

Mémoire de stage

Biodiversité Ecologie Evolution

Master d'Ecologie de la Conservation et
d'Ingénierie écologique

CIMETIÈRES VIVANTS : ETUDE DE LA BIODIVERSITÉ DES CIMETIÈRES

Olivia Labrousse

Année universitaire 2021-2022

Stage du 14/02/2022 au 12/08/2022

Agence régionale de la biodiversité en Île-de-France

Encadré par Jonathan Flandin et Hemminki Johan

Soutenu le 26/09/2022

Remerciements

En premier lieu, je souhaite remercier mes tuteurs pour leur confiance et leur relecture assidue de mon mémoire.

Jonathan Flandin et Hemminki Johan, merci pour votre encadrement qui, par votre disponibilité et votre bienveillance, m'a permis d'apporter ma contribution à cette passionnante étude. Les pointilleux et réguliers avis en analyse statistique d'Hemminki Johan, m'ont été d'une grande aide.

Khadim Ndiaye, merci, pour ta réactivité sur mes questions relatives au codage.

Merci à mes professeurs de statistiques, **Christian Kerbiriou, Maël Doré et Cyril Gallut**, pour leur le temps consacrer à la discussion de mes analyses.

Merci à **Jeanne Vallet**, pour ta disponibilité sur le terrain, pour m'avoir présenté les protocoles flore et pour les discussions autour de mes analyses statistiques.

Merci à **Olivier Renault et Grégoire Lois**, nos discussions et vos connaissances en écologie m'ont permis de prendre du recul sur mes données.

Mustapha Taqarort, je te remercie d'avoir pris le temps de m'aider sur la partie du traitement de données cartographiques.

Je remercie aussi **Dorian Kose, Ophélie Ricci** et également mes tuteurs, de m'avoir partagé vos connaissances naturalistes sur le terrain.

Merci **Gaëtane Deboeuf, Klaire Houeix et Pauline Sellier**, de vos investissements sur le terrain pour l'étude.

Merci à toute l'équipe de l'ARB îdF **Magalie Gorce, Marc Barra, Gwendoline Grandin, Gilles Lecuir, Gabrielle Huart, Marjorie Millès, Lucile Dewulf** et **Nadine Benkemoun** pour leur soutien mais aussi pour avoir contribué quotidiennement, par votre sympathie, au bon déroulement de ce stage.

La fin de mes études en écologie se terminent en beauté grâce à vous.

Merci.

L'Agence Régionale de la Biodiversité (ÎDF)

Créée en 2018, l'Agence régionale de la biodiversité en Île-de-France (ARB ÎDF), anciennement Natureparif, est le fruit d'un partenariat fort entre la Région Île-de-France et l'Office national de la biodiversité (OFB), avec L'Institut Paris Region (IPR) comme opérateur et le soutien de l'Etat et de l'Agence de l'eau Seine-Normandie. L'ARB ÎDF constitue une plateforme de coopération renforçant les missions de service publics de ces organismes, pour atteindre les objectifs communs de préservation de la biodiversité.

En étant la déclinaison territoriale de l'OFB, l'ARB ÎDF a pour rôle d'évaluer l'état de la biodiversité, de suivre son évolution, d'identifier les priorités d'action régionales, de diffuser les bonnes pratiques et de sensibiliser le public à sa protection, le tout en collectant les connaissances existantes ainsi qu'en en créant avec ses études. L'Agence s'appuie également sur un comité des partenaires constitué des collectivités locales et départements, des associations et fédérations de protection de l'environnement, des gestionnaires d'espaces protégés, des organismes d'étude et de recherche et des organismes professionnels et entreprises publiques et privées.

Forte des 10 années d'acquis de Natureparif, les 15 membres de l'équipe de l'ARB ÎDF travaillent aussi à l'émergence et à la généralisation d'initiatives et de projets vertueux pour la biodiversité en Île-de-France dans différentes communes. À travers un lien étroit avec l'OFB et l'ensemble du réseau des ARB de France et outre-mer, l'enjeu est également de contribuer activement à la Stratégie nationale pour la biodiversité (SNB).

Département biodiversité de l'IPR, l'ARB ÎDF bénéficie de l'ensemble des compétences des différents pôles notamment en matière d'aménagement et d'urbanisme, thèmes clés dans une région comme l'Île-de-France pour réaliser des diagnostics pertinents et proposer des solutions opérationnelles en faveur de la biodiversité.



Table des matières

I.	Introduction.....	4
a.	Le déclin de la biodiversité.....	4
b.	La nature en ville.....	4
c.	Le potentiel d'accueil de la biodiversité dans les cimetières.....	5
d.	Présentation de l'étude « Cimetières vivants ».....	5
II.	Matériels et méthodes.....	7
a.	Elaboration des variables explicatives.....	8
b.	Présentation des protocoles et définitions des objectifs.....	12
c.	Travail des données et création d'indicateurs.....	16
d.	Calculs, tests et modèles statistiques.....	18
III.	Résultats.....	20
a.	Résultats des analyses pour la flore vasculaire.....	20
b.	Résultats des analyses pour les insectes pollinisateurs.....	21
c.	Résultats des analyses pour les mammifères terrestres.....	23
d.	Résultats des analyses pour les oiseaux.....	24
IV.	Discussion.....	26
a.	La biodiversité des cimetières.....	27
b.	L'effet de l'environnement autour des cimetières sur la biodiversité.....	29
c.	L'effet du contexte interne aux cimetières sur la biodiversité.....	30
d.	Conclusion et perspectives d'améliorations.....	34
V.	Bibliographie.....	37
VI.	Glossaire et lexique des acronymes.....	40
VII.	Annexes.....	42

I. Introduction

a. Le déclin de la biodiversité

Les scientifiques alertent depuis plusieurs années, la biodiversité décline à une vitesse sans précédent dans l'histoire de l'humanité. D'après The Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services ([IPBES](#)) la population et les zones urbaines ont plus que doublé depuis 1992, tandis que l'abondance moyenne des espèces dans la plupart des grands habitats terrestres a, en général, diminuée d'au moins 20%.

