecter l'hypothèse d'indépendance spatiale des observations, essentielle pour la validité des modèles GLM binomiaux utilisés. Par ailleurs, certaines observations du moineau friquet n'ont pas été intégrées dans l'analyse finale, car les buffers qui leur étaient associés se superposaient trop fortement à d'autres. Dans ces cas, une hiérarchisation des observations a été appliquée :

- La priorité a été donnée aux observations où la nidification est avérée, considérés comme plus pertinents biologiquement ;
- En l'absence d'information sur la nidification, c'est l'encodage présentant le plus grand nombre d'individus qui a été retenu.

Deux types de variables explicatives ont été testées séparément : la présence/absence d'un élément donné et sa quantité totale au sein de la maille/buffer. Pour chaque variable, un GLM simple a été ajusté. Toutes les données de présence ont été préservées pour l'analyse sans distinction des comportements observés. En raison de la taille limitée de l'échantillon, les modèles ont été volontairement limités à une seule variable explicative à la fois. Cette approche univariée a été privilégiée pour éviter la perte de puissance statistique associée aux modèles multivariés, qui nécessitent davantage de degrés de liberté. L'analyse vise donc à détecter les relations les plus marquées entre la présence du Moineau friquet en nidification et les variables paysagères, tout en conservant une robustesse statistique dans un cadre de données restreint.

La nature binaire de la variable réponse (présence ou absence de nidification) justifie l'emploi d'une distribution binomiale dans les GLM. L'utilisation de ce type de modèle repose sur plusieurs conditions d'application, toutes respectées dans cette étude : la variable réponse est binaire, les observations sont indépendantes, et les variables explicatives sont quantitatives ou qualitatives. De plus, les tests menés sur les résidus ont confirmé l'absence d'autocorrélation spatiale significative entre les observations. Cette indépendance spatiale, associée à un nombre limité de blocs, ne justifie pas l'inclusion d'un facteur aléatoire tel qu'un effet aléatoire par bloc, qui n'aurait pas pu être estimé de manière fiable.

Afin d'interpréter les résultats, il faut s'intéresser aux coefficients obtenus. Ainsi, des coefficients positifs indiquent une augmentation de la probabilité de présence de l'espèce avec l'augmentation de la variable explicative, tandis que des coefficients négatifs suggèrent une relation inverse. Ensuite, la transformation exponentielle de ces coefficients fournit les odds ratios, qui quantifient l'ampleur de l'effet : un odds ratio de 2 indique un doublement de la probabilité de présence, tandis qu'un odds ratio de 0,5 indique une réduction de moitié. D'autre part, les seuils de significativité adoptés suivent les conventions statistiques standards : $p < 0,001$ (), $p < 0,01$ (), $p < 0,05$ ().

Enfin, les intervalles de confiance à 95 % des odds ratios fournissent une mesure essentielle de l'incertitude associée aux estimations. Des intervalles larges indiquent une incertitude élevée, généralement liée à la taille limitée de l'échantillon ou à la variabilité importante des données. Cette information permet d'évaluer la robustesse des conclusions et d'identifier les domaines nécessitant des investigations complémentaires.

5. Résultats

Les résultats sont présentés selon une approche hiérarchique fondée sur les différentes échelles d'analyse mobilisées dans cette étude. Dans un premier temps, les résultats de la modélisation MaxEnt, avec le choix du modèle retenu ainsi que l'analyse des différents types de variables.

Ensuite, nous présenterons les résultats à l'échelle paysagère et locale avant de descendre à l'échelle microscopique pour les paramètres de nidification.

5.1 MaxEnt

L'analyse comparative des performances entre les modèles développés pour l'Ardenne et la Lorraine révèle des dynamiques légèrement distinctes entre les deux régions (Tableau 2).

En Ardenne, les scores AUC restent très proches entre les différents modèles, aussi bien à l'entraînement qu'au test, traduisant une grande stabilité du modèle, une absence de surapprentissage et une excellente capacité de généralisation. L'ajout de variables telles que l'altitude ou les coordonnées spatiales n'apporte qu'un gain marginal en termes de performance.

En Lorraine, en revanche, les performances varient davantage selon les combinaisons de variables. L'ajout de l'altitude améliore sensiblement l'AUC test (passant de 0,86 à 0,90), ce qui suggère une influence plus marquée de cette variable dans cette région. Les coordonnées spatiales apportent également un léger gain de performance.

Dans l'ensemble, les scores AUC restent élevés dans les deux régions, confirmant la robustesse des modèles. Le choix de retenir le modèle le plus complet pour chacune des régions reste donc justifié. En Ardenne, les coordonnées spatiales apportent un léger avantage, tandis qu'en Lorraine, c'est l'altitude qui joue un rôle plus déterminant. Par ailleurs, l'analyse des contributions des variables (Tableau 3) montre que, si l'occupation du sol constitue la base principale du signal, les variables spatiales et l'altitude renforcent la capacité explicative du modèle, avec une importance relative variable selon la région.

En Ardenne, les prairies gérées (LC_35) constituent la variable dominante avec une contribution de 68,8 %, suggérant leur rôle central dans l'habitat du Moineau friquet. La forme de la courbe de réponse associée à cette variable indique une nette augmentation de la probabilité de présence dès que la proportion de prairies dépasse la moyenne régionale, jusqu'à un optimum correspondant à une couverture élevée.

Les bâtiments (LC_21) jouent également un rôle notable (4,5 %), avec une relation positive et une augmentation de la probabilité de présence aux densités plus élevées.

À l'opposé, les forêts résineuses (LC_50_51) représentent une variable limitante importante (14,8 %), avec une influence négative marquée, traduisant un évitement clair de ces milieux fermés.

Les variables spatiales totalisent 4,9 % de contribution (coordonnées Y : 3,7 %, coordonnées X : 1,2 %). La coordonnée Y indique un gradient nord-sud positif. L'altitude contribue à hauteur de 1,8 %, avec une préférence pour les altitudes moyennes. La courbe de réponse montre une probabilité de présence plus faible dans les fonds de vallée et aux très hautes altitudes, ce qui suggère un positionnement optimal dans les zones d'altitude intermédiaire.

Les autres variables (végétation sèche, perturbée, terres arables, etc.) présentent des contributions très faibles (inférieures à 1 %), traduisant un effet marginal dans la modélisation.

En Lorraine, la répartition des contributions est plus équilibrée que dans les Ardennes. Les prairies gérées représentent toujours une composante importante (17,1 %). Leur courbe de réponse est croissante, avec un effet positif clair à partir de valeurs proches de la moyenne, et un pic autour de valeurs élevées.

Les milieux ouverts et humides, notamment l'eau ouverte (17,7 %), la végétation sèche (11,4 %) et la végétation humide (10,4 %), présentent également une contribution importante et une influence positive. Ces classes sont majoritairement localisées autour du bassin de la Semois.

Les bâtiments (7,5 %) jouent un rôle intermédiaire avec une courbe en cloche où la probabilité de présence augmente légèrement à faible densité de bâti, puis diminue aux densités plus fortes.

L'altitude (10,8 %) présente une contribution importante, avec une courbe de réponse en cloche centrée sur la moyenne régionale. Cela révèle une préférence pour les altitudes intermédiaires, excluant les zones trop basses ou trop élevées, tout comme en Ardenne. Les coordonnées spatiales (coordonnées Y : 8,1 %, X : 8 %) totalisent 16,1 % de contribution, indiquant une structuration spatiale notable de la distribution de l'espèce à l'échelle régionale.

Parmi les autres variables, les arbres et arbustes résineux (2,7 %) ainsi que la végétation perturbée (2,5 %) présentent une influence plus complexe ou modérée. À l'inverse, les terres arables (2 %), les sols nus permanents (1,5 %) et les arbres feuillus (0,1 %) exercent une influence négative sur la présence de l'espèce, traduisant un évitement relatif de ces milieux moins favorables.

Enfin, il est important de souligner que, bien que les valeurs de contribution soient exprimées en pourcentages normalisés, elles ne sont pas directement interprétables comme des poids écologiques absous. Leur signification dépend de la forme de la courbe de réponse associée à chaque variable, qui permet d'interpréter l'effet écologique plutôt que la seule valeur numérique.

5.1.1 Modèle MaxEnt

Tableau 2 : Performances des modèles MaxEnt en Ardenne et en Lorraine selon différentes combinaisons de variables.

Modèle	Ardenne			Lorraine		
	AUC train	AUC test	Différence	AUC train	AUC test	Différence
Occupation du sol	0,881	0,871	0,01	0,921	0,862	0,059
Occupation du sol + coordonnées	0,889	0,874	0,01	0,944	0,887	0,057
Occupation du sol + altitude	0,866	0,869	0,02	0,935	0,904	0,032
Occupation du sol + altitude + coordonnées	0,892	0,872	0,02	0,946	0,889	0,058

5.1.2 Résultat MaxEnt

Tableau 3 : Influence et contribution des différentes variables du modèle MaxEnt pour l'Ardenne et la Lorraine. L'influence est positive (+), négative (-) ou complexe (~)

Variable	Contribution (%)	Ardenne		Lorraine		
		Influence	Contribution (%)	Influence	Contribution (%)	
Eau (LC 10)	1,0	-	17,7	+		
Sols nus permanents (LC 15)	0,6	-	1,5	-		
Bâtiments (LC 21)	4,5	+	7,5	+		
Terres arables (LC 30)	1,5	+	2,0	-		
Prairies gérées (LC 35)	68,8	+	17,1	+		
Végétation ouverte sèche (LC 40)	0,8	+	11,4	+		
Végétation ouverte humide (LC 45)	0,2	-	10,4	+		
Végétation ligneuse perturbée (LC 48)	0,5	~	2,5	+		
Arbres et arbustes résineux (LC 50_51)	14,8	-	2,7	~		
Arbres et arbustes feuillus (LC 55_56)	0,6	+	0,1	-		
Altitude	1,8	Préférence pour l'altitudes moyenne		10,8	Préférence pour l'altitudes moyenne	
Coordonnées X	1,2	~		8,0	~	
Coordonnées Y	3,7	+ vers le nord		8,1	~	

5.2 Résultats des inventaires de terrain

En Ardenne, sur 44 mailles échantillonnées, 40 étaient au-dessus du seuil fixé, contre 30 sur 36 en Lorraine. Cependant, le Moineau friquet n'a été effectivement observé que dans 19 mailles en Ardenne et 16 en Lorraine. Cela montre que toutes les mailles favorables ne correspondent pas nécessairement à une occupation réelle par l'espèce (Tableau 4).

Le nombre de couples observés s'élève à 42 en Ardenne et 29 en Lorraine, ce qui permet de calculer une densité d'individus exprimée en nombre de couples par km². Deux approches sont présentées :

- Le nombre de couples au km² sur l'ensemble de la surface inventoriée (toutes les mailles visitées), soit 0,95 en Ardenne et 0,81 en Lorraine, donne une idée de la densité moyenne de l'espèce sur le territoire couvert par l'étude.
- Le nombre de couples au km² seulement dans les mailles où la présence du Moineau friquet est avérée, soit 2,21 en Ardenne et 1,31 en Lorraine, reflète quant à lui une densité plus spécifique à l'habitat réellement occupé par l'espèce.

Enfin, le nombre de nids trouvés (14 en Ardenne contre 21 en Lorraine) apporte un complément d'information sur la reproduction (Tableau 4).

