

Suivi des populations de micromammifères bretons grâce à l'analyse statistique de données de pelotes de réjection de la Chouette Effraie

Marine Lebreton

Stage effectué du 15/01 au 26/04/2024
Encadré par Franck Simonnet



COFINANCÉ PAR
UNION EUROPÉENNE



L'Europe s'engage /



Table des matières

<i>I-Introduction</i>	2
<i>II- Description du jeu de données</i>	2
1- Structuration du jeu de données	2
2- Taille des lots	3
3- Récurrence des retours sur un même site	7
<i>III- Calcul de l'abondance relative de chaque espèce de micromammifères</i>	3
1- Formule de l'abondance relative	G
2- Utilisation des pelotes fraîches et des fonds de sacs	G
<i>IV- Analyse temporelle de l'abondance relative de chaque espèce de micromammifères</i>	10
1- Distribution de l'abondance relative de chaque espèce.....	11
2- Analyse temporelle à travers plusieurs modèles statistiques	11
<i>V-Limites de l'analyse</i>	15
<i>VI- Conclusion</i>	1C
<i>Bibliographie</i>	1C

I-Introduction

L'Effraie des Clochers est la chouette la plus répandue dans le monde. Ce rapace nocturne se nourrit majoritairement de micromammifères, qui sont des proies de petite taille adaptées à ses besoins nutritifs et ses méthodes de chasse. L'Effraie les avale entièrement puis, après digestion, elle rejette les déchets tels que les os et les poils sous forme de pelotes. Depuis les années 60, les bénévoles et les salariés du Groupe Mammalogique Breton (GMB) récoltent ces pelotes de réjection et les analysent afin d'inventorier les espèces consommées par la chouette. Son comportement de chasse opportuniste, et son périmètre de chasse restreint (elle chasse dans un rayon de 2,5km environ) pourraient faire de ces pelotes de véritables témoins de la diversité et de l'abondance des micromammifères présents dans la zone de récolte (1).

Cette méthode d'analyse de pelotes de réjection pourrait-elle constituer un outil de suivi des populations de micromammifères ?

Pour répondre à cette question, une description et une analyse statistique du jeu de données du GMB ont été réalisées. L'objectif est de savoir comment évoluent les populations de micromammifères bretons dans le temps et quels sont les facteurs qui impactent leur évolution. De plus cette analyse permettra de connaître les limites de cette méthode et de suggérer des améliorations pour les récoltes des années futures.

Un grand merci à Éric Petit, directeur de recherche à l'INRAE, Pascal Irz, écologiste et data scientist à l'OFB, et Marie-Pierre Étienne, professeure de statistique à l'Institut Agro Rennes, pour leur aide précieuse dans le choix de la méthode et des modèles utilisés, ainsi que pour l'exploitation de résultats des analyses statistiques de ce rapport, réalisées sur le logiciel RStudio.

II-Description du jeu de données

1- Structuration du jeu de données

Le jeu de données est constitué des résultats d'analyse de pelotes consignées dans la base de données du GMB et des résultats des analyses menées par un unique observateur, François Seïté, saisies sous Faune Bretagne. Il contient uniquement des données concernant des pelotes de l'Effraie des clochers.

En tout, il y a 26 795 données sur 2 105 localisations. Chaque ligne du tableau de données initial correspond à une espèce de proie trouvée dans un lot de pelotes (micromammifères ou non). Un lot de pelotes correspond aux pelotes récupérées pendant une même collecte, c'est-à-dire le même jour et sur le même site.

Les premières colonnes sont des informations sur la collecte (site de collecte, date de collecte, nom du collecteur etc...) ou sur l'analyse des pelotes (nom de la personne qui a réalisé l'analyse, date d'analyse, nom de l'espèce analysée, famille de l'espèce etc.). Les deux dernières colonnes correspondent au nombre de crânes de cette proie trouvés dans des pelotes entières et dans des fonds de sacs.

Un site est caractérisé par un identifiant unique, nommé code site. Cependant, certains sites très proches géographiquement ont été référencés par erreur comme étant deux sites différents. De plus, deux sites proches peuvent correspondre aux gîtes de la même Effraie. C'est pourquoi les sites distants de moins de 500 mètres ont été regroupés, ce qui a engendré la création de nouveaux codes site. Le tableau de données est donc passé de 2105 localisations différentes à 1875.

2- Taille des lots

La taille des lots a été mesurée en calculant le nombre de proies et le nombre d'espèces différentes retrouvées dans les lots de pelotes. Ces variables ont été étudiées de manière temporelle et géographique. Pour cela, une colonne a été ajoutée au tableau de données. Cette colonne est la « période » qui prend la valeur 1 pour les lots récoltés avant 2000, la valeur 2 pour les lots récoltés entre 2000 et 2014 et la valeur 3 pour les lots récoltés après 2015.

Pour commencer, le nombre de proies correspond au nombre total de crânes retrouvés dans un lot de pelotes. La description spatio-temporelle du nombre de proies est représentée dans les figures suivantes :

Figure 1 : Répartition du nombre de proies par périodes

À droite les valeurs extrêmes ont été retirées pour améliorer la lecture

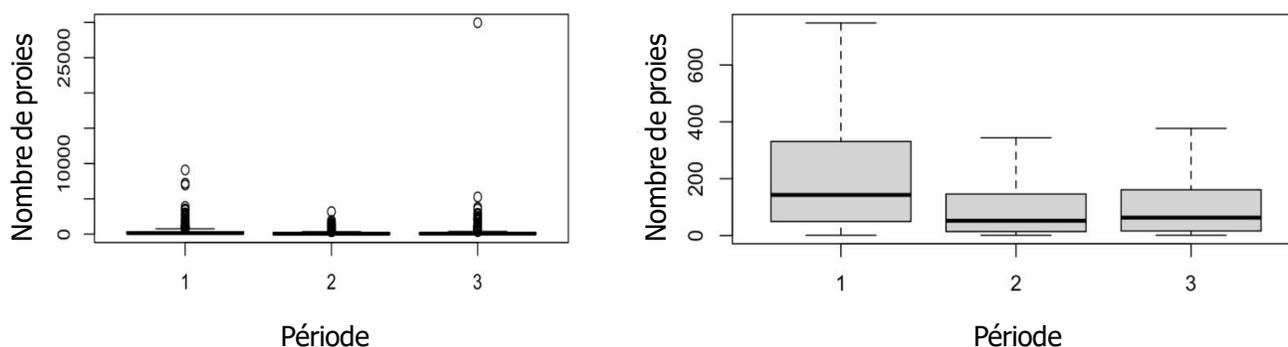


Figure 2 : Répartition du nombre de proies par département
À droite les valeurs extrêmes ont été retirées pour améliorer la lecture