La place de la biodiversité dans un monde en constant développement, est de plus en plus restreinte par de fortes perturbations. En effet, son déclin est principalement causé par la destruction des habitats naturels, au profit de l'agriculture intensive et de l'urbanisation ([Fischer and Lindenmayer, 2007](#)). La perte de cette dernière implique de graves conséquences pour l'équilibre des écosystèmes, dont dépendent aussi les populations humaines du monde entier. Ainsi, il est urgent d'agir en prenant en compte la biodiversité à tous les niveaux mais également dans les espaces utilisés par l'Homme.

b. La nature en ville

Prolifération des surfaces imperméables, fragmentation et destruction d'habitat naturel, homogénéisation spécifique ou encore densité de population : dans l'état actuel les villes sont considérées comme des milieux pauvres et hostiles à la biodiversité ([Mckinney, 2002](#)). En effet, l'urbanisation et les activités humaines qui y sont associées, ont été extrêmement dévastatrices. L'Agence régionale de la biodiversité en Île-de-France (ARB îdF) évoque dans le « Panorama de la Biodiversité francilienne » ([Zucca et al., 2019](#)), l'effondrement des populations de la flore et de la faune sauvages régionales. C'est pourquoi, l'enjeu des prochaines décennies est de coupler l'aménagement du territoire à la préservation de la biodiversité. En ville, que ce soient les parcs, les plans d'eau, les toitures, les friches, les allées ou encore les constructions, chaque espace peut être repensé pour permettre la circulation et le refuge des espèces animales comme végétales.

Intégrer ces enjeux, au-delà de préservation de la biodiversité, est aussi une question de santé et d'adaptation pour nos sociétés. Par exemple, les espaces de nature en ville sont précieux car ils apportent de nombreux bénéfices en termes de santé physique et morale pour les usagers mais aussi en termes d'apport en services écosystémiques comme la réduction d'ilots de chaleurs urbains, le drainage de l'eau, l'absorption des particules polluantes ou encore le

recyclage de l'air et le stockage du carbone (Laille et al., 2014). Néanmoins, ces espaces sont souvent sous une pression de gestion intense, ne permettant pas à l'écosystème d'évoluer naturellement et de s'enrichir. La mise en place d'une gestion écologique et différenciée des espaces verts à plus large échelle, pourrait être une des réponses à une meilleure prise en compte de la biodiversité en ville. En effet, ce mode de gestion permet de prendre conscience que l'accueil de la flore et de la faune sauvage et l'entretien de ces espaces ne sont pas incompatibles. L'idée est d'adapter les techniques de gestion en fonction de la typologie de l'espace, du rendu souhaité, de l'usage visé mais aussi des continuités écologiques (Flandin and Parisot, 2016). Tous les espaces végétalisés en villes peuvent être concernés par ces nouvelles pratiques, qu'ils s'agissent des parcs urbains, des pelouses, des cours d'écoles, des jardins particuliers et même des cimetières.

c. Le potentiel d'accueil de la biodiversité dans les cimetières

Le passage d'une gestion des cimetières par l'Eglise à une gestion communale au début du XXe siècle a participé à la standardisation de leur conception. Les cimetières s'organisent petit à petit en rangs de tombes serrés et séparés par des allées de schiste ou de gravier. Ces derniers deviennent très minéraux, laissant peu de place à la flore spontanée, ces « mauvaises herbes » mal vues par les usagers de ces espaces. Effectivement, dans la perception de l'entretien des cimetières, les plantes spontanées évoquent un sentiment de mauvaise gestion ou encore d'abandon, faisant écho au deuil et s'opposant à l'esthétique souhaité par les usagers. Ainsi, les cimetières deviennent des espaces soumis à une forte pression d'entretien à travers les tontes intensives et désherbages par des produits phytosanitaires chimiques.

A l'inverse, ces lieux de recueil offrent un potentiel de refuge pour la nature en milieu urbain. Par le fait que ce sont des espaces calmes, relativement peu fréquentés et fermés au public la nuit, souvent non éclairés. C'est de ce constat que l'étude « Cimetières vivants » est née afin de mieux connaître la biodiversité présente dans ces espaces et d'identifier les paramètres pouvant la favoriser.

d. Présentation de l'étude « Cimetières vivants »

En 2020, l'ARB îdF a lancé l'étude « Cimetières vivants » (aussi appelé par acronyme « COOL » pour « Cemeteries : Observation Of Life »). Cette étude, sur une durée de 4 ans (2020-2023), a pour objectif de qualifier et de mieux connaître la faune et la flore sauvage présente dans 45 cimetières franciliens. Les objectifs sont d'évaluer les facteurs pouvant

influencer la diversité de la faune et de la flore : modes de gestion, typologies d'aménagement ou l'environnement immédiat sont autant de facteurs étudiés. Afin de pouvoir les comparer entre eux mais aussi avec d'autres espaces. L'étude s'appuie sur 6 programmes de sciences participatives. Ainsi, pour chaque cimetière sont appliqués les protocoles suivants : Sauvages de ma rue (SDMR) et Vigie-Flore (VF) pour inventorier la flore ; le Suivi photographique des insectes pollinisateurs (SPIPOLL) pour les pollinisateurs ; l'Estimation des populations d'oiseaux communs (EPOC) pour l'avifaune ; Mission hérisson (MH) pour les micromammifères et Vigie-Chiro (VC) pour les chiroptères.

Le présent mémoire exploite les données de l'étude, collectées sur les deux premières années (2020-2021), pour répondre aux problématiques suivantes : La biodiversité des cimetières est-elle semblable à celle des autres milieux ? Quelles sont les paramètres environnementaux ayant un effet sur la biodiversité des cimetières ?

Au cours de ces six mois de stage, j'ai eu pour rôle la mise à jour et la création de certaines variables explicatives, la réalisation des analyses statistiques des données 2021 réalisées à partir des protocoles précités plus haut. L'objectif de ce stage est de renforcer et d'affiner les analyses entamées par un précédent stagiaire en 2020 à l'aide des données supplémentaires, d'améliorer certaines limites identifiées l'an passé et de proposer des pistes d'améliorations pour la suite de l'étude. Dans ce mémoire l'analyse Vigie-Chiro n'a pas été traitée. En parallèle de ce travail, j'ai aussi été amenée à réaliser des missions d'échantillonnages. J'ai notamment participé aux suivis de la faune en réalisant un total de 44 relevés SPIPOLL, 19 relevés EPOC, et 3 poses VC. J'ai également aidé les gestionnaires à mettre en place les dispositifs MH en leur fournissant le matériel nécessaire

II. Matériels et méthodes

Comme présenté en introduction, l'étude « Cimetières vivants » s'appuie sur six protocoles d'observation de la biodiversité dans les cimetières, appliqués sur une durée de 4 ans (2020-2023). Les 45 cimetières de l'étude sont répartis dans toute l'Île-de-France selon un gradient urbain-rural (Figure 1). Ces cimetières ont été sélectionnés dans différents type de milieux (agricoles, forestiers et urbains), de manière à pouvoir étudier l'effet de la matrice paysagère sur la biodiversité de ces derniers. Les cimetières ont aussi été sélectionnés en fonction de leur type de conception.