Tableau 4 : Résultats synthétisés du nombre de mailles inventoriées et favorables, ainsi que les observations de Moineau friquet en Ardenne et en Lorraine

	Ardenne	Lorraine
Nombre de mailles échantillonnées	44	36
Nombre de mailles au-dessus du seuil MaxEnt	40	30
Nombre de mailles avec du Moineau friquet	19	16
Nombre de couples observés	42	29
Nombre de couples au km ² sur la surface totale inventoriée	0,95	0,81
Nombre de couples au km ² dans les mailles où la présence est avérée	2,21	1,31
Nombre de nids trouvés	14	21

5.2.1 Résultats à l'échelle paysagère et locale

5.2.1.1 En Ardenne

À l'échelle paysagère (maille de 1km²), l'espèce a été recensée dans 19 mailles sur 44 échantillonnées (Tableau 3). Et deux variables sont significatives : la présence des fermes et le nombre de nichoirs (Tableau 5).

À l'échelle locale (buffer de 250m), l'espèce est présente dans 24 buffers sur les 65 analysés. Cette fois-ci, de nombreuses variables sont significatives : la longueur totale des haies, la présence de murs à cavités, les nichoirs, les points d'eau, ainsi que les poulailleurs et la présence de ferme. D'autres variables, telles que la présence d'abris à bétail et de hangars sont également significatives (Tableau 6).

5.2.1.2 En Lorraine

À l'échelle paysagère (maille de 1km²), l'espèce a été recensée dans 16 mailles sur 36 échantillonnées (Tableau 3). Et aucune variable significative n'a été détectée (Tableau 5).

À l'échelle locale (buffer de 250m), l'espèce est présente dans 17 buffers sur les 50 analysés. Seuls deux effets significatifs sont détectés à cette échelle, la présence ainsi que le nombre d'abris à bétail (Tableau 6).

Tableau 5 : Résultats des modèles linéaires généralisés évaluant l'influence de la présence ou du nombre d'élément paysager la probabilité de présence du Moineau friquet, à l'échelle des mailles de 1 km², en Ardenne et en Lorraine. Les résultats sont présentés sous forme de valeur *p*, odds ratio (OR) et intervalle de confiance à 95 % (IC 95) pour chaque variable. Les niveaux de significativité sont indiqués par un code couleur : jaune clair (significatif ($p < 0,05$)), jaune (hautement significatif ($0,01 \leq p < 0,05$)) et jaune foncé (très hautement significatif ($p < 0,001$)).

Elément paysager	Présence/Nombre	Ardenne			Lorraine		
		p-valeur	OR	IC_95	p-valeur	OR	IC_95
Abris à bétail	Présence	0,759	1,22	[0,344 - 4,322]	0,226	4,06	[0,42 - 39,257]
	Nombre	0,251	1,21	[0,874 - 1,671]	0,154	1,41	[0,879 - 2,273]
Ferme	Présence	0,042	5,67	[1,067 - 30,085]	0,782	0,83	[0,211 - 3,219]
	Nombre	0,138	1,54	[0,87 - 2,731]	0,648	1,3	[0,424 - 3,963]
Friche	Présence	0,717	1,38	[0,245 - 7,718]	/	/	/
	Nombre	0,778	0,84	[0,24 - 2,915]	/	/	/
Fumier	Présence	0,759	1,22	[0,344 - 4,322]	1,000	1	[0,255 - 3,922]
	Nombre	0,464	1,18	[0,763 - 1,813]	0,496	0,83	[0,476 - 1,432]
Hangar	Présence	0,263	2,68	[0,476 - 15,125]	0,125	3,33	[0,717 - 15,506]
	Nombre	0,250	1,17	[0,897 - 1,518]	0,613	1,1	[0,754 - 1,614]
Mur à cavités	Présence	0,344	2,07	[0,458 - 9,397]	0,168	2,67	[0,661 - 10,751]
	Nombre	0,488	1,01	[0,982 - 1,039]	0,535	1,04	[0,923 - 1,167]
Nichoir	Présence	0,145	3	[0,684 - 13,166]	0,447	1,78	[0,403 - 7,844]
	Nombre	0,030	1,16	[1,014 - 1,316]	0,212	1,36	[0,84 - 2,195]
Point d'eau	Présence	0,406	0,6	[0,18 - 2,001]	0,752	1,28	[0,276 - 5,935]
	Nombre	0,725	1,08	[0,694 - 1,691]	0,913	1,06	[0,365 - 3,088]
Poulailler	Présence	0,055	4,19	[0,969 - 18,122]	0,240	2,4	[0,558 - 10,325]
	Nombre	0,316	1,18	[0,852 - 1,642]	0,896	1,04	[0,552 - 1,974]
Verger	Présence	0,358	1,85	[0,499 - 6,834]	0,077	3,6	[0,87 - 14,904]
	Nombre	0,765	1,12	[0,537 - 2,327]	0,161	1,43	[0,867 - 2,357]

Tableau 6 : Résultats des modèles linéaires généralisés évaluant l'influence de la présence ou du nombre d'élément paysager la probabilité de présence du Moineau friquet, à l'échelle des buffers de 250m, en Ardenne et en Lorraine. Les résultats sont présentés sous forme de valeur p , odds ratio (OR) et intervalle de confiance à 95 % (IC 95) pour chaque variable. Les niveaux de significativité sont indiqués par un code couleur : jaune clair (significatif ($p < 0,05$)), jaune (hautement significatif ($0,01 \leq p < 0,05$)) et jaune foncé (très hautement significatif ($p < 0,001$)).

Element paysager	Présence/Nombre	Ardenne			Lorraine		
		p-valeur	OR	IC_95	p-valeur	OR	IC_95
Abris à bétail	Présence	0,022	4,32	[1.24 - 15.051]	0,002	7,8	[2.114 - 28.776]
	Nombre	0,075	2,015	[0.932 - 4.356]	0,002	6,84	[2.071 - 22.608]
Ferme	Présence	0,010	5,143	[1.491 - 17.743]	0,921	0,88	[0.074 - 10.464]
	Nombre	0,050	2,579	[0.999 - 6.658]	0,921	0,88	[0.074 - 10.464]
Friche	Présence	0,303	3,636	[0.312 - 42.403]	/	/	/
	Nombre	0,303	3,636	[0.312 - 42.403]	/	/	/
Fumier	Présence	0,097	2,965	[0.821 - 10.711]	0,374	2	[0.434 - 9.211]
	Nombre	0,073	2,985	[0.901 - 9.883]	0,608	1,4	[0.384 - 5.137]
Haies	Longueur totale	< 0,001	1,001	[1.001 - 1.002]	0,170	1	[1 - 1.001]
Haies village	Longueur	< 0,001	1,001	[1.001 - 1.002]	0,199	1	[0.999 - 1.003]
Haies campagnes	Longueur	0,881	1	[0.999 - 1.001]	0,426	1	[1 - 1.001]
Hangar	Présence	0,034	3,469	[1.1 - 10.947]	0,685	1,4	[0.276 - 7.096]
	Nombre	0,377	1,172	[0.824 - 1.667]	0,688	1,14	[0.611 - 2.109]
Mur à cavités	Présence	< 0,001	11,67	[3.47 - 39.225]	0,308	2,08	[0.51 - 8.466]
	Nombre	0,876	1,003	[0.971 - 1.035]	0,239	1,54	[0.751 - 3.152]
Nichoir	Présence	< 0,001	6,623	[2.163 - 20.279]	0,115	4,29	[0.7 - 26.242]
	Nombre	0,010	1,425	[1.087 - 1.869]	0,202	2,1	[0.673 - 6.549]
Point d'eau	Présence	0,006	7,6	[1.806 - 31.977]	/	/	/
	Nombre	0,021	3,984	[1.235 - 12.851]	/	/	/
Poulailler	Présence	< 0,001	8,095	[2.539 - 25.814]	0,548	1,88	[0.241 - 14.591]
	Nombre	0,007	3,231	[1.373 - 7.601]	0,870	1,14	[0.237 - 5.471]
Verger	Présence	0,252	2,533	[0.516 - 12.446]	0,452	1,93	[0.347 - 10.769]
	Nombre	0,252	2,533	[0.516 - 12.446]	0,781	0,87	[0.332 - 2.292]

5.2.2 Résultat à l'échelle microscopique

5.2.2.1 En Ardenne

Au total, 14 nids ont été localisés en Ardenne. Les supports de nidification se répartissent comme suit : 78,6% (n=11) dans des bâtiments habités (façades et sous toitures confondues) et 21,4% (n=3) dans des nichoirs artificiels en bois sur une façade, sur un arbre et seul (Figure 12).

La hauteur des nids varie de 2 à 6 mètres avec une moyenne de 3,21 mètres. L'orientation des cavités ne montre aucune prédominance particulière en Ardenne (Sud-Ouest = 7,14 % ; Nord-Ouest = 35,71 % ; Nord-Est = 7,14 % ; Est = 28,57 % ; Sud-Est = 14,29 % ; Ouest = 7,14 %) (Annexe 5). Mais les deux régions confondues montrent une préférence pour l'Est, le Sud-Est et le Nord-Ouest (Figure 16).

En Ardenne, la structure du paysage est assez similaire, avec une dominance nette des prairies gérées (64,5 %). Nous remarquons toutefois une proportion élevée de surfaces imperméables (13,5 %). Les arbres et arbustes feuillus représentent également une part importante (12,3 %) (Figure 13)

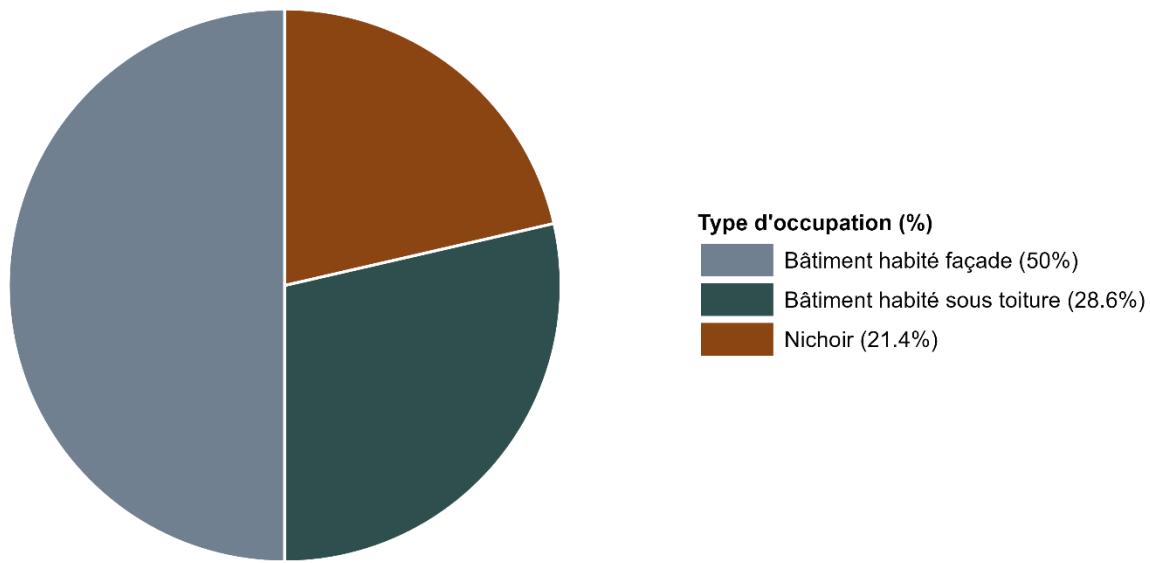


Figure 12 : Répartition de la localisation des nids en Ardenne.