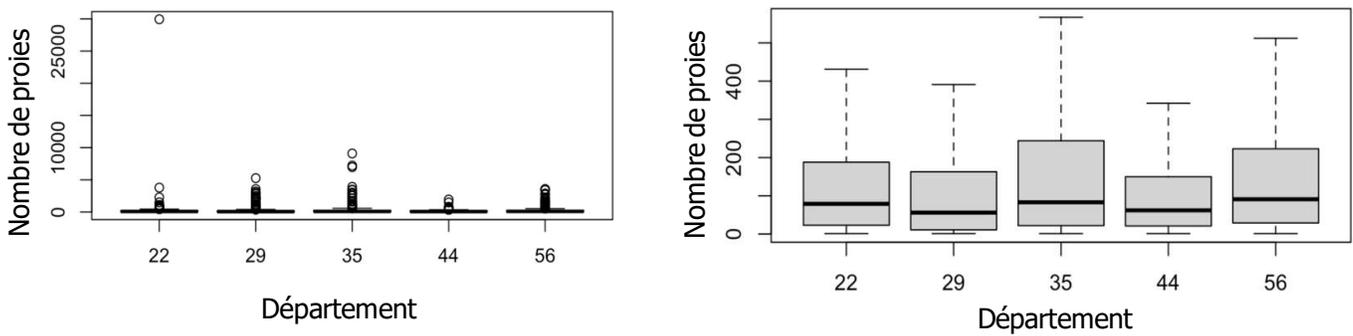


Figure 3 : Nombre de proies récoltées par lots de pelotes en période 1

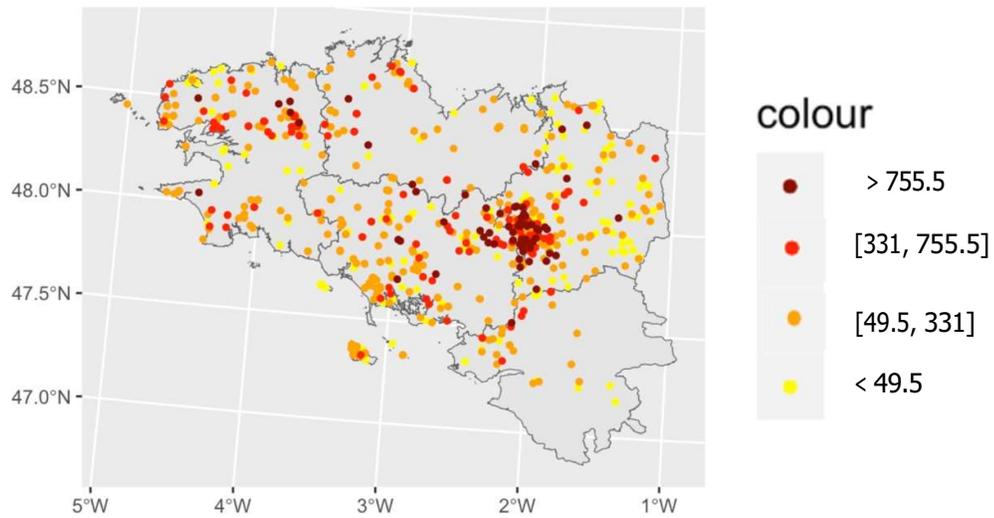


Figure 4 : Nombre de proies récoltées par lots de pelotes en période 2

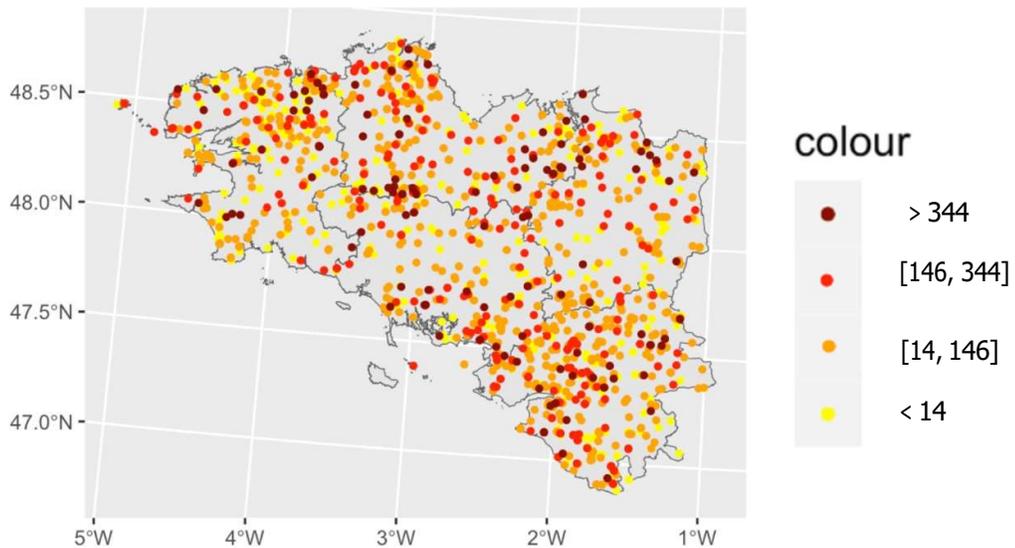
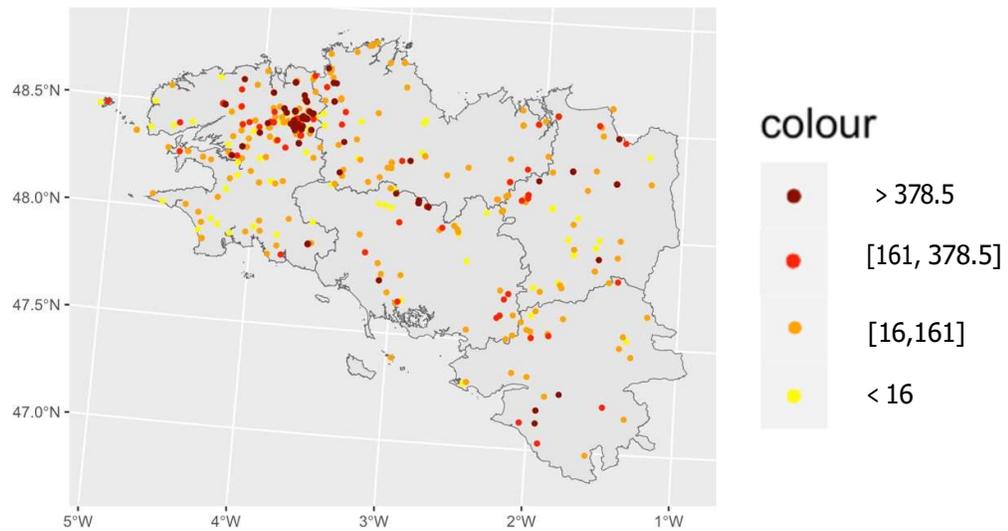


Figure 5 : Nombre de proies récoltées par lots de pelotes en période 3



Les légendes des figures 3 à 5 ont été choisies en fonction des boîtes à moustaches pour assurer la lisibilité des graphiques. La couleur jaune correspond aux valeurs de la branche inférieure (inférieures au premier quartile), la couleur orange aux valeurs de l'intervalle interquartiles, la couleur rouge à la branche supérieure et la couleur bordeaux aux valeurs extrêmes (au-dessus de la branche supérieure).