Photo 1 : Cimetière paysager de Bondoufle

Certains sont dit « paysagers » lorsque l'occupation végétale est plus importante que l'occupation minérale (Photo 1). Il existe aussi des occupations mixtes. Les pratiques de gestions (désherbage chimique, désherbage non-chimique, pas de désherbage) ont également été un critère dans la sélection de l'échantillon afin d'évaluer leur effet sur la biodiversité.

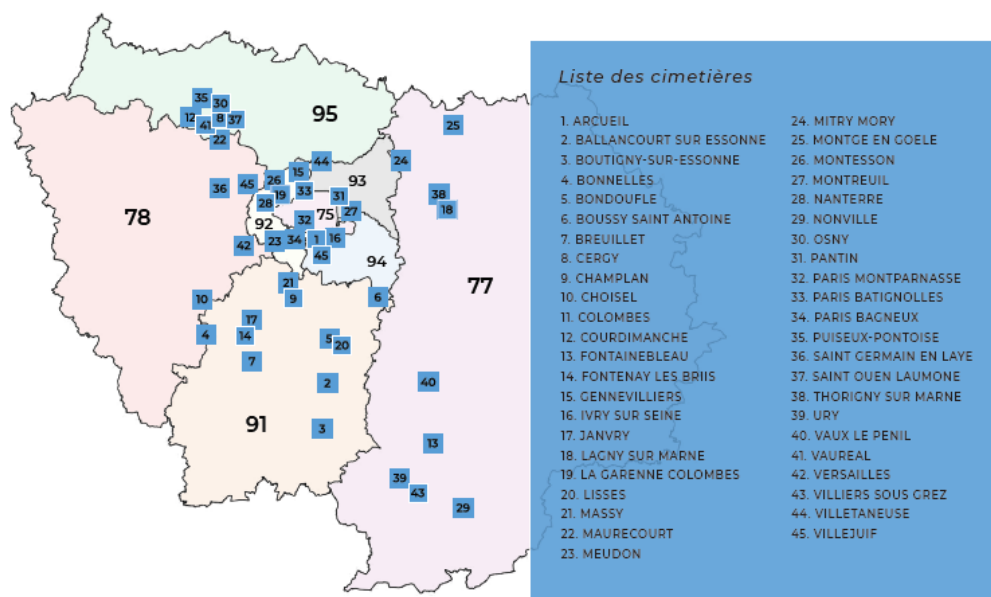


Figure 1 : Localisation des différents cimetières franciliens étudiés dans le cadre de l'étude COOL (Image Rudy Bueno).

a. *Elaboration des variables explicatives*

Afin d'évaluer les paramètres qui influencent la biodiversité des cimetières, des variables environnementales ont été créées pour la première année d'analyses. Ces variables sont : l'urbanisation, la connectivité, la pollution lumineuse, la végétalisation, la hauteur de végétation, la pression de gestion, la rémanence en herbicides, l'entomogamie, l'ancienneté des cimetières et la surface de ces derniers. Ce sont toutes des variables quantitatives et non catégorielles afin d'une part d'éviter les problèmes de sur paramétrage et d'autre part, d'éviter d'utiliser des variables avec des catégories à faible nombre de données. Cette année, les variables ayant fait l'objet d'une mise à jour ou retravaillées sont : l'entomogamie, l'urbanisation et la pression de gestion. De plus, la variable couverture aquatique a été créée.

La variable urbanisation

Pour la création de la variable urbanisation, nous avons utilisé les données de l'inventaire numérique de l'occupation du sol en Île-de-France, développées par l'Institut Paris Région (IPR) : le Mode d'occupation du sol (MOS). Ce dernier a été utilisé l'an dernier sur les données 2020, mais cette année ce sont les données du MOS+ qui ont été utilisées. Sorti entre temps, il est couplé avec la couche cartographique des Espaces Publics, offrant plus de précisions sur les occupations du sol. A l'aide du logiciel ArcGIS, les données du MOS+ 81 postes ont été extraites, dans un buffer de 500m et 1000m autour des cimetières. Ces deux buffers ont été sélectionnés l'an passé, car les taxons étudiés (avifaune, pollinisateurs, chiroptères, micromammifères) possèdent des capacités de dispersion différentes. Les rayons ont été définis à dire d'experts lors d'une réunion avec les membres du Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN), de la Ligue pour la protection des oiseaux (LPO) et du Conservatoire botanique national du Bassin parisien (CBNBP). Une fois l'étape de la fabrication des modèles d'analyses lancée, une partition hiérarchique permettra de dire quel buffer a le plus d'effet sur le taxon étudié.

La variable de couverture aquatique

Les données de couverture aquatique ont été créées au cours de ce stage afin d'avoir une notion de trame bleue, qui pourrait avoir un sens écologique pour l'étude des oiseaux et des chiroptères. Cette variable est tirée des données du MOS+, et de la même façon que pour la variable urbanisation en passant par ArcGIS, sont filtrées les occupations de sol dites « aquatiques », milieux lenticules et lotiques confondues. Cette variable correspond à un pourcentage d'occupation du sol par les milieux aquatiques, sur un buffer de 500m et 1000m.

La variable de végétalisation et hauteur de végétation

Pour la création de ces variables, les données utilisées proviennent d'une carte développée par l'IPR se servant de la technique du NDVI (Normalized Vegetation Index). Cette méthode utilise la mesure de la réflectance des canaux rouges et proche infrarouge par des capteurs satellitaires. En effet, les plantes absorbent la lumière rouge pour en émettre une bande du proche infrarouge. En soustrayant la réflectance de ces deux bandes on déduit la présence ou non de végétaux. Cette méthode étant sensible à la vigueur et à la densité de la couverture végétale plus un milieu s'apparente à une forêt mature et dense, plus il réfléchira dans le proche infrarouge. Elle permet ainsi de représenter la couverture végétale et la taille de ce couvert (herbe, arbuste ou arbres). Ce qui a permis de créer la variable végétalisation (relative à un pourcentage de végétalisation des cimetières) et la variable de hauteur de végétation dans le cimetière. Les indices ont été créés à partir de deux ACP.