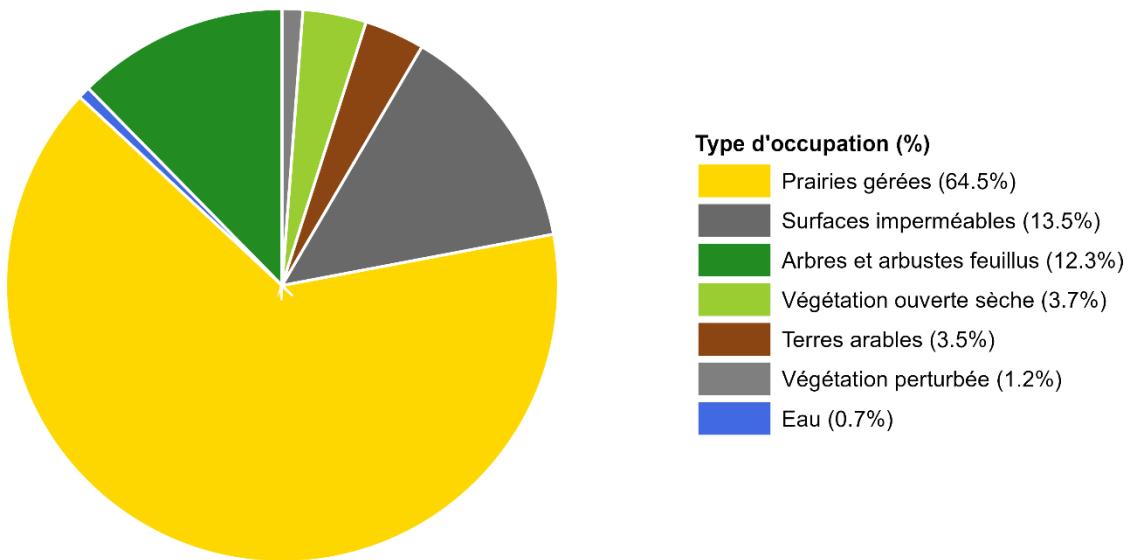


Figure 13 : Répartition des landcovers autour des nids localisés en Ardenne.

5.2.2.2 En Lorraine

Au total, 21 nids ont été localisés en Lorraine. Les supports de nidification se répartissent comme suit : 76, 2% (n=16) dans des abris à bétail, 19% (n=4) dans des bâtiments habités en façade, et 4,8% (n=1) dans un nichoir en bois fixé sur une façade (Figure 14).

La hauteur des nids varie de 2 à 5 mètres avec une moyenne de 2,85 mètres. L'orientation des cavités montre une préférence plus marqué dans ce cas (Nord-Ouest = 21,43 % ; Nord = 7,14 % ; Est = 28,57 % ; Sud-Est = 42,86 %). L'orientation du trou d'envol n'a pu être déterminée pour 7 sites de nidification (Annexe 6). Mais les deux régions confondues montrent une préférence pour l'Est, le Sud-Est et le Nord-Ouest (Figure 16).

En Lorraine, les prairies gérées constituent l'élément paysager dominant autour des sites de nidification du Moineau friquet, représentant 65,8 % des surfaces. Les arbres et arbustes feuillus (10,7 %) et la végétation ouverte sèche (7,7 %) suivent, suggérant un certain attachement à des milieux semi-ouverts (Figure 15).

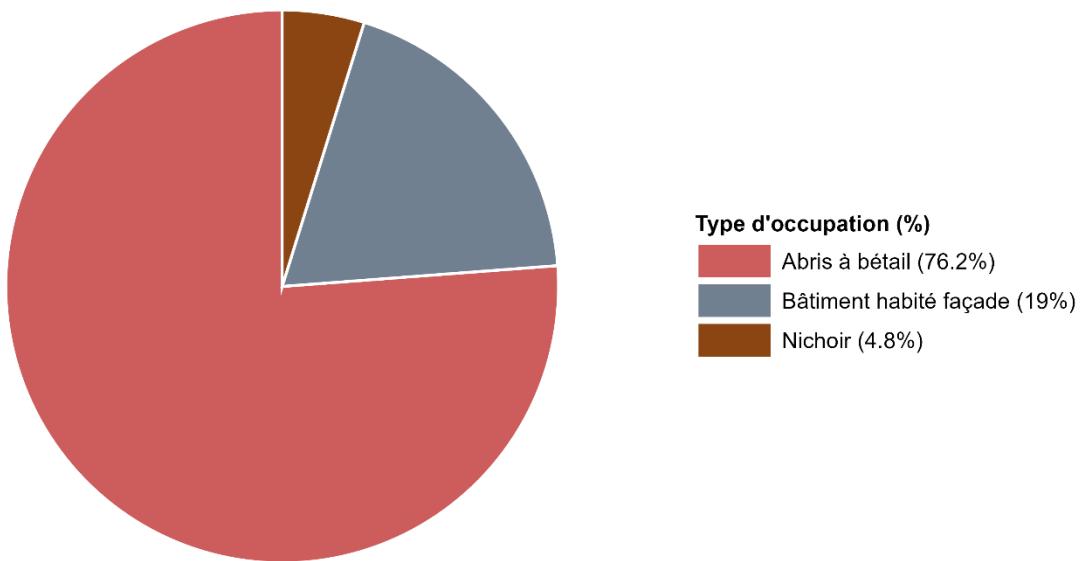


Figure 14 : Répartition de la localisation des nids en Lorraine.

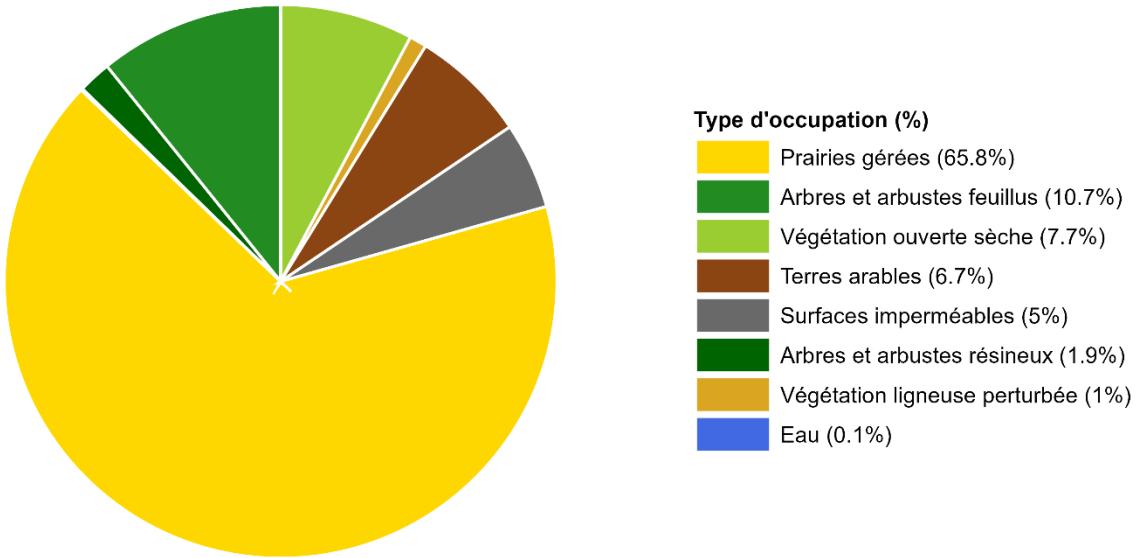


Figure 15 : Répartition des landcovers autour des nids localisés en Lorraine.

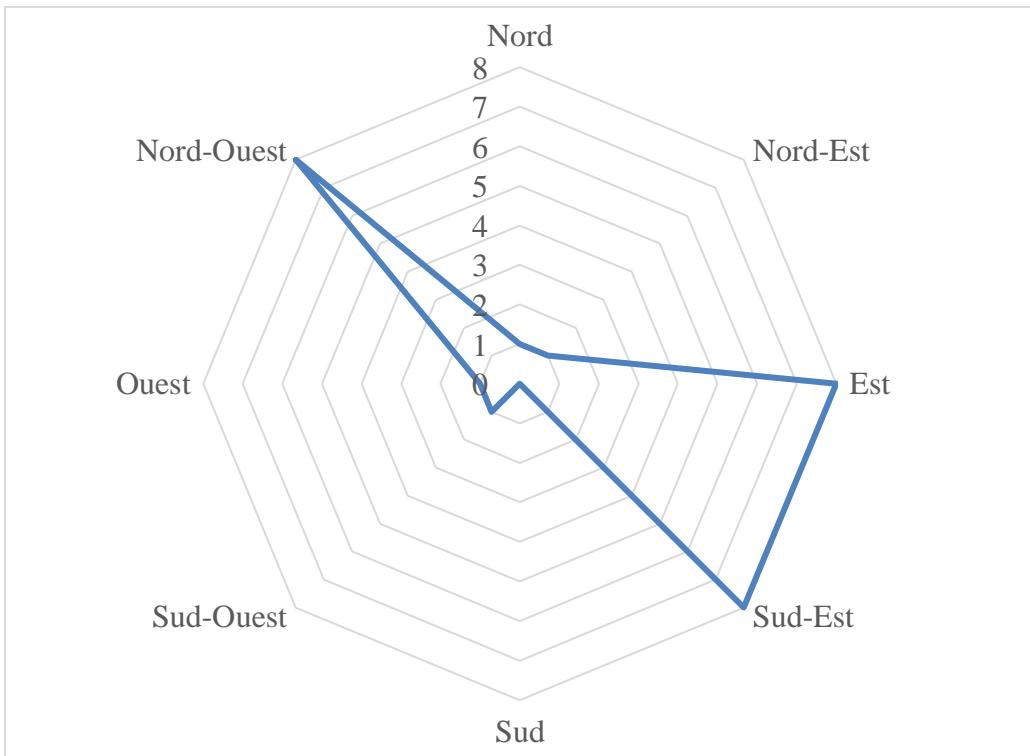


Figure 16 : Graphique en radar des orientations des nids les deux régions confondues

6. Discussion

Les résultats de cette étude suggèrent des différences d'habitudes écologiques significatives entre les Moineaux friquets d'Ardenne et de Lorraine.

En effet, selon la région, nous observons des divergences que se soit en termes d'utilisation de l'habitat, d'influence de certains facteurs environnementaux et des choix de sites de nidification.

6.1 Interprétation des résultats MaxEnt

Tout d'abord, intéressons-nous aux résultats du modèle MaxEnt, pour chacune des régions environ 50% des mailles prédites par le modèle comportaient en effet du Moineau friquet mais cela signifie également que de nombreux faux positifs sont présents (Tableau 4). Par conséquent, ces résultats montrent que même si les modèles MaxEnt sont efficaces pour cibler les zones à prospector, ils demeurent néanmoins insuffisants pour prédire à eux seuls la présence de l'espèce à l'échelle des mailles, celle-ci étant également conditionnée par des facteurs environnementaux plus fins et ne se limitant pas uniquement aux classes d'occupation du sol.

C'est précisément pour pallier cette limite que des inventaires de terrain ont été réalisés, permettant de caractériser des variables plus détaillées telles que la présence de murs à cavités, de fermes ou de poulaillers, afin d'identifier les éléments paysagers réellement favorables ou défavorables à la présence de l'espèce.

Malgré leurs limites, les résultats issus des modèles MaxEnt offrent une première lecture utile des tendances régionales dans l'occupation du paysage par le Moineau friquet. Bien qu'aucune découverte inattendue ne s'en dégage, certaines constantes confirment les connaissances actuelles.

Dans les deux régions, la classe des prairies gérées et des jardins constitue la variable explicative majeure, ce qui correspond bien aux exigences écologiques déjà documentées pour cette espèce en Wallonie (Jacob et al., 2010).

Inversement, les forêts résineuses sont systématiquement exclues par le modèle, ce qui reflète l'affinité marquée de l'espèce pour les milieux ouverts.

Enfin, la classe "infrastructures humaines" montre des effets régionaux plus contrastés : elle présente une contribution notable en Ardenne, où l'espèce semble profiter de la présence du bâti, alors qu'en Lorraine, son influence est plus importante mais pour des densités plus faibles.