Ensuite, le nombre d'espèces correspond au nombre d'espèces différentes de proies analysées dans un lot de pelotes. La description spatio-temporelle du nombre d'espèces est représentée dans les figures suivantes.

Figure 6 : Répartition du nombre d'espèces par périodes

À droite les valeurs extrêmes ont été retirées pour améliorer la lecture

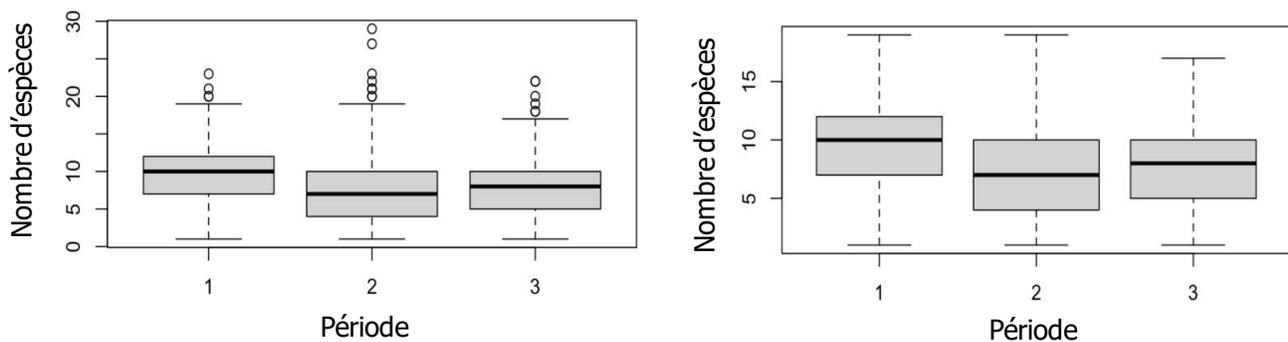


Figure 7 : Répartition du nombre de proies par départements

À droite les valeurs extrêmes ont été retirées pour améliorer la lecture

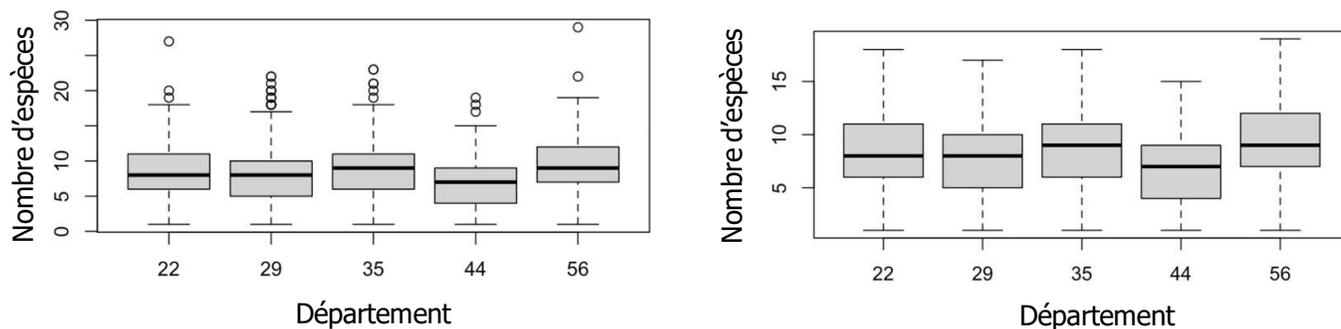


Figure 8 : Nombre d'espèces différentes récoltées par lots de pelotes en période 1

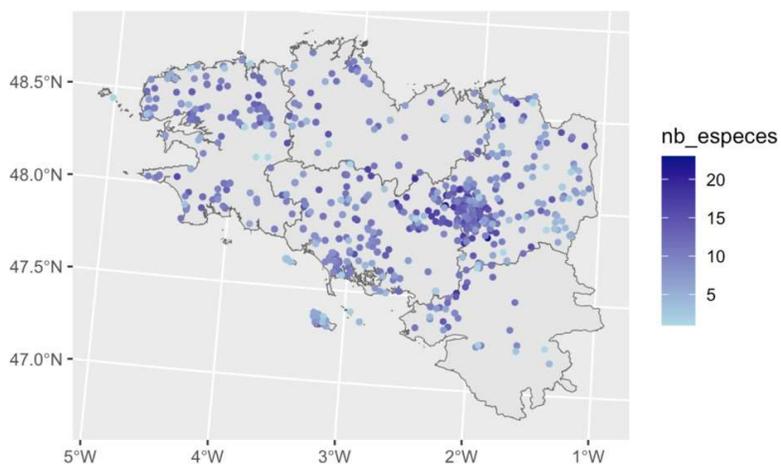


Figure G : Nombre d'espèces différentes récoltées par lots de pelotes en période 2

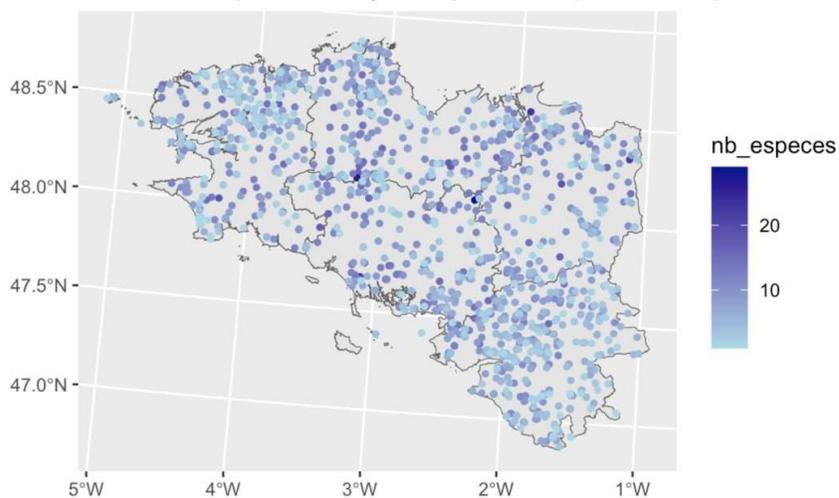
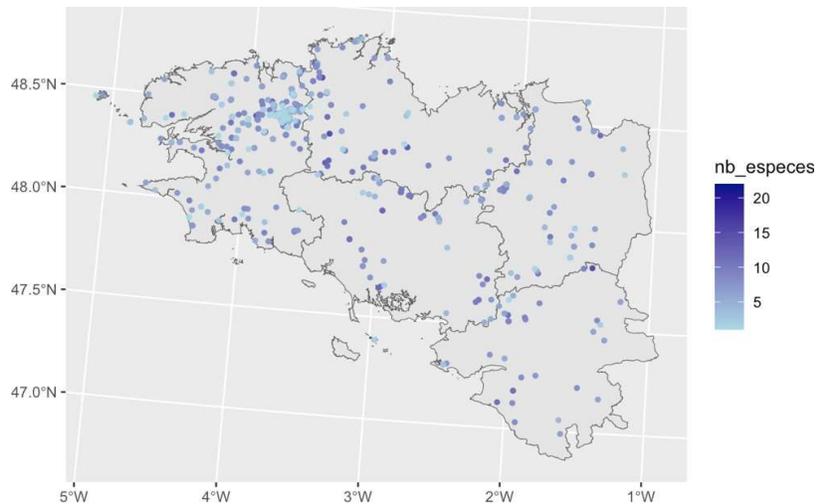