La variable de pollution lumineuse

La variable de pollution lumineuse a été créée pour l'analyse des données 2020 à partir de la carte VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) présente sur le site lightpollutionmap.info. De la même manière que pour le NDVI, cette méthode utilise les données satellitaires, mais cette fois-ci pour collecter les bandes de la lumière visible et de l'infrarouge émis par la Terre. Grâce à cette carte, nous avons l'information de l'intensité lumineuse émise par une zone sur Terre. Cette carte a permis d'extraire pour chaque cimetière la luminosité moyenne émise dans un buffer circulaire d'1km autour de ceux-ci, dans le but de prendre en compte le déplacement des chiroptères selon les dires d'experts.

La variable entomogamie

Pour la création de la variable d'entomogamie nous avons assemblé les données VF et SDMR collectées sur les deux années dans les cimetières ainsi que la base de données de traits floraux du CBNBP. Le but est de pouvoir déterminer un pourcentage de plantes ayant une reproduction dépendante des insectes dans les cimetières.

La variable gestion

Cette variable a été totalement retravaillée au cours de ce stage. En effet, l'an passé cette dernière ressortait mal dans les modèles, elle correspondait à un nombre d'heures d'entretien par cimetière pondéré par la surface. Nous avons fait l'hypothèse que cette variable manquait de précisions, c'est pourquoi nous avons recréé un questionnaire à destination des gestionnaires.

Dans ce questionnaire il est demandé pour 8 méthodes de gestion le nombre de passages par an ainsi que le nombre d'heures par passages. Ces méthodes diffèrent selon la typologie des espaces concernés : les espaces enherbés et les espaces inter-tombes/allées minérales (Tableau 1). Après avoir obtenu les nombres d'heures par an et par méthodes dans chaque cimetière (35 réponses sur 45), ces derniers ont été multipliés à des scores reflétant l'impact négatif sur la biodiversité de chaque mode de gestion (1= peu impactant ; 4= très impactant) (Tableau 1. a) et b). Puis l'indice a été divisé par la surface en m² du cimetière. Ces scores ont été définis après analyse de la bibliographie sur le sujet (Flandin and Parisot, 2016 ; Gallois, 2019).

Les espaces enherbés	Score
Fauche avec exportation	1
Fauche sans exportation	1
Tonte	2

Tableau 1. a) Méthodes proposées par le questionnaire sur les surfaces enherbées des cimetières

Les espaces inter-tombes/allées minérales	Score
Désherbage manuel	2
Désherbage mécanique	3
Désherbage thermique	3
Produits phytosanitaires chimiques	4
Produits de biocontrôles	4

Tableau 1. b) Méthodes proposées par le questionnaire sur les surfaces inter-tombes et allées des cimetières

Plus l'indice est élevé plus on a une forte pression de gestion par m² dans les cimetières. Une fois l'indice créé, il est inclus dans les modèles d'analyses, malgré les 10 valeurs manquantes. Les résultats n'ont pas été concluants, la variable réagissant de manière contre-intuitive. En effet, pour chaque taxon lorsque la pression de gestion augmente, la richesse ainsi que les autres indices de biodiversité augmentent. Aussi, la variable pouvait pour certains taxons dominer, en termes d'apport d'information les autres variables ou à l'inverse ne presque pas en apporter. Ainsi, nous avons pris la décision de ne pas inclure cette variable dans le jeu de données, non seulement car elle contient des valeurs manquantes mais surtout car elle est mal calibrée. Nous donnerons des pistes d'amélioration de cette dernière dans la partie perspective d'amélioration (IV.d) de ce mémoire.

Les autres variables

Les autres variables tels que l'ancienneté des cimetières, la surface et la rémanence en herbicides, ont été élaborées à partir de formulaires complétés par les gestionnaires. Pour

l'ancienneté, il avait été demandé la date exacte de création du cimetière à chaque gestionnaire pour ainsi déterminer son ancienneté (2021 – date de création). La surface correspond à la taille en hectares du cimetière. Enfin, pour la rémanence en herbicides, la dernière année d'arrêt d'utilisation des herbicides chimiques a été demandée afin de déterminer la possible persistance du produit dans le sol en nombre d'années (2021 – date d'arrêt des herbicides). Il a été estimé qu'un cimetière ayant arrêté récemment l'utilisation d'herbicides avait plus de chances de conserver dans son sol des traces de ces produits qu'un cimetière ayant arrêté il y a plus longtemps. Le calcul est le suivant : $V_{\max} + 1 - \text{nombre d'années sans herbicides}$ (avec V_{\max} = Valeur maximale du nombre d'années sans herbicides). Les cimetières obtenant une forte valeur de rémanence sont ainsi ceux ayant arrêté récemment ou utilisant encore des herbicides.

Perfectionnement et étude des variables

Les variables explicatives ont été mises à la même échelle par des transformations logarithmiques, afin qu'elles se ressemblent en termes d'ordre de grandeur. Les valeurs aberrantes trop extrêmes qui pourraient par la suite nuire à la robustesse de nos modèles statistiques ont été retirées. Aussi, les variables comportant trop de valeurs manquantes comme la variable de gestion et de connectivité trame verte, ont été retirées. Dans la partie perspectives (IV.d) des pistes pour améliorer ces variables seront proposées. Enfin, un test de corrélation de variables a été fait afin de mettre en évidence celles corrélées entre elles qui ne pourront pas être mises ensemble dans un même modèle (graphique en Annexe I). Le seuil de corrélation est fixé à $r = 0.6$. Si une valeur dépasse ce seuil, alors il faut faire un choix pour ne pas mettre les deux variables concernées ensemble, le choix se portera sur la variable expliquant le mieux (pourcentage le plus élevé) nos indices de biodiversité. Les variables explicatives corrélées sont l'urbanisation (500m et 1000m) avec la pollution lumineuse, l'urbanisation (1000m) avec la couverture aquatique (1000m). Chacune des variables doublées sur deux buffers (urbanisation, couverture aquatique) (sur 500 et 1000m) sont corrélées, le buffer le plus informatif sera sélectionné. Lorsque les modèles sont créés, un test de multi-colinéarité sera également réalisé afin de s'assurer de la robustesse de nos modèles même avec des variables légèrement corrélées.