6.2 Interprétation des résultats à l'échelle locale et microscopique

Pour la suite de l'analyse, nous nous concentrerons uniquement sur l'échelle locale (buffer de 250m). En effet, en Ardenne, seules deux variables se sont révélées significatives à l'échelle paysagère, et leur influence se trouve renforcée à l'échelle locale, ce qui rend l'analyse à grande échelle redondante. En Lorraine, aucune variable n'est ressortie significative à l'échelle paysagère, il n'est donc pas pertinent de s'y attarder.

Pour appréhender finement les conditions locales associées à la présence du Moineau friquet, le plus pertinent est d'analyser ensemble tous les résultats obtenus, soit les variables significatives, les localisations des nids et les types d'occupation du sol présents dans leur environnement immédiat.

6.2.1 Ardenne

Comme mentionné précédemment (cf. 2.5 Menaces), les principaux facteurs limitant le maintien des populations de Moineaux friquets en Wallonie sont le manque de sites de nidification et la rareté des ressources alimentaires (Jacob et al., 2010). Il apparaît clairement que la majorité des variables significatives identifiées en Ardenne répondent directement à ces deux besoins fondamentaux.

En effet, la présence de murs à cavités et de nichoirs comble les besoins en sites de nidification, tandis que les infrastructures agricoles, notamment les fermes et les poulaillers, constituent des sources alimentaires riches et pérennes, tant en grains pour les adultes qu'en arthropodes pour les juvéniles.

En ce qui concerne les sites de nidification potentiels, la présence de nichoirs et de murs à cavités est très hautement significative (Tableau 6).

Ces résultats sont cohérents avec les observations de terrain, puisque tous les nids localisés en Ardenne l'ont été dans des bâtiments habités ou dans des nichoirs installés dans les villages.

Les habitations offrent en effet des cavités accessibles sous les toitures ou dans les anfractuosités des façades. Une étude récente classe le Moineau friquet parmi les espèces à "substrat anthropique", en soulignant explicitement sa dépendance aux structures humaines pour se reproduire (Malenky et al., 2025).

De plus, dans l'étude de Havlíček et al. (2021), la présence de bâtiments conditionne positivement la présence de l'espèce pour la même raison citée précédemment, en plus de la proximité aux différentes ressources humaines.

Quant aux nichoirs, Field et Anderson (2004) soulignent qu'ils sont généralement bien acceptés par le Moineau friquet lorsque les cavités naturelles sont absentes.

Cette affirmation ne semble cependant pas entièrement vraie dans ce cas-ci, puisque deux nidifications ont été observées dans des nichoirs même dans des contextes où des murs à cavités étaient disponibles à proximité. Dans un cas, l'utilisation des nichoirs peut s'expliquer par la rareté des cavités naturelles, largement compensée par un nombre élevé de nichoirs (>50) répartis dans le village.

Finalement, une observation très intéressante, deux d'entre eux étaient situés dans un jardin présentant un poulailler, qui s'avère être une autre variable très hautement significative, ceci sera d'ailleurs évoqué ultérieurement.

Il est intéressant de relever qu'aucune nidification dans des cavités d'arbres n'a été constatée dans en Ardenne ou en Lorraine.

Pourtant, historiquement, le Moineau friquet nichait dans ce type de cavités, comme en témoigne son nom anglais "Tree Sparrow". Toutefois, cette stratégie semble aujourd'hui devenue fort rare, tout du moins en Wallonie, probablement en raison de la raréfaction des vieux arbres à cavités dans les zones habitées et agricoles (Daskalova et al., 2018 ; Jacob et al., 2010).

Néanmoins, il convient de nuancer ce propos en reconnaissant un biais potentiel de détection : un couple isolé nichant discrètement dans une cavité d'arbre est plus difficile à repérer sur le terrain que des couples installés dans des bâtiments, souvent plus visibles.

D'un point de vue alimentaire, les poulaillers s'avèrent être l'un des facteurs les plus fortement associés à la présence du Moineau friquet (Tableau 6). Ces installations offrent une ressource alimentaire stable, notamment grâce à l'abondance de grains disponibles tout au long de l'année. De plus, cet accès certain aux graines permettrait aux adultes de consacrer davantage de temps à la recherche d'invertébrés pour l'alimentation des jeunes en période de reproduction.

Dans une étude menée en République Tchèque, les auteurs soulignent également que le Moineau friquet montre une nette préférence pour les micro-exploitations comportant moins de dix animaux domestiques, souvent constituées de volailles et de petits ruminants (Havlíček et al., 2021).

De la même manière, la présence de fermes s'est révélée être une variable très hautement significative. Il n'est donc guère étonnant que des variables comme les abris à bétail et les hangars de stockage soient également significatives, mais de façon moins importante (Tableau 6). Ces éléments sont généralement regroupés au sein d'une même entité agricole, mais leur répartition plus diffuse dans le paysage pourrait expliquer leur effet statistique plus modéré. Leurs effets positifs, découlent sûrement de l'apport d'invertébrés autour des zones de stockage (ensilage, fumier), en complément des résidus végétaux et grains utilisés pour l'élevage.

Enfin, les points d'eau jouent probablement un rôle complémentaire dans l'enrichissement trophique de l'environnement.

En créant des microhabitats humides, ces structures attirent une plus grande diversité d'arthropodes aquatiques et semi-aquatiques, constituant ainsi une ressource alimentaire supplémentaire potentiellement exploitée par le Moineau friquet, notamment en période de reproduction.

Concernant les haies, les résultats montrent un effet statistique très fortement significatif de leur longueur totale, en particulier au sein des villages, bien que l'intensité de cet effet reste faible à l'échelle unitaire. En effet, l'odds ratio proche de 1 (OR = 1.001) indique qu'un mètre supplémentaire de haie n'accroît la probabilité de présence du Moineau friquet que de 0,1 %. Cet effet modeste devient néanmoins écologiquement significatif lorsqu'il est cumulé sur de longues distances, ce qui traduit une influence réelle, mais opérant à des échelles paysagères plus larges, de l'ordre de plusieurs centaines de mètres. Plus spécifiquement, les haies jouent probablement un rôle multifonctionnel pour le Moineau friquet.

Elles offrent à la fois des sites de nourrissage, par la présence d'insectes, de graines ou de baies, et des refuges contre les prédateurs ou les intempéries, ce qui est particulièrement important en milieu agricole ouvert. Elles peuvent aussi servir de structure d'abri temporaire pour les jeunes ou les adultes en déplacement. Mais surtout, leur influence pourrait expliquer de manière plus indirecte l'hétérogénéité structurelle du paysage agricole, associée à une gestion moins intensive et donc plus favorable à la biodiversité.

Autrement dit, la haie ne constitue pas toujours un élément-clé en soi, mais elle reflète un contexte paysager plus global que le Moineau friquet semble privilégier.

Finalement, leur efficacité dépend de leur configuration : la densité, la hauteur, la largeur ou la présence d'arbres modifient leur usage potentiel par l'avifaune. Certaines études suggèrent même une préférence du Moineau friquet pour les haies plus basses et denses, évitant les formations trop hautes (>2 m), jugées peut-être moins accessibles ou moins adaptées (Rahman et al., 2011).

Pour finir, l'analyse des classes d'occupation du sol dans les buffers de 250 mètres autour des nids révèle également des préférences claires : la classe "MGramin" (incluant l'agriculture intensive, les jardins et espaces de loisirs) est dominante ce qui leur permet de subvenir à leur besoin alimentaire.

Viennent ensuite les structures artificielles (13,5 %) et les feuillus (12,2 %), comme expliqué précédemment la première leur permet de tirer profit des ressources alimentaires et des sites de nidification tandis que les feuillus leur servent de zone refuge (Havlíček et al., 2021).

Ces données confirment une affinité pour les zones en périphérie villageoise, où coexistent habitat humain, végétation semi-contrôlée et milieux ouverts, ceci est également vérifiable à l'échelle spatiale via la cartographie des observations où celles-ci sont rarement réalisées au cœur des villages.

En conclusion, l'ensemble des résultats met en évidence que la présence du Moineau friquet en Ardenne dépend d'une mosaïque paysagère fonctionnelle combinant à la fois des éléments bâtis traditionnels, des ressources alimentaires agricoles et des haies.

L'espèce exploite préférentiellement les interfaces entre milieux ouverts et habitats humains, tirant parti des cavités offertes par les bâtiments anciens, des ressources trophiques issues des fermes et des poulaillers, ainsi que des haies et jardins en périphérie des villages. Ce schéma d'occupation reflète une adaptation étroite aux paysages semi-ouverts de type rural, dans lesquels coexistent infrastructures anthropiques et éléments semi-naturels.

6.2.2 Lorraine

En Lorraine, le contexte est radicalement différent. La majorité des variables testées ne ressortent pas comme significatives. Seule la présence et le nombre d'abris à bétail sont hautement associées à la présence et à la nidification du Moineau friquet à l'échelle locale ($p = 0,00204$ et $p = 0,00161$). Ce résultat est fortement corroboré par les données de nidification, en effet, plus de 75 % des nids localisés en Lorraine sont situés dans ces structures. Et dans cette région 21 nids ont pu être localisés sur 29 couples recensés.

Dans ce cas-ci, les haies ne ressortent pas comme discriminantes en Lorraine, probablement en raison de leur homogénéité spatiale à l'échelle du paysage.

Concernant le contexte paysager des nids, il est assez différent de celui rencontré en Ardenne. En effet, de par leur localisation radicalement différente entre les deux régions, l'environnement à l'échelle locale est par conséquent distinct. Dans la majorité des cas, les abris à bétail sont situés au milieu de prairie, cela en fait par conséquent l'environnement direct le plus important, leur octroyant graines et insectes. Mais là où cela devient intéressant, c'est lorsque nous nous intéressons aux infrastructures humaines qui représentent seulement 5% de leur environnement et ces dernières sont devancées par les landes, les prairies extensives et les terres arables. Ainsi, dans cette région, le Moineau friquet ne semble pas dépendre particulièrement des infrastructures humaines pour subvenir à ses besoins hormis d'un lieu de nidification au milieu du paysage agricole. En effet, seuls 5 nids ont été trouvés dans les villages malgré un inventaire très rigoureux ainsi ils ne semblent pas particulièrement liés aux activités humaines notamment pour trouver des ressources alimentaires.

6.2.3 Comparaison entre les deux régions

Le Moineau friquet présente des stratégies d'occupation contrastées entre l'Ardenne et la Lorraine, en lien avec les spécificités paysagères locales.

En Ardenne, l'espèce exploite une mosaïque semi-ouverte structurée autour du bâti traditionnel, des petites exploitations agricoles et de végétation linéaire comme les haies ou jardins. Elle y dépend des infrastructures humaines pour se reproduire et s'alimenter, tirant parti à la fois des cavités de nidification et des ressources trophiques issues des fermes et poulaillers.

En Lorraine, à l'inverse de l'Ardenne, le Moineau friquet se concentre principalement dans les zones de prairies agricoles, où les abris à bétail isolés constituent les principaux sites de nidification.

Bien que les densités d'abris soient relativement comparables entre les deux régions ($6,33$ abris/ km^2 en Lorraine contre $4,93$ abris/ km^2 en Ardenne), leurs caractéristiques architecturales diffèrent, ce qui semble influencer leur attractivité pour l'espèce.

En Lorraine, bien que présents en nombre sur le terrain, aucun nid n'a été observé dans des abris constitués uniquement de tôle ou de bois/tôle. Près de 75 % des nids y ont été localisés dans des structures en dur (béton, brique ou pierre). Tandis que les 25 % restants étaient situés dans des abris constitués de bois et de tuile, probablement plus favorables à la nidification en raison de leur charpente plus massive que celles des toitures en simple tôle.