Figure 10 : Nombre d'espèces différentes récoltées par lots de pelotes en période 3



Les figures 1 et 6 montrent que les lots étaient plus grands en période 1, c'est-à-dire avant 2000. Cependant, il n'y a pas de différence de taille de lots entre les départements d'après les figures 2 et 7.

L'étude des cartes nous montre qu'il y a eu deux zones géographiques avec beaucoup de récoltes et des lots de grande taille, liées en grande partie à l'activité importante de deux observateurs distincts :

- la première zone est l'amas de points en Ille-et-Vilaine en période 1 visible sur les figures 3 et 8. Les lots récoltés sur cette zone ont permis l'analyse de beaucoup de proies et de beaucoup d'espèces différentes.
- la deuxième zone est l'amas de points dans le Finistère en période 3 visible sur les figures 5 et 10. Les lots récoltés sur cette zone ont permis l'analyse de beaucoup de proies mais peu d'espèces différentes. Cela correspondrait à une ou quelques espèces particulièrement abondantes.

Enfin, les cartes nous montrent que les récoltes ont été réparties plus équitablement dans toute la Bretagne en période 2 lorsqu'un effort d'échantillonnage mieux réparti a été mené pour l'Atlas des Mammifères de Bretagne.

3- Récurrence des retours sur un même site

Une analyse du nombre de visites effectués sur un même site a également été réalisée pour décrire le jeu de données.

Figure 11 : Répartition du nombre de visites effectuées sur le même site par périodes
À droite les valeurs extrêmes ont été retirées pour améliorer la lecture

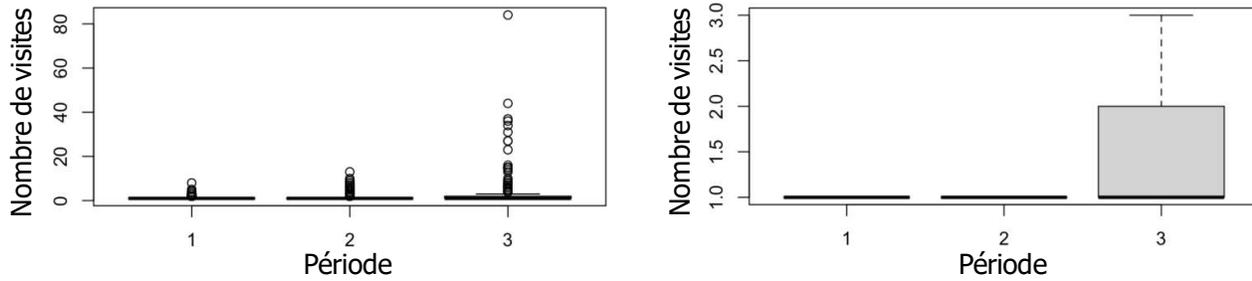


Figure 12 : Répartition du nombre de visites effectuées sur le même site par départements
À droite les valeurs extrêmes ont été retirées pour améliorer la lecture

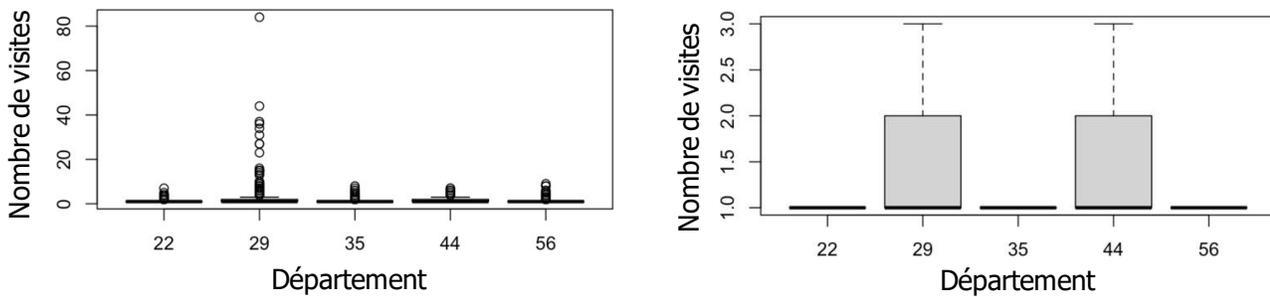
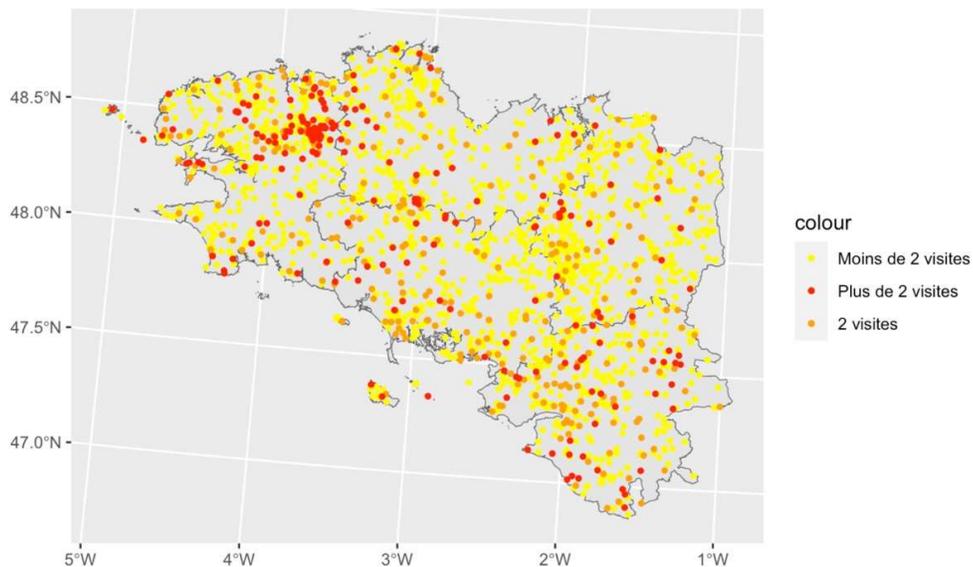