Pour finir, afin de limiter les problèmes de multi-colinéarité, seules les variables ayant un sens écologique pour le taxon d'intérêt seront mises dans les modèles. Par exemple, la couverture aquatique n'a finalement été utilisée que pour les oiseaux, elle aurait pu avoir un sens pour les insectes mais après recherches, seulement le genre *Eristalis* a un cycle aquatique et ce dernier correspond à des petites surfaces d'eau stagnante, non représentées par notre variable. Ensuite, la pollution lumineuse a elle aussi été utilisée que sur un taxon : les

mammifères issus du protocole MH. L'entomogamie n'a pas été utilisée pour les mammifères et les oiseaux.

b. Présentation des protocoles et définitions des objectifs

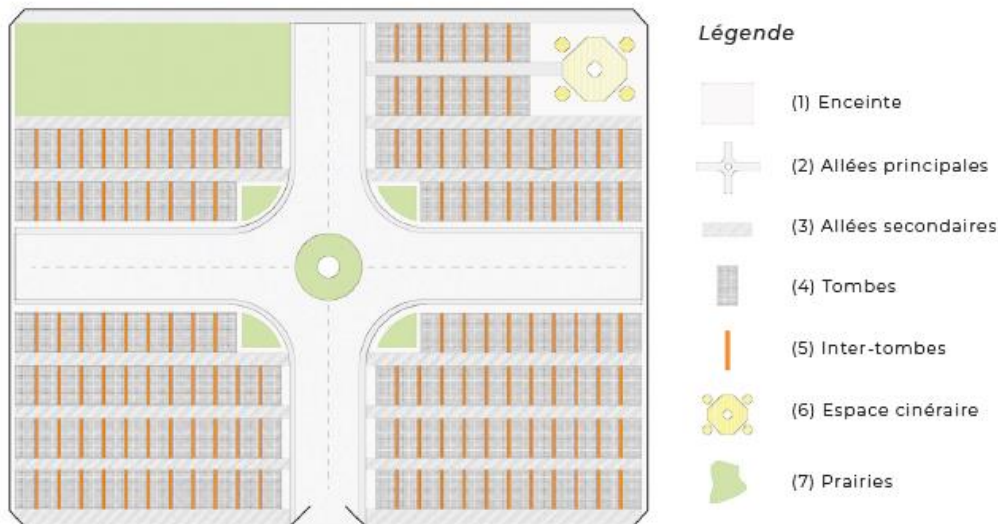


Figure 2 : Représentation schématique simplifiée de l'agencement d'un cimetière occidental (Image Rudy Bueno).

Analyse pour la flore vasculaire : Sauvage ma rue et Vigie-Flore

Ces deux protocoles sont appliqués à des espaces spécifiques dans le cimetière. Le programme SDMR, est appliqué pour inventorier la flore dans les espaces d'inter-tombe, tandis que le programme VF est utilisé pour relever la flore dans les prairies ou espaces enherbés (zones d'extension du cimetière par exemple) (Figure 2). Le premier se fait selon un transect de 100 mètres de long circulant entre les rangées de tombes et prenant en compte la flore spontanée et subspontanée développée dans les allées, entre les tombes et dans les fleurissements de tombes (SDMR). Le second s'effectue selon une placette de 10 m² à l'intérieur de laquelle 10 quadrats de 1 m² sont réalisés, le tout est placé sur une zone enherbée du cimetière, puis sont notées toutes les espèces trouvées dans chaque quadrat (VF). Ces deux protocoles sont réalisés par les experts du CBNBP et ont été adaptés pour l'étude. Les botanistes du CBNBP ne sont par exemple pas limité à la liste de 240 espèces imposée par le protocole SDMR. Les deux protocoles sont réalisés dans chaque cimetière 1 fois par an entre le 15 mai et le 15 juin. Ces dates ont été choisies notamment pour éviter les périodes de sécheresse, pouvant rendre les identifications difficiles.

Les objectifs sont ici de calculer les indicateurs de bases tels que la richesse par cimetière ; l'effet des variables explicatives sur l'ensemble de la flore retrouvée dans les cimetières ; d'étudier ces effets aussi de manière séparée, sur la flore de l'inter-tombe (SDMR), puis sur la flore des prairies (VF) ; de comparer les données de la flore présente dans les prairies des cimetières avec celle retrouvée dans d'autres milieux ; de comparer les données de la flore des prairies (VF) avec celle de l'inter-tombe (SDMR).

Les données collectées utilisées correspondent aux espèces retrouvées pendant la réalisation des protocoles. Un indice de rareté provenant de la base de données naturalistes d'Île-de-France (GéoNat'idF) a été ajouté pour chaque espèce inventoriée. Le CBNBP a aussi réalisé des protocoles complémentaires pour avoir une vue exhaustive de la flore des cimetières.

Pour les deux premières années de l'étude nous avons eu un total de 6 014 observations, dont 4 035 pour le protocole SDMR et 1 979 pour le protocole VF. Comme il n'y a qu'une seule session par an, sur 45 cimetières on aura 45 x 2 relevés (soit le nombre de sessions). La base de données nationale a également été récupérée, soit 10 127 relevés. Néanmoins, les données VF nationales ont été filtrées manuellement sur les types de milieux prairiaux semblables à ceux retrouvés dans les cimetières, ensuite après avoir appliqué les autres filtres de période et de géographie (partie II.c), nous obtenons un jeu de données de 2933 collections pour 13 957 observations qui sera comparé aux données VF de l'étude COOL. En revanche, le protocole SDMR ayant été modifié pour l'étude, les données récoltées ne sont donc plus comparables avec la base de données SDMR nationale.

Analyse pour les insectes pollinisateurs : SPIPOLL

Le Suivi photographique des insectes pollinisateurs (Spipoll) est un programme de science participative original basé sur la photographie numérique. Ce protocole consiste à choisir un type de fleur, puis de photographier tous les insectes se posant sur cette espèce dans un rayon de 5 mètres pendant 20 minutes. Les conditions définies dans le cadre de l'étude pour réaliser les collections sont d'avoir un massif floral en plein soleil avec une température minimale de 16°C et un vent faible ou nul. Deux collections sur des plantes différentes seront faites dans les espaces inter-tombes et deux autres dans les espaces enherbés. Dans le cadre de l'étude, les morphotypes de plantes ont été filtrés afin d'améliorer la comparabilité entre les données. En effet, la morphologie de la fleur (notamment la profondeur et largeur de la corolle)

sélectionne les pollinisateurs qui pourront s'alimenter sur la fleur (Desaegher et al., 2019). Ainsi, si le choix des fleurs n'est pas cadré, le risque est d'observer des variations des communautés d'insectes causées par le choix de la plante et non par les variables environnementales. Les morphotypes floraux sélectionnés sont PN et Pn+ car ils regroupent le plus de plantes observables dans les cimetières (représentation en Annexe II). Deux sessions de quatre collections par cimetières sont effectuées chaque année. La première session se déroule entre le 1^{er} avril et le 15 mai et la seconde entre le 15 juin et le 31 juillet. Le protocole est réalisé par le personnel de l'ARB ÎdF et par des bénévoles associés au projet.