Ces abris, généralement fermés sur quatre côtés et dotés d'une unique entrée, présentent souvent des greniers ou espaces de stockage, et offrent une plus grande stabilité structurelle, ainsi qu'une protection accrue contre les intempéries. De plus, l'usage de parpaings creux génère des anfractuosités propices à l'installation, ce qui est particulièrement attrayant pour cette espèce cavernicole. Finalement, les propriétés thermiques du béton et de la pierre peuvent également jouer un rôle, en assurant une meilleure régulation des températures internes par inertie thermique, contrairement à la tôle, qui conduit rapidement le froid et la chaleur.

En Ardenne, à l'inverse, plus de la moitié des abris recensés sont intégralement construits en tôle, et 25 % supplémentaires combinent des murs en bois avec une toiture en tôle. Ces structures, souvent ouvertes sur plusieurs côtés (trois façades ou moins), sont rudimentaires et peu propices à la nidification. Seuls 21 % des abris présentent une construction en dur (béton, brique ou pierre), tous regroupés dans le sud de la région à proximité de la Lorraine (Annexe 7). Ainsi, la qualité structurelle globale des abris en Ardenne semble nettement inférieure à celle des structures disponibles en Lorraine, ce qui pourrait expliquer leur moindre attractivité pour la nidification.

Un second contraste majeur réside dans la localisation des nids par rapport aux zones habitées.

Alors que les densités de cavités villageoises sont plus élevées en Lorraine (128,11 cavités/km² contre 91,06 en Ardenne), les observations de nidification dans les villages y sont rares. Cette absence apparente ne semble pas liée à un manque de sites potentiels, mais plutôt à la faible accessibilité des ressources alimentaires. En effet, en Ardenne, les villages accueillent non seulement les cavités, mais aussi une densité importante d'infrastructures agricoles : 6,5 fermes/km² de village et 10,2 poulaillers/km² de village, offrant grains et arthropodes.

En Lorraine, ces éléments sont moins présents surtout pour les poulaillers, 5,8 fermes/km² de village et 6,1 poulaillers/km² de village. Il semblerait donc que la densité des infrastructures fournissant des ressources alimentaires soit potentiellement liée à la présence de l'espèce au sein des villages.

Un dernier point de divergence concerne l'influence des haies.

En Ardenne, leur longueur totale, notamment en zone urbaine, est très hautement significative, comme l'atteste le modèle GLM.

En Lorraine, en revanche, aucune relation significative n'a été détectée. Cette différence n'est pas due à un manque de haies, puisque les densités totales sont comparables entre les deux régions, aussi bien en zone campagne (7 238,76 m/km² en Ardenne contre 6 634,02 m/km² en Lorraine) qu'en zone villageoise (20 881,77 m/km² contre 19 899,08 m/km²). L'absence d'effet en Lorraine pourrait s'expliquer par une répartition plus homogène des haies, rendant leur présence moins discriminante à l'échelle locale, et l'hétérogénéité du paysage plus globale.

En conclusion, ces divergences soulignent la nécessité d'actions ciblées et localisées selon le contexte régional. En Lorraine, l'ajout de ressources alimentaires dans les villages et l'installation de nichoirs sur les abris à bétail actuellement non exploitables pourraient favoriser l'expansion de l'espèce au-delà des prairies. En Ardenne, les campagnes pourraient être davantage investies en y implantant des structures adaptées à la nidification.

Dans les deux cas, la restauration de la complexité paysagère, via l'implantation de haies, bandes herbeuses et autres éléments semi-naturels, représente un levier transversal pour améliorer la qualité de l'habitat.

7. Proposition d'un plan d'action

Comme mentionné précédemment, de nombreuses menaces pèsent sur le Moineau friquet dont 2 particulièrement : l'intensification agricole et l'urbanisation. Afin d'enrayer ces menaces plusieurs solutions ont déjà été testées et certaines sont encourageantes. La meilleure façon de venir en aide à cette espèce est de lui fournir les ressources qui lui sont difficilement accessibles aujourd'hui à savoir les sites de nidifications et des ressources alimentaires. Évidemment les solutions à mettre en place seront à adapter à la situation locale pour répondre au mieux au besoin de l'espèce. (c.f. 2.5 Menaces).

7.1 Maintenir les structures actuelles

Avant toute mesure de compensation ou d'aménagement, la priorité doit être donnée à la préservation des structures actuellement utilisées par le Moineau friquet, qui sont au cœur de son écologie locale et conditionnent sa survie en Ardenne et en Lorraine.

En Lorraine, ce sont principalement les abris à bétail traditionnels qui jouent un rôle essentiel. Ces structures en dur (béton, brique, pierre), souvent pourvues d'anfractuosités et fermées sur quatre côtés, constituent les principaux sites de nidification. Il faut donc à tout prix les préserver et éviter leur remplacement par des constructions plus modernes en métal ou ouvertes.

En Ardenne, l'espèce dépend fortement des villages, notamment des murs à cavités présents dans les habitations anciennes, ainsi que des structures agricoles alimentaires comme les poulaillers et les petites fermes. Or, ces éléments sont de plus en plus menacés par les rénovations et les travaux d'isolation. Les murs anciens sont souvent rénovés de manière à colmater les cavités, rendant les bâtiments inaccessibles à la nidification. De plus, l'extension des villages en périphérie se traduit généralement par des constructions neuves aux normes énergétiques modernes, dont les façades lisses ne présentent plus aucune ouverture exploitable.

Dans ce contexte, il est crucial de conserver les bâtiments anciens encore présents, en sensibilisant les propriétaires et les communes à l'intérêt de laisser certaines cavités ouvertes, ou d'y intégrer des briques de nidification spécialement conçues à cet effet. Plusieurs études montrent que ces dispositifs intégrés au bâti sont bien acceptés par de nombreuses espèces cavernicoles, y compris le Moineau friquet, lorsqu'ils sont placés à la bonne hauteur, protégés des intempéries, et situés dans des zones calmes (Sierro & Arlettaz, 2003 ; Kipping et al., 2016). Ces briques offrent une solution esthétique, durable et compatible avec les contraintes architecturales modernes.

Enfin, les structures alimentaires (micro-fermes, poulaillers, zones de stockage) doivent également être préservées. Elles apportent une ressource trophique précieuse et stable pour les adultes comme pour les jeunes. Les politiques d'aménagement local devraient donc veiller à maintenir ce tissu rural hétérogène, notamment en freinant la disparition des petites exploitations et en valorisant les pratiques agricoles extensives.

En somme, le maintien du Moineau friquet passe d'abord par la conservation des structures existantes, qu'elles soient architecturales ou agricoles. Ces éléments sont essentiels au maintien de conditions de vie favorables dans un paysage rural de plus en plus homogénéisé et artificialisé.

7.2 Gestion et amélioration de l'habitat

Si la préservation des structures existantes constitue une priorité, elle doit impérativement s'accompagner de mesures actives pour restaurer un habitat fonctionnel et diversifié. Les paysages agricoles actuels, de plus en plus homogènes et intensifiés, ne répondent plus aux exigences écologiques du Moineau friquet, notamment en matière de structure paysagère et de disponibilité en ressources alimentaires (Juignet, 2018).

7.2.1 Structure paysagère à maintenir et restaurer

La conservation et la restauration des éléments structurants du paysage tels que les haies, bocages, arbres isolés, friches, talus, bords de parcelles enherbés, murets ou cours de fermes traditionnelles sont essentielles. Ces éléments améliorent la connectivité écologique et fournissent des abris, des sites de nourrissage et potentiellement des lieux de nidification (Havlíček et al., 2021 ; Juignet, 2018).

Les haies jouent un rôle majeur : elles structurent le paysage, favorisent la biodiversité et traduisent souvent un usage agricole moins intensif. Pour optimiser leur valeur écologique, elles doivent rester basses (<2 m), larges, denses à la base et composées d'un mélange d'essences locales. Une gestion différenciée et rotative, avec des tailles effectuées en fin d'hiver pour ne pas perturber la reproduction, est fortement recommandée (Rahman et al., 2011 ; Hinsley & Bellamy, 2000).

Les prairies fleuries et les bandes herbacées permanentes représentent également un levier efficace : elles attirent une faune entomologique abondante, constituant une ressource essentielle pendant la reproduction. Leur gestion doit rester extensive, sans fauche précoce ni fertilisation excessive (Juignet, 2018). En Ardenne, les micro-exploitations traditionnelles, avec leurs cours enherbées, bâtiments anciens et diversité de résidus agricoles, offrent des conditions idéales pour le Moineau friquet (Havlíček et al., 2021).

7.2.2 Gestion agricole et disponibilité alimentaire

La raréfaction des ressources hivernales est un facteur limitant pour de nombreuses espèces granivores. Afin d'y remédier, plusieurs pratiques agricoles peuvent être mises en place. Les couverts végétaux à graines, spécialement semés pour produire des ressources alimentaires hivernales, sont essentiels (Colhoun et al., 2017). Le maintien des chaumes durant l'hiver – particulièrement via la culture de céréales de printemps – offre une ressource accessible tout en procurant une certaine protection contre les prédateurs (Juignet, 2018).

Enfin, il est crucial de soutenir les exploitations agricoles familiales de type traditionnel. Ces structures, comme les poulaillers ou les petites fermes avec stockage de grain ou d'ensilage, offrent à la fois des sites de nidification potentiels et une ressource alimentaire abondante et stable pour l'espèce tout au long de l'année (Havlíček et al., 2021).

7.2.3 Installation de nichoirs

Une fois l'habitat restauré, la pose de nichoirs constitue une mesure complémentaire, ciblant spécifiquement le manque de cavités naturelles, notamment dans les zones rurales modernisées. L'Ardenne et la Lorraine pourraient toutes deux bénéficier de campagnes d'installation, ciblant respectivement les abords des villages pour l'Ardenne, et les abris à bétail non exploitables pour la Lorraine.

Pour être efficace, l'installation doit être localisée à proximité de zones déjà occupées, car les jeunes ont tendance à s'installer près de leur site de naissance. Elle est à programmer à la fin de l'automne, période à laquelle les couples prospectent déjà des cavités pour y passer l'hiver. Ces sites peuvent être réutilisés au printemps, ce qui favorise la réussite reproductive (Summers-Smith, 1995 ; Pinowski et al., 2014).

Les nichoirs doivent être nettoyés chaque année en février, mais le matériel de nidification ne doit pas être retiré dès la fin de l'été, car les moineaux utilisent ces cavités comme dortoirs hivernaux (García-Navas et al., 2008).

Les nichoirs en béton de bois sont à privilégier. Ils offrent des conditions thermiques plus stables (+1,5 °C), permettent des pontes plus précoces, un plus grand nombre de tentatives de reproduction, et un taux d'occupation de 76,5 %, contre seulement 33,5 % pour les nichoirs en bois classique (García-Navas et al., 2008).

Les dimensions idéales sont les suivantes : trou d'entrée de 32 mm, volume de 1870 cm³, forme cylindrique étroite et profonde, adaptée à la morphologie de l'espèce. L'installation doit se faire à 3 mètres de hauteur, légèrement penchée vers l'avant, orientée est ou sud-est, à l'abri du plein soleil comme de l'ombre totale (García-Navas et al., 2008 ; Natagora). Une installation groupée est fortement recommandée pour favoriser les colonies, avec des perchoirs naturels à proximité, car les adultes observent souvent les alentours avant d'entrer dans leur cavité.

7.3 Suivi scientifique

Pour compléter toutes les actions précédentes, il faut continuer les programmes de monitoring à long terme pour évaluer l'efficacité des mesures de conservation afin de comprendre les dynamiques de population (Johnston, 2011). Notamment afin d'évaluer le succès de la campagne d'installation de nichoirs. Il est également possible d'intégrer le public dans des projets de sciences citoyennes pour le monitoring et la surveillance des nids avec comptage annuel des couples (Enselme, 2023; Jokimäki et al., 2021).