Figure 13 : Nombre de visites effectuées sur chaque site



La figure 11 montre qu'il y a eu plus de revisites sur un même site en période 3, c'est-à-dire après 2015. Cela correspond à un effort dans ce sens dans le cadre de

l'Observatoire des Mammifères de Bretagne. Les figures 12 et 13 indiquent qu'une zone a particulièrement été revisitée dans le Finistère. C'est la zone qui correspond à des lots de grande taille qui a été mise en évidence dans la partie précédente. Elle correspond à des récoltes durant la période 3, ce qui coïncide avec la figure 11.

III- Calcul de l'abondance relative de chaque espèce de micromammifère

La variable utilisée pour suivre les populations de micromammifères grâce aux pelotes de réjection est l'abondance relative.

1- Formule de l'abondance relative

L'abondance relative est le rapport du nombre d'individus d'une espèce ou d'une catégorie sur le nombre total d'individus. L'abondance relative de chaque espèce de micromammifère dans chaque lot de pelotes est calculée comme ceci :

$$AR \% = n_i / N \times 100$$

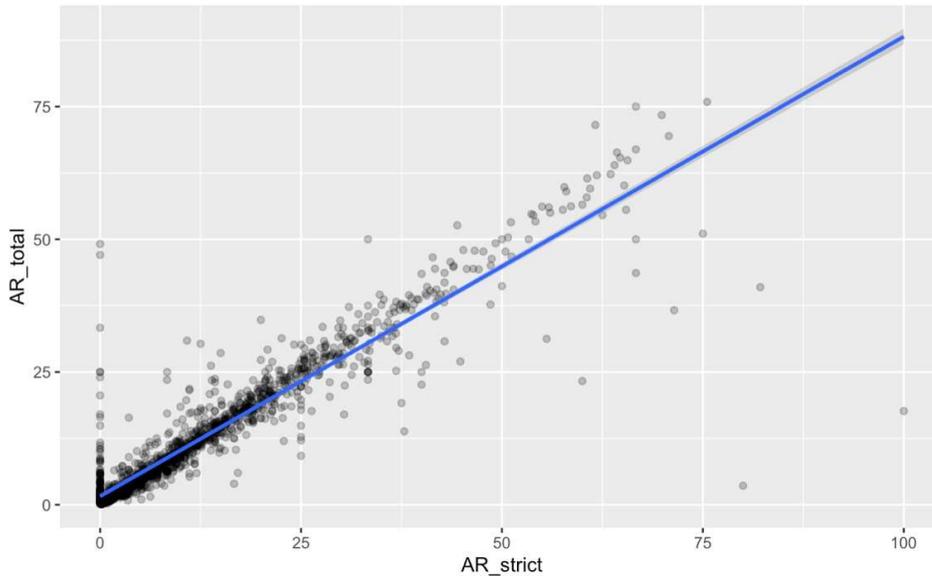
Avec n_i le nombre de crânes de l'espèce i analysés dans le lot de pelotes, et N le nombre total de crânes appartenant à la catégorie des micromammifères¹ analysés dans le lot de pelote (2).

2- Utilisation des pelotes fraîches et des fonds de sacs

Dans le jeu de données, il y a deux variables correspondant au nombre de crânes analysés dans les pelotes. L'une correspond aux crânes retrouvés dans les pelotes strictes, c'est-à-dire des pelotes fraîches, entières et de couleur sombre, et l'autre correspond aux crânes retrouvés dans les fonds de sac, c'est-à-dire les pelotes qui ont commencé à se désagréger et à pâlir (3). Pour savoir s'il est judicieux d'intégrer les crânes retrouvés dans les fonds de sac au calcul de l'abondance relative, une régression linéaire a été effectuée pour les lots de pelotes pour lesquels les deux informations étaient disponibles. Cette régression met en relation deux variables, l'AR totale et l'AR stricte. L'AR totale est l'abondance relative calculée avec les crânes retrouvés dans les pelotes strictes et dans les fonds de sac. L'AR stricte est l'abondance relative calculée uniquement avec les crânes analysés dans les pelotes strictes. Chaque point de la figure 14 correspond à une espèce et un lot de pelotes.

¹ Pour cette analyse, les espèces dont le poids adulte minimal dépasse 50 grammes ont été exclues

Figure 14 : Régression linéaire de l'abondance relative totale en fonction de l'abondance relative stricte



Le modèle de régression utilisé dans la figure 14 est :

$$\text{AR totale} = 1.602093 + 0.865784 * \text{AR stricte}$$

La p-value est très faible ($<2e-16$). Cela indique qu'il y a une relation significative et positive entre l'AR totale et l'AR stricte. Donc les deux variables varient de la même manière, et les deux peuvent être utilisées pour suivre les populations de micromammifères. Afin d'utiliser un maximum de données, c'est l'abondance relative totale incluant les fonds de sac qui sera utilisée dans la suite du rapport.