Les objectifs sont de calculer les indicateurs de base tel que les richesses en morphogroupes ; de comparer les données de l'étude avec celle des autres milieux ; de comparer les données des pollinisateurs de l'espace inter-tombe avec celle des prairies ; d'étudier l'effet des variables explicatives sur les insectes pollinisateurs.

L'identification des insectes est réalisée grâce à la clef de détermination proposée par le site Spipoll. Comme les méthodes d'identification des insectes varient selon les espèces, le protocole Spipoll propose une identification sur photo correspondant aux morphogroupes (ensemble d'espèces cryptiques, difficilement discernable par photo). L'abondance est une estimation « 1 », « entre 2 et 5 », « plus de 5 », « Je n'ai pas l'information ». Pour l'année 2020 et 2021, nous avons un total de 5 503 observations pour 710 collections (10 collections manquantes liées au confinement dû à la Covid-19 ou à l'absence de plantes dans les cimetières). Comme le nombre de collections n'est pas le même entre les cimetières, nous passerons par des moyennes pour les comparer entre eux. Nous avons également récupéré la base de données nationale du Spipoll, qui une fois filtré sur nos paramètres contient 9 456 collections (83 608 observations), qui sera comparée à celle des cimetières.



Photo 2 : Azuré commun (*Polyommatus icarus*) lors d'un protocole SPIPOLL au cimetière de Bondoufle.

Analyse des mammifères terrestres : Mission Hérisson



Photo 3 : tunnel à empreinte au cimetière de Ballancourt-sur-Essonne (91).

Le protocole Mission Hérisson est issu d'une enquête menée sur la France métropolitaine afin d'étudier l'évolution des populations de hérisson, et par extension des autres petits mammifères (mulots, musaraignes, campagnols...). Des tunnels à empreintes avec appât de nourriture, permettent de capter la présence de certaines espèces (Photo 3). Ils sont posés dans chaque cimetières de l'étude

durant 5 nuits consécutives, et cela deux fois par an. La première session a lieu entre le 15 juin et le 31 juillet, puis la seconde 6 semaines plus tard entre le 15 août et le 30 septembre. Les gestionnaires sont autonomes sur ce protocole, et retournent les relevés au personnel de l'ARB îdF qui se charge d'identifier les espèces et de saisir les données.

Les objectifs ici sont : de calculer les indicateurs de base tels que les morphogroupes constatés, et les abondances moyennes retrouvés dans les cimetières ; de les comparer avec les données d'autre milieux et d'étudier les effets des variables explicatives sur les mammifères terrestres retrouvés dans les cimetières, notamment sur les hérissons.

Les données collectées correspondent aux morphogroupes retrouvés sur les 5 nuits de chaque session. Concernant l'indicateur de biodiversité créé, le terme d'abondance sera utilisé, même si nous n'avons pas le moyen de différencier les individus entre les nuits. Pour les années 2020 et 2021 nous avons un total de 293 observations de micromammifères (sans compter les observations de chat domestique). Une observation correspond à deux feuilles de relevés posées sur une nuit d'échantillonnage, à l'inverse 400 feuilles ont été relevées sans empreintes. En théorie, 4 sessions auraient dû être effectués par cimetières, mais sur les deux années on obtient 156 collections car il manque 24 sessions liées à la non-réalisation des protocoles par les gestionnaires ou à la non-réception des relevées. Malgré ces manques, les 45 cimetières ont fait l'objet d'au moins une session de relevés. Ainsi, pour comparer les cimetières entre eux, nous

sommes passés par des moyennes d'abondance par collection et non par un total par cimetière. Pour les autres analyses se sont les abondances totales par collections qui sont utilisées.

Analyse des oiseaux : EPOC

Le protocole EPOC a commencé en 2021, soit un an après le début de l'étude. Le protocole utilisé est une version simplifiée du protocole STOC-EPS (Suivi Temporel des Oiseaux communs – Échantillonnages Ponctuels Simples). Il permet de récolter des données standardisées de manière peu contraignante.

L'observateur choisit un point d'écoute sur lequel il note l'ensemble des espèces/individus vus et entendus pendant 5 minutes. Ce point est répliqué une seconde fois dans les mêmes conditions et au même endroit. Pour les cimetières de plus de 10 ha, deux points d'écoutes sont réalisés. A l'exception du plus grand cimetière, Bagneux (plus de 60 ha), sur lequel 6 points d'écoutes différents sont réalisés.

De plus, afin de pouvoir calculer précisément les densités des populations observées, il est important d'indiquer les individus observés et leur nombre selon des classes de distances définies par le protocole.

Le 1^{er} passage se fait entre le 1^{er} avril et le 8 mai, puis le second entre le 9 mai et le 15 juin en respectant 4 semaines d'écart entre les deux. Les points d'écoute doivent être réalisés entre 7h30 et 10h30 du matin.

Les objectifs ici sont : de calculer les indicateurs de base tels que les richesses en espèces contactées, et les abondances moyennes retrouvés dans les cimetières ; de les comparer avec les données d'autre milieux et d'étudier les effets des variables explicatives sur l'avifaune retrouvées dans les cimetières. Un indice de rareté pour chaque espèce d'oiseau a été ajouté, il a été fourni par la LPO. Pour 2021, sur les 44 cimetières saisis, 179 relevés pour 1934 observations d'oiseaux ont été notés. Il nous manque 33 relevés dû à la météo et à des manques de personnels.

c. Travail des données et création d'indicateurs

Création des indicateurs de biodiversité

Afin d'analyser les relevés faune et flore des cimetières et des autres milieux, des indices ont été calculés pour chacun des taxons :

- Richesse : Nombre totale d'espèces (ou morphogroupes) retrouvées par collection. Les richesses ont été calculées en additionnant le nombre d'espèces différentes observées à chaque collection (ou relevé).
- Originalité : Originalité moyenne des espèces (ou morphogroupes) retrouvées par collection. Les originalités ont été calculées en faisant des moyennes des indices d'originalité attribués à chaque espèce. Cet indice correspond à un rang ayant été calculé à partir de la fréquence d'apparition de l'espèce dans le jeu de données national, en prenant en compte son abondance. Plus le rang d'originalité est élevé moins l'espèce est fréquente. Ainsi, plus une collection a une moyenne élevée, plus son contenu est original. Il s'agit d'un proxy de la rareté, relatif au protocole et non au statut.
- Abondance : Nombre total d'individus observés par espèces (ou morphogroupes) par collection. Les abondances ont été calculées en additionnant le nombre d'individus observés à chaque collection. Par ailleurs, pour permettre le traitement statistique, nous avons attribué les valeurs suivantes aux modalités des abondances du jeu de données SPIOLL : « 1 » =1, « Entre 2 et 5 » =2, « Plus de 5 » =6, « Je n'ai pas l'information » =1 et les collections vides = 0.
- Rareté : Rareté moyenne des espèces (ou morphogroupes) par collection. Les raretés ont été calculées en faisant la moyenne des indices de rareté attribués à chaque espèce. Ces indices proviennent de la base de données du CBNBP et de la LPO.