Finalement, il ne faut pas oublier que les espèces ne tiennent pas compte des limites administratives des pays c'est pourquoi la mise en place d'actions transfrontalières, incluant l'amélioration des connaissances, la sensibilisation, et la préservation des habitats représente une approche intégrée nécessaire à l'échelle européenne (Juignet, 2018).

8. Limites et perspectives de l'études

Malgré un protocole de terrain rigoureux, plusieurs limites doivent être prises en compte dans l'interprétation des résultats de cette étude sur le Moineau friquet (*Passer montanus*).

Le principal biais de notre approche réside dans l'approximation des comportements de nidification, liée à l'impossibilité de localiser tous les nids et au faible effectif de ceux identifiés avec certitude. Nous avons donc défini les buffers à partir des points d'observation des individus, ou à partir des nids lorsqu'ils étaient localisés. Cette méthode introduit une incertitude quant à la position exacte des nids à l'intérieur des buffers, voire la possibilité que certains se trouvent en dehors de ces limites. Par conséquent, l'interprétation de l'utilisation de l'environnement par l'espèce peut être légèrement biaisée. Toutefois, malgré cette limite, les résultats que nous avons obtenus restent cohérents avec les données disponibles dans la littérature scientifique.

Après, la collecte des données aurait pu être approfondie, notamment en ce qui concerne les caractéristiques des structures bâties. En effet, l'absence d'information détaillée sur les matériaux composant les murs à cavités limite la précision des analyses portant sur ces derniers et leur influence sur les préférences de nidification.

Par ailleurs, tous les nids n'ont pas pu être localisés, en particulier dans les zones ardennaises où la densité d'observations était plus faible. Cette sous-détection, combinée à un nombre de répétitions insuffisant, a restreint les possibilités d'analyse statistique. En particulier, l'impossibilité de recourir à des analyses multivariées constitue une contrainte importante. Cela limite notre capacité à évaluer les effets croisés entre les variables explicatives, à contrôler les effets de colinéarité et à établir une hiérarchisation des facteurs influençant la présence de l'espèce. Ainsi, certains effets détectés suite à des analyses univariées pourraient être surestimés ou résulter de confusions, invitant à la prudence quant à toute interprétation de causalité. Ces éléments soulignent la nécessité d'un suivi complémentaire sur un échantillon plus large.

Les conditions d'observation hétérogènes constituent un autre facteur de variation non négligeable. Les oiseaux ne présentent pas une activité constante tout au long de la journée, or il n'a pas été possible d'effectuer les relevés dans toutes les mailles à des moments équivalents. De même, les conditions météorologiques ont varié d'un jour à l'autre, bien qu'elles soient restées dans une fourchette raisonnable permettant des observations valides. De plus, la période d'inventaire s'est étendue sur environ 45 jours, ce qui introduit un biais supplémentaire lié à l'évolution du comportement des moineaux au fil de la période de reproduction.

Un biais observateur est également à considérer, puisque les données ont été collectées par trois personnes différentes. Des divergences inter-observateurs dans la détection ou l'interprétation de certains indices de présence ne peuvent être totalement exclues, malgré un effort de standardisation des pratiques.

De plus, la possibilité de pseudo-absences demeure, en dépit du protocole mis en place pour en limiter l'occurrence. Certains individus présents dans la zone d'étude ont pu ne pas être détectés, ce qui pourrait biaiser l'estimation de la distribution de l'espèce.

Ensuite, la cartographie des haies, réalisée à partir d'images satellites, comporte ses propres limites. Si la longueur des haies a pu être quantifiée, aucune information sur leur hauteur, leur largeur ni leur composition

floristique n'a pu être intégrée, ce qui réduit la précision des analyses portant sur la qualité des structures linéaires boisées.

Finalement, cette étude a permis d'identifier plusieurs facteurs favorables à la présence du Moineau friquet, comme les murs à cavité et les abris à bétail. Toutefois, le déclin fulgurant de l'espèce pourrait également s'expliquer par d'autres éléments encore mal compris, tels que l'émergence de maladies.

9. Conclusion

Cette étude a permis d'atteindre les objectifs fixés initialement en identifiant avec succès les variables environnementales et paysagères influençant la présence du Moineau friquet dans les deux régions étudiées, tout en caractérisant précisément les sites de nidification utilisés par l'espèce, fournissant ainsi les bases scientifiques nécessaires à l'élaboration du plan d'action prévu dans le cadre du projet LIFE B4B.

Ce travail a permis de consolider les connaissances actuelles sur l'état préoccupant des populations de Moineaux friquets, *Passer montanus*, en Wallonie. Le constat est sans équivoque : l'espèce est en fort déclin, avec une répartition extrêmement hétérogène sur le territoire et des densités très faibles. Ce faible nombre d'individus observés sur le terrain a d'ailleurs limité la portée des analyses statistiques, certaines méthodes, notamment multivariées, n'ayant pu être appliquées.

Les résultats obtenus mettent néanmoins en évidence plusieurs leviers d'action concrets et régionalisés. En priorité, la préservation des structures actuellement utilisées par l'espèce : maintien des abris à bétail en dur en Lorraine, conservation des murs à cavités et des infrastructures agricoles traditionnelles (poulaillers, fermes) en Ardenne. Il est également possible de restaurer la structure paysagère grâce à l'implantation de haies basses et denses, de prairies fleuries et de bandes herbacées permanentes. Enfin, l'installation ciblée de nichoirs en béton de bois, positionnés aux bords des villages en Ardenne et sur les abris à bétail non exploitables en Lorraine, constitue une mesure complémentaire efficace.

Ces actions doivent être déployées en priorité en Ardenne et en Lorraine, les seules régions où l'espèce maintient encore des effectifs suffisants.

En conclusion, ce travail ne vise pas à dresser un tableau fataliste, mais à rappeler que des solutions existent. Le véritable enjeu réside dans la capacité des gestionnaires, décideurs politiques et agriculteurs à concrétiser ces recommandations en actions opérationnelles, mesurables et suivies dans le temps. C'est à cette condition que la trajectoire actuelle du Moineau friquet pourra, peut-être, être infléchie de manière durable.

10. Contributions personnelles

La réalisation de ce travail de fin d'étude a nécessité de nombreuses recherches, récoltes de données et analyses. L'étudiante a :

1. Effectué des recherches bibliographiques sur l'écologie du Moineau friquet, *Passer Montanus*.
2. Codé un modèle MaxEnt pour aiguiller le plan d'échantillonnage avec l'aide de Thomas Duchesne.
3. Elaboré un plan d'échantillonnage et une méthode de collecte de données.
4. Réalisé des inventaires de terrain, en encodant les variables environnementales et les caractéristiques des nids, aidée par Axel Rondenbosh et Léopold Guérin, alors en stage de Master 1 chez Natagora.
5. Analysé les données récoltées via un modèle linéaire généralisé.
6. Rédigé une discussion poussée et réfléchie sur les résultats.
7. Proposé des actions à mettre en œuvre pour enrayer le déclin du Moineau friquet.

11. Bibliographie

Baranovskii, A. V., & Ivanov, E. S. (2016). *Gnezdyashchiesya ptitsy goroda Ryazani: atlas rasprostraneniya i osobennosti biologii* [Breeding Birds of the City of Ryazan: Atlas of distribution and biological features] (367 p.). Ryazan: Pervopechatnik.

Barlow, J. C., Leckie, S. N., Pyle, P., & Patten, M. A. (2020). *Eurasian Tree Sparrow (Passer montanus)* (S. M. Billerman, Ed.; Version 1.0). In *Birds of the World*. Cornell Lab of Ornithology. <https://doi.org/10.2173/bow.eutspa.01>

Bonne, L. (2009). Les moineaux hybrides dans une zone d'Ardenne belge marquée par une forte diminution du Moineau friquet (*Passer montanus*). *Aves*, 46(3), 113-118.

Cellier, A., Leray, C., & Mallet, A. (2018). Déclin du Moineau friquet *Passer montanus* dans l'Est lyonnais. *L'Effraie*, 47, 23-27.

Climat & Biodiversité (s.d.). Bilan Moineau friquet. <https://climatetbiodiversite.jimdofree.com/actualit%C3%A9s-1/bilan-moineau-friquet/>

Service public de Wallonie. (2019). *Code wallon de l'environnement – Livre II : Conservation de la nature*. <https://environnement.wallonie.be>

Conseil de l'Europe. (1979). *Convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe* (Convention de Berne). <https://www.coe.int/fr/web/conventions/full-list/-/conventions/treaty/104>

Cramp, S., & Perrins, C. M. (Eds.). (1994). *Handbook of the Birds of Europe, the Middle East and North Africa: The Birds of the Western Palearctic. Volume 9: Buntings and New World Warblers*. Oxford University Press.

Daskalova, G. N., Phillimore, A. B., Bell, M., Maggs, H. E., & Perkins, A. J. (2018). Population responses of farmland bird species to agri-environment schemes and land management options in Northeastern Scotland. *Journal of Applied Ecology*. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13309>

Derouaux, A (2021) : Analyse des données issues du programme SOCWAL (Surveillance des Oiseaux Communs en Wallonie) pour la période 1990-2024. Natagora, rapport interne.

Dolenec, Z., Dolenec, P., & Møller, A. P. (2011). Warmer springs, laying date and clutch size of tree sparrows *Passer montanus* in Croatia. *Current Zoology*, 57(3), 414-418. <https://doi.org/10.1093/czoolo/57.3.414>

ELIE - UCLouvain. (2015). *Cartographie prédictive de l'habitat de Passer montanus*. LifeWatch Wallonia-Brussels. <https://maps.elie.ucl.ac.be/lifewatch/habitat.html?lang=fr&year=2015&species=Passer-montanus>

Enselme, G. (2023). Bilan Moineau friquet. Climat & Biodiversité. <https://climatetbiodiversite.jimdofree.com/actualit%C3%A9s-1/bilan-moineau-friquet/>

Field, R. H., & Anderson, G. Q. A. (2004). Habitat use by breeding Tree Sparrows *Passer montanus*. *Ibis*, 146(s2), 60-68. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2004.00356.x>

Folk, Č., & Pellantová, J. (1985). The diet of young Tree Sparrows and its influence on their postnatal development in a woodland park. *Folia Zoologica (Brno)*, 34, 335–347.

Frimer, O. (1989). Food and predation in suburban Sparrowhawks *Accipiter nisus* during the breeding season. *Dansk Ornitol. Forenings Tidsskrift*, 83(1), 35-44.

García-Navas, V., Arroyo, L., José Sanz, J., & Díaz, M. (2008). Effect of nestbox type on occupancy and breeding biology of Tree Sparrows *Passer montanus* in central Spain. *Ibis*, 150(2), 356-364. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2008.00799.x>

Géroudet, P. (1998). *Les Passereaux d'Europe, de la bouscarle aux bruants : vol. 2, des fauvettes aux bruants* (2^e éd.). Lausanne & Paris : Delachaux & Niestlé.

Graham, L., Gaulton, R., Gerard, F., & Staley, J. T. (2018). Hedgerow conservation in agricultural landscapes: A global synthesis and meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 55(2), 612–622. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13022>

Grass, I., Lehmann, K., Thies, C., & Tscharntke, T. (2017). Insectivorous birds disrupt biological control of cereal aphids. *Ecology*, 98(6), 1583-1590. <https://doi.org/10.1002/ecy.1814>

Havlíček, J., Zárybnická, M., & Hořák, D. (2021). Nest-site selection in birds: the significance of building characteristics. *Journal of Ornithology*, 162(3), 681–693. <https://doi.org/10.1007/s11252-021-01111-9>

Hinsley, S. A., & Bellamy, P. E. (2000). The influence of hedge structure, management and landscape context on the value of hedgerows to birds: a review. *Journal of Environmental Management*, 60(1), 33–49. <https://doi.org/10.1006/jema.2000.0360>

Jacob, J.-P., Dehem, C., Burnel, A., Dambiermont, J.-L., Fasol, M., Kinet, T., van der Elst, D., & Paquet, J.-Y. (Éds.). (2010). *Atlas des oiseaux nicheurs de Wallonie 2001–2007* (Série Faune-Flore-Habitats, n° 5). Aves et Département de l'Étude du Milieu Naturel et Agricole, Région wallonne.