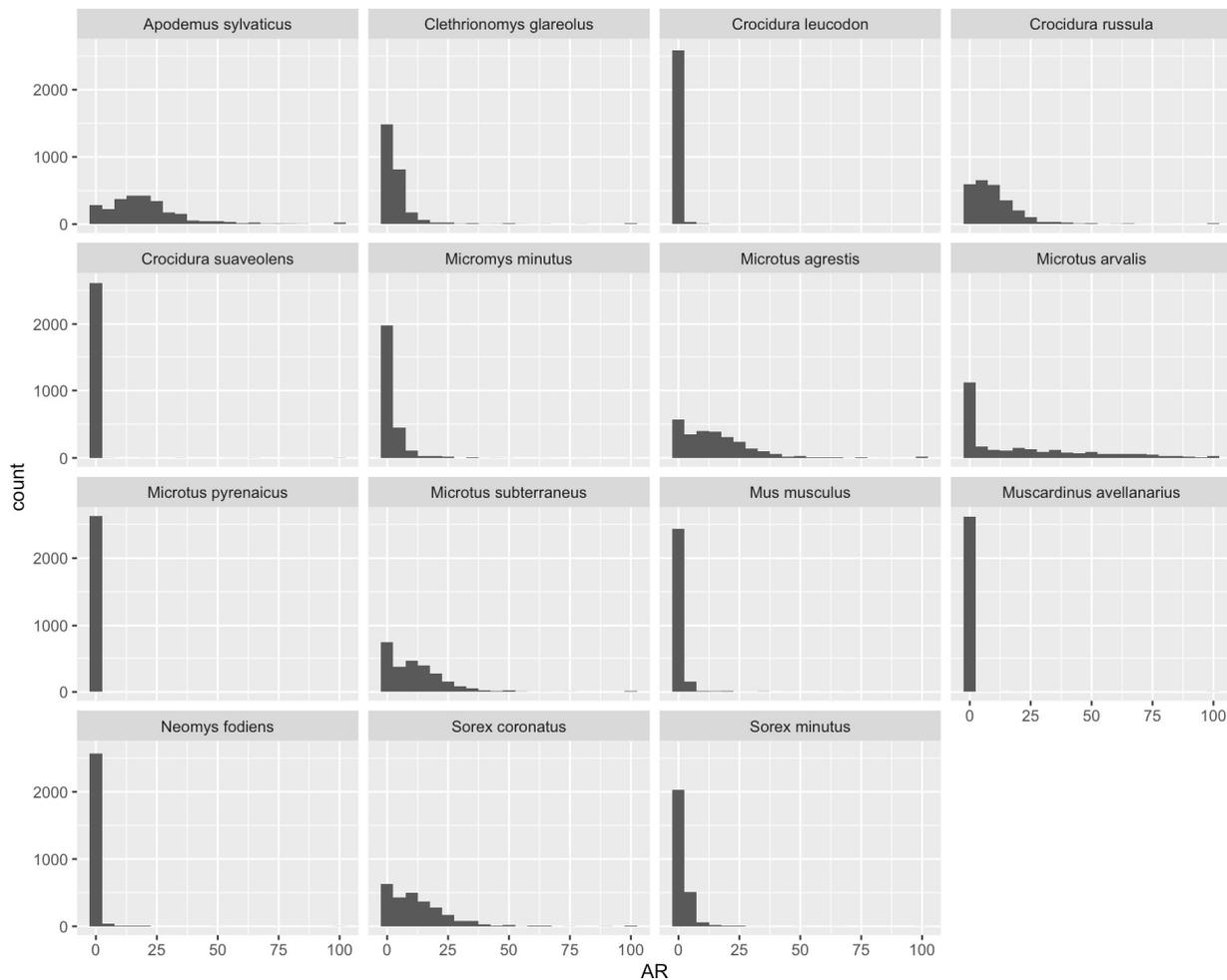
IV- Analyse temporelle de l'abondance relative de chaque espèce de micromammifère

Le but du projet est d'analyser les variations d'abondance relative de chaque espèce au cours du temps. En d'autres termes, on cherche à exprimer la variable réponse Y qui correspond à l'abondance relative d'une espèce dans un lot de pelotes, en fonction d'une variable explicative X qui correspond à l'année de collecte du lot de pelotes. Cela correspond donc à la création d'un modèle linéaire.

1- Distribution de l'abondance relative de chaque espèce

Pour créer un modèle linéaire, il faut d'abord connaître la distribution de la variable réponse, ici l'abondance relative. Il a donc fallu représenter les fréquences d'apparition de chaque valeur d'abondance relative dans les lots de pelotes.

Figure 15 : Histogramme de distribution de l'abondance relative pour chaque espèce de micromammifères



2- Analyse temporelle à travers plusieurs modèles statistiques

En plus de l'année de collecte, d'autres variables disponibles pourraient influencer l'abondance relative. Parmi celles-ci, on trouve le site de collecte, sa longitude et sa distance au trait de côte, ainsi que la personne qui a réalisé l'analyse des pelotes. Le site de collecte et la personne qui a réalisé l'analyse peuvent être considérés comme des effets aléatoires sur l'abondance relative, car ils présentent une variabilité propre qui

est aléatoire. En d'autres termes, différentes personnes ou sites de collecte peuvent influencer les mesures d'abondance de manière aléatoire et non systématique. En revanche, l'année de collecte, la longitude et la distance au trait de côte peuvent être considérées comme des effets fixes, car elles peuvent avoir un effet précis et spécifique sur l'abondance relative, et ces effets sont constants et reproductibles dans la population.

L'existence de ces deux types d'effet impose l'utilisation d'un modèle linéaire mixte. En incluant à la fois des effets aléatoires et des effets fixes dans notre modèle linéaire mixte, nous pouvons mieux tenir compte de la variabilité naturelle des données et des facteurs spécifiques qui influencent l'abondance relative.

Trois modèles linéaires mixtes ont alors été créés, en ajoutant les effets au fur et à mesure. Afin d'intégrer l'hypothèse que l'abondance relative suit une loi binomiale négative, les modèles ont été créés à partir de la fonction *glmmTMB* du package *glmmTMB*.

Modèle 1 : `glmmTMB(AR ~ scale(annee) + (1|code_site), family="nbinom2", data=AR_site_espece)`

Modèle 2 : `glmmTMB(AR ~ scale(annee) + scale(longitude) + scale(distance_trait_cote) + (1|code_site), family="nbinom2", data=AR_site_espece)`

Modèle 3 : `glmmTMB(AR ~ scale(annee) + scale(longitude) + scale(distance_trait_cote) + (1|code_site) + (1|determineurs), family="nbinom2", data=AR_site_espece)`

Dans les modèles, les variables « AR », « annee », « code_site » et « determineurs » correspondent respectivement à l'abondance relative, l'année de collecte, le site de collecte et la personne qui a réalisé l'analyse des pelotes. La fonction « scale » permet de centrer-réduire les variables et donc de faciliter l'interprétation des résultats.

La variable data correspond au jeu de données utilisé, ici AR_site_espece correspond au tableau de données réduit à une seule espèce de micromammifères, avec son abondance relative pour chaque lot de pelotes. Les trois modèles ont été générés de la même manière pour toutes les espèces de micromammifère.