Travail des données nationales

Dans le cadre de nos analyses comparatives de milieux, nous utilisons les données nationales de programmes de sciences participatives pour les comparer au jeu de données de l'étude. Seulement, pour qu'elles soient comparables, nous devons leur appliquer quelques filtres :

- Filtre phénologique : nous gardons uniquement les collections comprises entre les dates d'échantillonnage des cimetières afin de prendre en compte les facteurs phénologiques (floraison, hausse de l'activité, sortie d'hibernation, mues...) dans nos comparaisons.
- Filtre géographique : nous conservons uniquement les collections comprises dans un buffer de 200km autour de Paris. Elles sont ainsi représentatives du climat francilien (Climat océanique dégradé) à l'exception des données EPOC, pour lesquelles l'extraction a été faite à l'échelle de l'Île de France.

- Filtre de l'habitat : nous ne gardons que les collections correspondant aux habitats présents dans le jeu de données de l'étude soit, selon l'outil Corine Land Cover (CLC), « Territoires agricoles », « Territoires artificialisés » et « Forêts et milieux semi-naturels ». Grâce à cette nomenclature européenne d'occupation biophysique des sols, nous pouvons aussi analyser des données milieux par milieux. Pour VF et MH, nous n'effectuerons pas de comparaison pour le milieu « Forêts et milieux semi-naturels » car, ayant que 3 cimetières concernés, ces protocoles ne permettent pas de créer assez de collections dans le jeu de données de l'étude ce qui rend la comparaison peu robuste.
- Filtre protocolaire : Pour le SPIPOLL, nous conservons uniquement les données correspondant au même protocole soit le protocole flash durant exactement 20 minutes. Pour EPOC nous sélectionnerons les données sur les horaires de l'étude : 7h30 – 10h30.
- Filtre spécifique : Pour le SPIPOLL, nous retenons seulement les données collectées sur les morphotypes floraux PN et Pn+. Néanmoins, nous réalisons également des tests indépendamment des classes afin d'exploiter la totalité des collections. Alors, pour limiter le biais, nous conservons seulement les données où les genres/familles de plantes entre les données nationales et les données de l'étude sont similaires.

d. Calculs, tests et modèles statistiques

Méthodologie pour les calculs basiques

La richesse par collection est une somme de toutes les espèces et la richesse par cimetière est une moyenne des richesses par collections. Sauf pour la flore où la richesse totale par cimetière est utilisée car il y a le même nombre de relevés dans chaque cimetière, contrairement aux autres taxons où il faut passer par des moyennes pour pouvoir les comparer.

Méthodologie pour les analyses comparatives de milieux

Pour les comparaisons entre les cimetières et les autres milieux, nous comparerons leurs indices avec un test de comparaison de moyenne non-paramétrique : le test de Wilcoxon. L'hypothèse H0 ($p.value < 0.05$) étant : il y a une différence significative entre les cimetières et les données nationales. L'hypothèse inverse H1 ($p.value > 0.05$) étant : il n'y a pas de différence significative. Les tests sont réalisés sur l'ensemble des données, sur chaque milieu (CLC) ainsi que par classe pour le SPIPOLL.

Méthode pour les modèles linéaires généralisés (Glm)

Les modèles linéaires généralisés permettent de modéliser l'effet de variables environnementales sur une variable d'intérêt. Les analyses ont été faites à l'aide du logiciel *R.studio* (version 4.1.2, [R Core Team, 2016](#)). La sélection des meilleurs modèles a été faite avec la méthode de sélection descendante des variables par une *Anova*, conjointement au critère du plus faible AIC. Le sur-paramétrage et la sous-dispersion des données ainsi que les problèmes multi-colinéarités entre les variables ont été pris en compte dans le choix des variables à inclure dans les modèles. Les résidus des modèles ont été vérifiés grâce au package *DHarma*.

Méthode pour le zéro inflated model (ZI models)

Il y a un nombre conséquent de zéros dans les données issues du protocoles MH. Ces zéros peuvent avoir deux origines ; l'absence du taxon car l'environnement ne lui est pas propice (vrai zéros), ou bien le taxon est présent mais n'a pas été détecté par le protocole (faux zéros). Ainsi, sur un modèle classique, un jeu de données est dit 'zéro-enflé' quand sa proportion de zéros est si importante que le jeu ne relève d'aucune distribution standard connue, ne pas tenir compte de ce facteur peut conduire à un cas particulier de surdispersion : l'inflation de zéros ([Diallo, 2017](#)). Dans nos données MH on trouve sur l'abondance globale en mammifères 28% de zéros et 40% spécifiquement pour les hérissons (histogramme en Annexe V, figure 4). Dans la littérature on trouve le seuil de 70% de zéros ([Martin et al., 2005](#)) c'est pourquoi dans nos analyses nous allons regarder les résultats des deux modèles, les modèles classiques et les zero-inflated models.

Cumuler ces deux modèles nous permettra d'une part d'analyser l'effet des variables environnementales sur l'abondance des micromammifères, étant donnée leur présence (modèle classique), et d'autre part d'analyser leurs effets sur la probabilité d'absence des taxons (donnés par le zero-inflated models) ([Zeileis et al., 2008](#)). Comme dans le ZI model nous n'avons que le *summary*, nous comparerons exceptionnellement les pvalues du *summary* et non plus celles de l'*Anova* pour l'analyse MH. Le *summary* du ZI-model donnera l'effet des variables sur la présence/absence de la variable réponse. Plus spécifiquement, cela modélisera la probabilité d'absence : une relation positive indiquera que plus la variable prédictive est grande, plus la probabilité d'absence est importante. Pour finir, le test de comparaison de modèles de Vuong permettra de révéler celui qui est le mieux adapté aux données.