Johnson, D. H. (1980). The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology*, 61(1), 65–71. <https://doi.org/10.2307/1937156>

Johnston, J. (2011). The Big Waters Tree Sparrow *Passer montanus* colony 1996-2009. *Northumbrian Naturalist*, 70(3), 91-102.

Jokimäki, J., Suhonen, J., & Kaisanlahti-Jokimäki, M.-L. (2021). Differential Long-Term Population Responses of Two Closely Related Human-Associated Sparrow Species with Respect to Urbanization. *Birds*, 2(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/birds2030017>

Juignet, C. (2018). *Plan d'actions transfrontalier pour le Moineau friquet* [Projet Interreg V TEC! – Tous Eco-Citoyens!]. Groupe ornithologique et naturaliste du Nord – Pas-de-Calais & Métropole Européenne de Lille.

Keller, V., Herrando, S., Voršek, P., Franch, M., Kipson, M., Milanesi, P., Martí, D., Anton, M., Klvaňová, A., Kalyakin, M. V., Bauer, H.-G., & Foppen, R. P. B. (2020). *European Breeding Bird Atlas 2: Distribution, abundance and change*. European Bird Census Council & Lynx Edicions.

Kerman, K., & Ayas, Z. (2016). Effects of nest positioning on fledging success in a breeding colony of *Passer montanus* (Passeridae): A case study in Central Anatolia, Turkey. *Italian Journal of Zoology*, 83(2), 270-274. <https://doi.org/10.1080/11250003.2016.1157631>

Kipping, J., et al. (2016). *Artificial nesting structures as a tool for bird conservation in urban areas: the example of the House Sparrow and Swift bricks*. *Urban Ecosystems*, 19, 123–132.

Krebs, J. R., Wilson, J. D., Bradbury, R. B., & Siriwardena, G. M. (1999). The second Silent Spring? *Nature*, 400(6745), 611. <https://doi.org/10.1038/23127>

Lee, Y.-F., Kuo, Y.-M., & Chu, W.-C. (2016). Energy state affects exploratory behavior of tree sparrows in a group context under differential food-patch distributions. *Frontiers in Zoology*, 13, Article 48. <https://doi.org/10.1186/s12983-016-0180-y>

Lee, J.-H., Nam, W.-H., Lee, D.-Y., & Sung, H.-C. (2022). Why was he murdered? The first report of the motive for conspecific killing in a flock of captive tree sparrows (*Passer montanus*) through direct video surveillance. *Journal of Ethology*, 40(2), 199–204. <https://doi.org/10.1007/s10164-022-00756-z>

Lee, J.-H., Kim, S.-Y., Cho, D.-H., & Sung, H.-C. (2023). Nest entry shape change may cause nest abandonment in urban cavity-nesting species: A case study of the tree sparrow *Passer montanus*. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 69(1), 63–72. <https://doi.org/10.17109/AZH.69.1.63.2023>

Lee, J.-H., Kim, S.-Y., & Sung, H.-C. (2024). Nest site selection, nest characteristics, and breeding ecology of the Eurasian tree sparrow, *Passer montanus*, living in an urban area. *Animal Taxonomy and Ecology*, 70(1), 46–60. <https://doi.org/10.1556/1777.2024.12046>

Levin, S. A. (1992). *The problem of pattern and scale in ecology*. *Ecology*, 73(6), 1943–1967. <https://doi.org/10.2307/1941447>

LIFE Belgium for Biodiversity. (n.d.). *LIFE B4B*. <https://www.lifeb4b.be/>

Litwiniak, K., & Przymencki, M. (2019). Nesting of Eurasian Tree Sparrow *Passer montanus* in a nest of Red Kite *Milvus milvus*. *Ornis Svecica*, 29. <https://doi.org/10.34080/os.v29.20022>

LPO. (s.d.). *Moineau friquet (Passer montanus)*. LPO – Ligue pour la protection des oiseaux. Consulté le 9 juillet 2025, sur <https://www.lpo.fr/decouvrir-la-nature/fiches-especes/fiches-especes/oiseaux/moineau-friquet>

Mayer, J. (2025). Feldsperling (Passer montanus) Dokumentation eines lokalen Aussterbeereignisses. *Artenschutz und Biodiversität*, 6(1), 1-9. <https://doi.org/10.55957/LUFW7512>

Malenyk, Y. R., Komlyk, Y. A., & Ponomarenko, O. L. (2025). Activity of bird assemblages and distribution of nesting groups in the objects of garden and park management of the right-bank part of Dnipro City. *Agrology*, 8(2), 57–64. <https://doi.org/10.32819/202508>

Mayor, S. J., Schneider, D. C., Schaefer, J. A., & Mahoney, S. P. (2009). Habitat selection at multiple scales. *Écoscience*, 16(2), 238–247. <https://doi.org/10.2980/16-2-3238>

McGarigal, K., & Cushman, S. A. (2002). *Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation effects*. Ecological Applications, 12(2), 335–345. [10.1890/1051-0761\(2002\)012\[0335:CEOEAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2002)012[0335:CEOEAT]2.0.CO;2)

Mónus, F., & Barta, Z. (2016). Is Foraging Time Limited During Winter? – A Feeding Experiment with Tree Sparrows Under Different Predation Risk. *Ethology*, 122(1), 20–29. <https://doi.org/10.1111/eth.12439>

Observations.be. (s.d.). *Moineau friquet (Passer montanus) – observations depuis 2020 en Belgique*. Consulté le 9 juillet 2025, sur https://observations.be/species/166/observations/?date_after=2020-01-01&date_before=2025-07-09&country_division=&search=&user=&location=&sex=&month=&life_stage=&activity=&method=&sort=-number

Paquet, J.-Y., Chouett, J., Derouaux, A., Kinet, T., Roovers, L., Sierens, T., & Jacob, J.-P. (2021). *La liste rouge des oiseaux nicheurs menacés en Wallonie : Évaluation 2020 selon les critères de l’UICN*. Aves, 58(2), 67–104. Natagora.

Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). *Maximum entropy modeling of species geographic distributions*. Ecological Modelling, 190(3–4), 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>

Pinowski, J., Václav, R., Pinowska, B., & Romanowski, J. (2014). Post-breeding courtship: Public information about breeding habitat quality? *Journal of Ornithology*, 155, 253–264. <https://doi.org/10.1007/s10336-013-1007-7>

Puchala, P. (2004). Detrimental effects of larval blow flies (Protocalliphoraazurea) on nestlings and breeding success of Tree Sparrows (Passer montanus). *Canadian Journal of Zoology*, 82(8), 1285–1290. <https://doi.org/10.1139/Z04-111>

Radoux, J., De Vroey, M., Goffart, B., Coppée, T., Bourdouxhe, A., Pauly, C., Dufrêne, M., & Defourny, P. (2022). *Lifewatch-WB geodatabase (v6.20): Attribute description* [prépublication]. Université catholique de Louvain.

Rahman, M.L., et al. (2011). *The conservation value of restored landfill sites in the East Midlands, UK for supporting bird communities*. Biodiversity and Conservation, 20(9), 1879–1893. <https://doi.org/10.1007/s10531-011-0064-6>

Ramos-Elvira, E., Banda, E., Arizaga, J., Martín, D., & Aguirre, J. I. (2023). Long-Term Population Trends of House Sparrow and Eurasian Tree Sparrow in Spain. *Birds*, 4(2), 159-170. <https://doi.org/10.3390/birds4020013>

Šálek, M., Riegert, J., & Grill, S. (2015). The House Sparrows *Passer domesticus* and Tree Sparrows *Passer montanus*: Fine-scale distribution, population densities, and habitat selection in a Central European city. *Acta Ornithologica*, 50(2), 221–232. <https://doi.org/10.3161/00016454AO2015.50.2.010>

Sasvari, L., & Hegyi, Z. (1994). Colonial and Solitary Nesting Choice as Alternative Breeding Tactics in Tree Sparrow *Passer montanus*. *The Journal of Animal Ecology*, 63(2), 265. <https://doi.org/10.2307/5545>

Service public de Wallonie (SPW) - Relief de la Wallonie - Modèle Numérique de Terrain (MNT) 2021-2022 (2024-01-23)

<https://geodata.wallonie.be/id/a004e570-99d6-4fe5-b83d-49b774409278>

Sierro, A., & Arlettaz, R. (2003). *L'utilisation de nichoirs artificiels comme moyen de conservation de l'avifaune cavernicole*. Nos Oiseaux, 50(2), 75–85.

Solberg, E. J., & Ringsby, T. H. (1996). Hybridisation between House Sparrow *Passer domesticus* and Tree Sparrow *Passer montanus*. *Journal Für Ornithologie*, 137(4), 525-528. <https://doi.org/10.1007/BF01661107>

Solberg, E. J., Jensen, H., Ringsby, T. H., & Sæther, B.-E. (2006). Fitness consequences of hybridization between house sparrows (*Passer domesticus*) and tree sparrows (*P. montanus*). *Journal of Ornithology*, 147(3), 504-506. <https://doi.org/10.1007/s10336-005-0033-5>

Tomiałożć, L. (2012). Changes in Tree Sparrow *Passer montanus* populations from urban parks. *International Studies on Sparrows*, 36(1), 4–17.

Turner, M. G., Gardner, R. H., & O'Neill, R. V. (2001). *Landscape ecology in theory and practice: Pattern and process*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-794-4>

Union européenne. (2009). *Directive 2009/147/CE du Parlement européen et du Conseil du 30 novembre 2009 concernant la conservation des oiseaux sauvages*. Journal officiel de l'Union européenne. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex:32009L0147>

Vlaamse Overheid. (2017). *Natuurdecreet van 21 oktober 1997* [Décret flamand sur la conservation de la nature]. <https://www.vlaanderen.be>

Von Post, M., & Smith, H. G. (2015). Effects on rural House Sparrow and Tree Sparrow populations by experimental nest-site addition. *Journal of Ornithology*, 156(1), 231-237. <https://doi.org/10.1007/s10336-014-1117-x>

Wegrzynowicz, A. (2017). Breeding parameter changes in two syntopic urban Sparrow species with contrasting population trends. *Ornis Fennica*, 94(3), Article 3. <https://doi.org/10.51812/of.133917>

Wiens, J. A. (1989). *Spatial scaling in ecology*. Functional Ecology, 3(4), 385–397.
<https://doi.org/10.2307/2389612>

12. Annexes

Annexe 1 : Performances des modèles MaxEnt en Ardenne et en Lorraine selon différentes combinaisons de variables.

Modèle	Ardenne et Lorraine		
	AUC train	AUC test	Différence
Occupation du sol	0,85	0,85	0,003
Occupation du sol + coordonnées	0,88	0,88	< 0,001
Occupation du sol + altitude	0,88	0,88	0,002
Occupation du sol + altitude + coordonnées	0,89	0,89	0,002

Annexe 2 : Influence et contribution des différentes variables du modèle MaxEnt pour en Ardenne et en Lorraine.