Figure 16 : Tableau récapitulatif des résultats des 3 modèles linéaires mixtes réalisés sur l'abondance relative de chaque espèce de micromammifères

Espèce	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Conclusion
<i>Sorex minutus</i> (Musaraigne pygmée)	Site : effet*** Année de collecte : -0.313*** AIC : 8801.1 BIC : 8824.6	Site : effet*** Année de collecte : -0.267*** Longitude : -0.507*** Distance au trait de côte : +0.110** AIC : 8446.1 BIC : 8481.3	Site : effet*** Analyseur : effet*** Année de collecte : -0.336*** Longitude : -0.473*** Distance au trait de côte : NS AIC : 8383.1 BIC : 8424.1	L'abondance relative de la Musaraigne pygmée diminue avec le temps, et augmente vers l'ouest. Il y a un effet aléatoire du site de collecte et de l'analyseur.
<i>Sorex coronatus</i> (Musaraigne couronnée)	Site : pas d'effet Année de collecte : -0.177*** AIC : 18554.1 BIC : 18577.6	Site : pas d'effet Année de collecte : -0.215*** Longitude : -0.360*** Distance au trait de côte : NS AIC : 18099.5 BIC : 18134.7	Site : pas d'effet Analyseur : effet*** Année de collecte : -0.230*** Longitude : -0.344*** Distance au trait de côte : NS AIC : 18046.6 BIC : 18087.6	L'abondance relative de la Musaraigne couronnée diminue avec le temps, et augmente vers l'ouest. Il y a un effet aléatoire de l'analyseur.
<i>Neomys fodiens</i> (Crossope aquatique)	Site : effet*** Année de collecte : -0.115* AIC : 3390.6 BIC : 3414.1	Site : effet*** Année de collecte : -0.120* Longitude : -0.646*** Distance au trait de côte : +0.316*** AIC : 3316.9 BIC : 3352.1	Site : effet*** Analyseur : pas d'effet Année de collecte : -0.120* Longitude : -0.646*** Distance au trait de côte : +0.316*** AIC : 3318.9 BIC : 3359.9	L'abondance relative de la crossope aquatique diminue avec le temps, augmente vers l'ouest et augmente vers les terres. Il y a un effet aléatoire du site de collecte.
<i>Crocidura leucodon</i> (Crocidure leucode)	Site : effet*** Année de collecte : NS AIC : 2132.3 BIC : 2155.8	Site : effet*** Année de collecte : NS Longitude : -1.976*** Distance au trait de côte : +1.281*** AIC : 1965.4 BIC : 2000.6	Site : effet*** Analyseur : effet** Année de collecte : NS Longitude : -2.113*** Distance au trait de côte : +1.268*** AIC : 1957.7 BIC : 1998.6	L'abondance relative de la crocidure leucode augmente vers l'ouest et augmente vers les terres. Il y a un effet aléatoire du site de collecte et de l'analyseur. Cependant l'abondance relative semble être stable dans le temps.
<i>Crocidura suaveolens</i> (Crocidure des jardins)	Site : effet*** Année de collecte : NS AIC : 360.8 BIC : 384.3	Site : effet*** Année de collecte : -0.904* Longitude : NS Distance au trait de côte : NS AIC : 200.7 BIC : 235.9	Site : pas d'effet Analyseur : pas d'effet Année de collecte : NS Longitude : NS Distance au trait de côte : NS AIC : NA BIC : NA	L'abondance relative de la crocidure des jardins diminue avec le temps. Il y a un effet aléatoire du site de collecte.
<i>Crocidura russula</i> (Crocidure musette)	Site : effet*** Année de collecte : NS AIC : 17720.6 BIC : 17744.1	Site : effet* Année de collecte : NS Longitude : +0.203*** Distance au trait de côte : -0.146*** AIC : 17305.9 BIC : 17341.0	Site : pas d'effet Analyseur : effet*** Année de collecte : +0.092* Longitude : +0.195*** Distance au trait de côte : -0.153*** AIC : 17238.1 BIC : 17279.1	L'abondance relative de la crocidure musette augmente avec le temps, augmente vers l'est et augmente vers les côtes. Il y a un effet aléatoire de l'analyseur.
<i>Clethrionomys glareolus</i> (Campagnol roussâtre)	Site : effet*** Année de collecte : NS AIC : 12509.8 BIC : 12533.3	Site : effet*** Année de collecte : NS Longitude : -0.230*** Distance au trait de côte : NS AIC : 12107.0 BIC : 12142.2	Site : effet*** Analyseur : effet** Année de collecte : NS Longitude : -0.140** Distance au trait de côte : NS AIC : 12062.6 BIC : 12103.6	L'abondance relative du campagnol roussâtre augmente vers l'ouest. Il y a un effet aléatoire du site de collecte et de l'analyseur. Cependant l'abondance relative semble être stable dans le temps.

<i>Microtus agrestis</i> (Campagnol agreste)	Site : pas d'effet Année de collecte : +0.090*** AIC : 19582.8 BIC : 19606.3	Site : pas d'effet Année de collecte : +0.066** Longitude : -0.431*** Distance au trait de côte : NS AIC : 19003.2 BIC : 19038.4	Site : pas d'effet Analyseur : effet*** Année de collecte : +0.117*** Longitude : -0.417*** Distance au trait de côte : NS AIC : 18831.9 BIC : 18872.8	L'abondance relative du campagnol agreste augmente avec le temps et augmente vers l'ouest. Il y a un effet aléatoire de l'analyseur.
<i>Microtus arvalis</i> (Campagnol des champs)	Site : pas d'effet Année de collecte : +0.563*** AIC : 18884.4 BIC : 18907.9	Site : effet Année de collecte : +0.411*** Longitude : +1.717*** Distance au trait de côte : NS AIC : 17389.3 BIC : 17424.5	Site : effet*** Analyseur : effet*** Année de collecte : +0.381*** Longitude : +1.589*** Distance au trait de côte : NS AIC : 17248.9 BIC : 17289.9	L'abondance relative du campagnol des champs augmente avec le temps et augmente vers l'est. Il y a un effet aléatoire du site de collecte et de l'analyseur.
<i>Microtus pyrenaicus</i> (Campagnol des Pyrénées)	Site : effet*** Année de collecte : NS AIC : 87.7 BIC : 111.2	Site : effet*** Année de collecte : NS Longitude : NS Distance au trait de côte : NS AIC : 88.6 BIC : 123.7	Site : effet*** Analyseur : pas d'effet Année de collecte : NS Longitude : NS Distance au trait de côte : NS AIC : 90.6 BIC : 131.6	L'abondance relative du campagnol des Pyrénées semble stable dans le temps. Il y a un effet aléatoire du site de collecte.
<i>Microtus subterraneus</i> (Campagnol souterrain)	Site : pas d'effet Année de collecte : -0.178*** AIC : 17989.7 BIC : 18013.2	Site : pas d'effet Année de collecte : -0.226*** Longitude : -0.394*** Distance au trait de côte : NS AIC : 17587.4 BIC : 17622.6	Site : pas d'effet Analyseur : effet*** Année de collecte : -0.184*** Longitude : -0.366*** Distance au trait de côte : NS AIC : 17298.3 BIC : 17339.3	L'abondance relative du campagnol souterrain diminue avec le temps et augmente vers l'ouest. Il y a un effet aléatoire de l'analyseur.
<i>Apodemus sylvaticus</i> (Mulot sylvestre)	Site : pas d'effet Année de collecte : +0.104*** AIC : 21043.3 BIC : 21066.8	Site : pas d'effet Année de collecte : +0.112*** Longitude : -0.160*** Distance au trait de côte : NS AIC : 20551.9 BIC : 20587.1	Site : pas d'effet Analyseur : effet*** Année de collecte : +0.118*** Longitude : -0.152*** Distance au trait de côte : NS AIC : 20508.5 BIC : 20549.5	L'abondance relative du mulot sylvestre augmente avec le temps et augmente vers l'ouest. Il y a un effet aléatoire de l'analyseur.
<i>Micromys minutus</i> (Rat des moissons)	Site : effet*** Année de collecte : -0.306*** AIC : 9622.2 BIC : 9645.7	Site : effet*** Année de collecte : -0.306*** Longitude : -0.199*** Distance au trait de côte : -0.129** AIC : 9489.7 BIC : 9524.9	Site : effet*** Analyseur : effet*** Année de collecte : -0.475*** Longitude : -0.169** Distance au trait de côte : NS AIC : 9335.2 BIC : 9376.2	L'abondance relative du rat des moissons diminue avec le temps et augmente vers l'ouest. Il y a un effet aléatoire du site de collecte et de l'analyseur.
<i>Mus musculus</i> (Souris grise)	Site : effet*** Année de collecte : -0.613*** AIC : 5191.1 BIC : 5214.6	Site : effet*** Année de collecte : -0.652*** Longitude : NS Distance au trait de côte : +0.299** AIC : 4996.8 BIC : 5031.9	Site : effet*** Analyseur : effet*** Année de collecte : -0.521*** Longitude : NS Distance au trait de côte : +0.148* AIC : 4922.7 BIC : 4963.7	L'abondance relative de la souris grise diminue avec le temps. Il y a un effet aléatoire du site de collecte et de l'analyseur.
<i>Muscardinus avellanarius</i> (Muscardin)	Site : effet*** Année de collecte : NS AIC : 372.5 BIC : 396.0	Site : effet*** Année de collecte : NS Longitude : NS Distance au trait de côte : NS AIC : 374.9 BIC : 410.1	Site : effet*** Analyseur : pas d'effet Année de collecte : NS Longitude : NS Distance au trait de côte : NS AIC : 376.7 BIC : 417.7	L'abondance relative du muscardin semble stable dans le temps. Il y a un effet aléatoire du site de collecte.