Variable	Contribution (%)
Eau (LC 10)	1,17
Sols nus permanents (LC 15)	0,06
Bâtiments (LC 21)	10,24
Terres arables (LC 30)	2,59
Prairies gérées (LC 35)	57,62
Végétation ouverte sèche (LC 40)	1,64
Végétation ouverte humide (LC 45)	0,12
Végétation ligneuse perturbée (LC 48)	0,75
Arbres et arbustes résineux (LC 50_51)	15,28
Arbres et arbustes feuillus (LC 55_56)	0,33
Altitude	5,14
Coordonnées X	1,54
Coordonnées Y	3,53

Annexe 3 : Mailles échantillonnées en Ardenne.

Bloc avec Moineau friquet en Ardenne				
Identifiant Maille	Nombre de nids	Nombre de couples	Prédiction	Lieu
Bloc_1_Point_1	0	0	prédition + occurrence	Elsenborn
Bloc_1_Point_2	0	2	prédition	
Bloc_1_Point_3	1	2	prédition	
Bloc_3_Point_1	0	0	Prédition + occurrence	Valender
Bloc_3_Point_2	0	1	prédition	
Bloc_3_Point_3	0	0	occurrence	
Bloc_4_Point_1	0	0	prédition	Recht
Bloc_4_Point_2	0	1	prédition	
Bloc_4_Point_3	0	1	prédition + occurrence	
Bloc_5_Point_1	0	0	prédition	Lierneux
Bloc_5_Point_2	0	0	prédition	
Bloc_5_Point_3	1	3	prédition + occurrence	
Bloc_6_Point_1	0	0	prédition	Courtil et Bovigny
Bloc_6_Point_2	5	14	prédition + occurrence	
Bloc_6_Point_3	0	1	prédition	
Bloc_8_Point_1	0	1	prédition + occurrence	Champlon et Journal
Bloc_8_Point_2	0	0	prédition	
Bloc_8_Point_3	0	0	prédition	
Bloc_9_Point_1	1	1	prédition	Bertogne
Bloc_9_Point_2	0	1	prédition + occurrence	
Bloc_9_Point_3	1	1	prédition	
Bloc_10_Point_1	1	1	prédition + occurrence	Arville
Bloc_10_Point_2	Non inventorié		prédition	
Bloc_10_Point_3	0	1	prédition + occurrence	
Bloc_12_Point_1	0	0	prédition	Glaireuse
Bloc_12_Point_2	0	0	prédition	
Bloc_12_Point_3	1	1	prédition + occurrence	

Bloc_13_Point_1	2	6	prédition + occurrence	Flobimont et St Pierre et Lamouline
Bloc_13_Point_2	0	0	prédition + occurrence	
Bloc_13_Point_3	0	0	prédition	
Bloc_14_Point_1	0	1	prédition + occurrence	Monceau en Ardenne
Bloc_14_Point_2	0	0	occurrence	
Bloc_14_Point_3	0	0	occurrence	
Bloc_15_Point_1	0	0	prédition	Saint Médard et Gribomont
Bloc_15_Point_2	1	1	prédition	
Bloc_15_Point_3	0	2	prédition + occurrence	

Bloc sans Moineau friquet en Ardenne

Identifiant Maille	Nombre de nids	Nombre de couples	Prédition	Lieu
Bloc_2_Point_1	/	/	/ prédition + occurrence	Géromont
Bloc_2_Point_2	/	/	/ occurrence	
Bloc_2_Point_3	/	/	/ prédition	
Bloc_7_Point_1	/	/	/ prédition	Fontenaille
Bloc_7_Point_2	/	/	/ prédition + occurrence	
Bloc_7_Point_3	/	/	/ prédition	
Bloc_11_Point_1	/	/	/ prédition + occurrence	Jenneville et Bonnerue
Bloc_11_Point_2	/	/	/ prédition	
Bloc_11_Point_3	/	/	/ prédition	

Annexe 4 : Mailles échantillonées en Lorraine.

Bloc avec Moineau friquet en Lorraine				
Identifiant Maille	Nombre de nids	Nombre de couples	Prédition	Lieu
Bloc_1_Point_1	0	0	0 prédition + occurrence	Fontenoille
Bloc_1_Point_2	0	0	0 occurrence	
Bloc_1_Point_3	0	1	1 prédition + occurrence	
Bloc_2_Point_1	0	1	1 prédition + occurrence	Martué
Bloc_2_Point_2	0	0	0 occurrence	
Bloc_2_Point_3	0	0	0 prédition	
Bloc_3_Point_1	0	0	0 prédition	Moyen

Bloc_3_Point_2	1	1	prédition + occurrence	
Bloc_3_Point_3	0	0	occurrence	
Bloc_4_Point_1	1	5	prédition + occurrence	Les Bulles et Frenois
Bloc_4_Point_2	0	0	prédition + occurrence	
Bloc_4_Point_3	5	5	prédition + occurrence	
Bloc_5_Point_1	0	0	prédition + occurrence	Sans Nom
Bloc_5_Point_2	0	0	prédition + occurrence	
Bloc_5_Point_3	1	1	prédition + occurrence	
Bloc_6_Point_1	0	0	prédition	Sans Nom
Bloc_6_Point_2	0	1	prédition + occurrence	
Bloc_6_Point_3	0	1	prédition + occurrence	
Bloc_7_Point_1	1	1	prédition + occurrence	Bellefontaine et St Vincent
Bloc_7_Point_2	2	2	prédition + occurrence	
Bloc_7_Point_3	0	0	prédition + occurrence	
Bloc_9_Point_1	0	3	prédition + occurrence	Etalle
Bloc_9_Point_2	0	0	prédition	
Bloc_9_Point_3	0	0	prédition + occurrence	
Bloc_10_Point_1	1	1	occurrence	Habay La Neuve
Bloc_10_Point_2	0	0	occurrence	
Bloc_10_Point_3	0	0	prédition + occurrence	
Bloc_11_Point_1	2	4	prédition + occurrence	Sampont
Bloc_11_Point_2	0	0	prédition + occurrence	
Bloc_11_Point_3	0	0	prédition	
Bloc_12_Point_1	0	0	prédition + occurrence	Bébange et Habergy
Bloc_12_Point_2	0	0	prédition + occurrence	
Bloc_12_Point_3	2	2	occurrence	
Bloc sans Moineau friquet en Lorraine				
Identifiant Maille	Nombre de nids	Nombre de couples	Prédition	Lieu
Bloc_8_Point_1	/	/	prédition + occurrence	Harinsart
Bloc_8_Point_2	/	/	prédition + occurrence	
Bloc_8_Point_3	/	/	prédition	

Annexe 5 : Encodage des observations de Moineaux friquets en Ardenne.

Identifiant maille	Comportement	Orientation nid	Nombre de nids	Hauteur	Localisation du nid	Nombre d'individus	Nombre couples
Bloc_1_Point_3	Bain de poussière		0			4	2
Bloc_1_Point_3	Nidification	Est	1	2	Nichoир	2	1
Bloc_1_Point_3	Présent		0			2	1
Bloc_3_Point_2	Présent		0			1	1
Bloc_4_Point_2	Présent		0			1	1
Bloc_4_Point_3	Présent		0			2	1
Bloc_5_Point_3	Présent		0			1	1
Bloc_5_Point_3	Nidification	Sud-Ouest	1	6	Bâtiment habité sous toiture	2	1
Bloc_5_Point_3	Présent		0			2	1
Bloc_6_Point_2	Présent		0			6	3
Bloc_6_Point_2	Nidification	Nord-Ouest	4	4	Bâtiment habité façade	8	4
Bloc_6_Point_2	Présent		0			7	4
Bloc_6_Point_2	Présent		0			2	1
Bloc_6_Point_2	Nidification	Ouest	1	2	Bâtiment habité façade	2	1
Bloc_6_Point_2	Présent		0			1	1
Bloc_6_Point_3	Présent		0			1	1
Bloc_8_Point_1	Présent		0			2	1
Bloc_9_Point_1	Nidification	Est	1	3	Nichoир	2	1
Bloc_9_Point_2	Au repos		0			2	1
Bloc_9_Point_3	Nidification	Nord Est	1	4	Bâtiment habité sous toiture	2	1
Bloc_10_Point_1	Nidification	Nord-Ouest	1	2	Nichoир	2	1
Bloc_10_Point_3	Présent		0			1	1
Bloc_12_Point_3	Nidification	Est	1	2	Bâtiment habité façade	1	1
Bloc_13_Point_1	Présent		0			3	2
Bloc_13_Point_1	Présent		0			1	1
Bloc_13_Point_1	Nidification	Sud-Est	1	3	Bâtiment habité façade	4	2
Bloc_13_Point_1	Nidification	Sud-Est	1	2	Bâtiment habité sous toiture	2	1
Bloc_14_Point_1	Présent		0			2	1

Bloc_15_Point_2	Nidification	Est	1	3	Bâtiment habité sous toiture	2	1
Bloc_15_Point_3	Présent		0			2	1
Bloc_15_Point_3	Reproduction		0			2	1

Annexe 6 : Encodage des observations de Moineaux friquets en Lorraine.

Identifiant maille	Comportement	Orientation nid	Nombre de nids	Hauteur	Localisation du nid	Nombre d'individus	Nombre couples
Bloc_1_Point_3	Au repos		0	0		1	1
Bloc_2_Point_1	Nidification	Indéterminé	1	3	Abris à bétail	1	2
Bloc_3_Point_2	Nidification	Est	1	5	Bâtiment habité façade	1	2
Bloc_4_Point_1	Nidification	Indéterminé	1	3	Abris à bétail	1	2
Bloc_4_Point_1	Nidification	Indéterminé	2	0	Abris à bétail	3	5
Bloc_4_Point_1	En vol		0	0		1	1
Bloc_4_Point_3	Nidification	Nord-Ouest	3	2	Abris à bétail	3	6
Bloc_4_Point_3	Nidification	Sud-Est	2	2	Abris à bétail	2	4
Bloc_5_Point_3	Nidification	Indéterminé	1	2	Abris à bétail	1	2
Bloc_6_Point_2	Nidification	Indéterminé	1	4	Abris à bétail	1	1
Bloc_6_Point_3	En vol		0	0		1	1
Bloc_7_Point_1	Nidification	Nord	1	3	Nichoир	1	2
Bloc_7_Point_2	Nidification	Sud-Est	2	3	Abris à bétail	2	4
Bloc_9_Point_1	Présent		0	0		2	4
Bloc_10_Point_1	Nidification	Sud-Est	1	3	Abris à bétail	1	2
Bloc_11_Point_1	Nidification	Est	1	5	Bâtiment habité façade	1	2
Bloc_11_Point_1	Nidification	Sud-Est	1	2	Abris à bétail	2	4
Bloc_11_Point_1	Nidification	Indéterminé	1	0	Abris à bétail	1	2
Bloc_12_Point_3	Nidification	Est	2	4	Bâtiment habité façade	2	4

Annexe 7 : Nombre et pourcentage des différents types d'abris à bétail en Ardenne et en Lorraine.

Abris à bétail	Ardenne		Lorraine	
	Nombre	Pourcentage	Nombre	Pourcentage
Tôle	39	52,70	21	27,63
Tôle et bois	19	25,68	15	19,74
Tôle et béton	12	16,22	29	38,16
Tôle et brique	1	1,35	/	/
Tôle et tuile	/	/	1	1,32
Brique et tuile	1	1,35	/	/
Béton et tuile	1	1,35	1	1,32
Béton et ardoise	/	/	2	2,63
Béton	/	/	1	1,32
Pierre et tôle	1	1,35	/	/
Pierre et ardoise	/	/	2	2,63
Pierre et tuile	/	/	2	2,63
Bois et tuile	/	/	1	1,32
Bois	/	/	1	1,32
Total	74	100,00	76	100
<hr/>				
Abris favorables	16	21,62	37,00	48,68
Abris défavorables	58	78,38	39,00	51,32