Dans la figure, la significativité des effets est classée selon les codes suivants : *** : $\alpha < 0,001$; ** : $\alpha < 0,01$; * : $\alpha < 0,05$; - : $\alpha < 0,1$; NS : non significatif avec $\alpha = \Pr(>|z|)$ (p- value). Les effets fixes ont comme indication, en plus de la significativité, un coefficient positif ou négatif. Ces coefficients mesurent l'ampleur et la direction de l'effet de chaque variable explicative sur la variable dépendante (l'abondance relative), en tenant compte des autres variables incluses dans le modèle. Un signe + indique que la variable explicative varie dans le même sens que l'abondance relative, et inversement pour un signe -. Attention, ici la longitude est en Lambert 93, donc un signe + indique que l'abondance relative augmente vers des fortes valeurs de longitude, donc vers l'est. Et inversement pour un signe -.

L'AIC (Critères d'Information Akaike) et le BIC (Critères d'Information Bayésien) sont des outils pour sélectionner le meilleur modèle parmi un ensemble de modèles candidats. Ils cherchent à trouver un équilibre entre la précision du modèle et sa complexité, favorisant les modèles qui sont à la fois précis et simples. Un modèle avec un AIC ou un BIC plus bas est généralement préféré car il offre un meilleur ajustement aux données tout en évitant le surajustement. Le modèle mis en évidence par la couleur verte est le modèle avec l'AIC et le BIC les plus bas, c'est donc le modèle qui correspond le plus aux données et dont il faut retenir les résultats.

Pour la crocidure des jardins, le modèle 3 n'a pas donné de valeurs d'AIC et de BIC. Cela montre que le modèle 3 n'est pas du tout adapté aux données. Cela peut être expliqué par exemple par l'absence totale d'un effet aléatoire du déterminateur.

V- Limites de l'analyse

La principale limite de cette étude réside dans l'utilisation de l'abondance relative, car les niveaux d'abondance des autres proies peuvent fluctuer, entraînant des variations dans l'abondance relative, même si la population de l'espèce étudiée reste stable.

Un autre biais de la méthode réside dans la non-homogénéité de la collecte des lots de pelotes selon les sites et les périodes, comme observé dans la partie descriptive du rapport. Cependant, l'inclusion du code site en tant qu'effet aléatoire dans les modèles permet de minimiser ce biais.

En ce qui concerne les modèles utilisés, il convient de prendre des précautions particulières concernant les résultats du modèle 3, car de nombreux analyseurs sont répertoriés comme anonymes dans le jeu de données. Pour les années à venir, il serait judicieux de spécifier plus précisément les personnes ayant effectué l'analyse et de limiter autant que possible l'utilisation d'analyseurs anonymes.

Enfin, pour améliorer la précision des modèles, il pourrait être bénéfique d'ajouter d'autres variables explicatives, telles que des données décrivant la structure et

l'écologie du site. Cependant, il est important de reconnaître que demander aux bénévoles de collecter des données supplémentaires pour chaque lot de pelotes peut être contraignant. Néanmoins, les progrès technologiques pourraient permettre dans le futur l'obtention de telles données, par exemple grâce à l'imagerie satellite.

VI- Conclusion

Malgré ses limites, l'analyse des pelotes de réjection de l'Effraie des Clochers apparaît comme un outil prometteur pour suivre les populations de micromammifères. Cette méthode fournit des données historiques précieuses et peut être utilisée pour étudier les tendances temporelles et spatiales des populations de micromammifères en Bretagne. Les résultats obtenus suggèrent que l'abondance relative de certaines espèces de micromammifères varie dans le temps, et que différents facteurs, tels que les caractéristiques propres du site de collecte et sa position géographique, ainsi que la personne qui réalise l'analyse des pelotes, lorsqu'elle cible massivement certains secteurs, peuvent influencer ces variations. Des études futures pourraient approfondir cette analyse en prenant en compte davantage de variables et en explorant d'autres méthodes statistiques pour mieux comprendre les dynamiques des populations de micromammifères et les facteurs qui les influencent.

Bibliographie

- (1) Vallée, J.-M. (2003). La Chouette Effraie (Delachaux et Niestlé).
- (2) HADJOUJ, M. (2017). *Relation des micromammifères en milieux cultivés et en milieux naturels en Algérie* [ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE – EL HARRACH - ALGER].
<http://dspace.ensa.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1902/THESE%20HADJOUJ%202017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- (3) Pelotes ! : Décortiquer et déterminer le contenu des pelotes de réjection. (2010). Fédération des clubs CPN.