Model classique : *glm.nb(y~x)*

Zero-inflated models: *zeroinfl (y~x, family="negbin")*

III. Résultats

a. Résultats des analyses pour la flore vasculaire

En effectuant la somme de l'ensemble des espèces spontanées présentes dans les 45 cimetières étudiés, la richesse totale obtenue - qu'il s'agisse des prairies ou de l'inter-tombe - est de 470 espèces pour les deux premières années. Les deux espèces les plus communes sont le Plantain lancéolé (*Plantago lanceolata*) dans les prairies et la Luzerne lupuline (*Medicago lupulina*) dans les inter-tombes. Les deux espèces les plus rares retrouvées dans les cimetières sont la Berle des prés (*Sison segetum*) une espèce calcicole des sols mésophiles et la Véronique à feuilles d'acinus (*Veronica acinifolia*) une espèce acidiphile des sols sableux et oligotrophes, elles sont toutes les deux classées en danger critique au niveau régionale (CR) (selon la liste rouge régionale (Auvert *et al.*, 2011)). Si on s'intéresse à la richesse de chaque cimetière sur les deux années, on observe une grande disparité. Le cimetière d'Arcueil héberge 141 espèces tandis que le cimetière de Lagny sur Marne 81. La moyenne d'espèces par cimetières est de 113 espèces. Une synthèse graphique de ces résultats se trouve en figure 1 de l'Annexe III.



a) Luzerne lupuline (*Medicago lupulina*) une plante commune



b) Véronique à feuilles d'acinus (*Veronica acinifolia*) une plante rare.

Photo 4 : Exemple de plantes fréquente et rare retrouvées dans les cimetières

Analyse comparative de milieux

Les cimetières semblent avoir une flore plus riche et originale que les autres milieux qu'ils soient agricoles ou urbains. En raison du trop faible nombre de données, aucune comparaison n'a été faite pour le milieu « Forêts et milieux semi-naturels ». En ce qui concerne les résultats entre la prairie et l'inter-tombe, on observe une plus forte richesse, originalité et rareté dans le milieu inter-tombale que dans le milieu prairial. Néanmoins, on n'observe pas de différence significative entre la composition en plantes de ces deux milieux (pvalue= 0.768) (Annexe III,

figure 2 : NMDS). Un tableau récapitulatif des résultats ainsi que quelques figures sont disponibles en Annexe III.

Etude de l'effet des variables explicatives

L'urbanisation est la variable ressortant le plus de fois : elle joue un effet négatif sur la richesse de la flore inter-tombale et prairial, mais a un effet positif sur la rareté de la flore inter-tombale. Ensuite, la hauteur de végétation a un effet négatif sur l'originalité de l'inter-tombe et des prairies, quant à la végétalisation elle a un effet négatif sur la richesse de la flore prairial mais un effet positif sur leur originalité. On observe que la rémanence en herbicides a un effet positif sur la flore prairial, mais la corrélation étant nulle cela s'apparente à un artefact, nous n'en prendrons pas compte dans notre discussion. Pour finir, on observe que la variable surface joue un rôle positif sur la richesse globale ainsi que celle des prairies, et que l'ancienneté a un effet positif sur la rareté et l'originalité de la flore globale. Le tableau synthétique en figure 5 de l'Annexe III permet de synthétiser tous les effets significatifs obtenus à la suite des GLM, quelques représentations graphiques des modèles sont disponibles en Annexe III.

b. Résultats des analyses pour les insectes pollinisateurs

Pour les deux premières années de l'étude, 227 morphogroupes d'insectes pollinisateurs ont été retrouvés (dont 175 la première année). Le morphogroupe le plus fréquent est représenté par le groupe des « Mouches difficiles à déterminer » puis celui des « Halictes femelles », les plus rares par les « Cimbicides » ou encore les « Cydnides unis » (Photo 5). Le cimetière avec la plus forte richesse est celui de Fontainebleau, avec en moyenne 15 morphogroupes par protocole (104 au total sur deux ans), les plus faibles richesses moyennes avec 4 morphogroupes sont dans les cimetières de Paris Montparnasse, Pantin, et Gennevilliers (avec respectivement un total de 37 ; 32 et 34 morphogroupes sur deux ans). Une synthèse graphique des résultats par cimetière se trouve en Annexe IV.



a) *Halicte femelle un groupe commun*



b) *Cimbicide un groupe rare*

Photo 5 : Exemple des morphogroupes, communs et rares, retrouvés dans les cimetières

Analyses comparatives de milieux

Concernant les milieux prairie/inter-tombe : les zones prairiales semblent être plus riches et plus abondantes en pollinisateurs que les inter-tombes (Annexe IV, figure 3). On observe une différence significative entre la composition en morphogroupes de l'inter-tombe et des prairies (Annexe IV, figure 2 : NMDS).

Il n'y a pas de différence significative entre la richesse moyenne des cimetières et celle des données nationales (moyenne de 7,74 pour l'étude COOL vs 8,81 pour le reste, pvalue=0,07348).

Concernant les comparaisons entre les cimetières et les autres milieux, de manière globale les cimetières ont des cortèges en pollinisateurs moins originaux et moins abondants que dans les autres milieux. Ensuite, dans les aires agricoles, les cimetières semblent moins riches ; moins originaux ; moins abondants en pollinisateurs, que ce soit sur tous les types de plantes confondus ou par type de morphologie florale (PN et Pn+). Dans les aires naturelles, les cimetières sont moins originaux. Enfin dans les zones artificialisées, on trouve une originalité plus élevée sur les plantes en PN des autres milieux, tandis que pour les plantes en Pn+ on trouve une originalité plus élevée dans les cimetières.

Un tableau regroupant tous les résultats des tests comparatifs se trouve figure 4 de l'Annexe IV.

Etude de l'effet des variables explicatives

Les modèles ne possèdent pas un r^2 assez élevé pour exploiter leurs résultats avec certitude (Annexe IV, figure 5). Néanmoins, on peut remarquer que la variable hauteur de végétation est la plus redondante avec un effet négatif dans les modèles sur la richesse et l'abondance globale, sur l'abondance des plante PN, et sur la richesse et l'abondance des plante

Pn+. Vient ensuite la variables végétalisation, ayant un effet positif sur l'originalité globales des pollinisateurs, mais aussi sur l'originalité ainsi que l'abondance des plantes Pn+. Enfin la variable urbanisation a aussi des effets positifs sur la richesse, l'originalité et l'abondance des pollinisateurs sur les plantes de type Pn+ (Annexe IV, figure 5).

c. Résultats des analyses pour les mammifères terrestres

Le protocole MH a permis de détecter sur deux ans, la présence de petits mammifères : notamment de hérissons, de micromammifères (mulots, musaraignes et campagnols), de rats, de fouines/martres et de belettes/hermines (Annexe V, figure 2). Les cimetières de Mitry-Mory et de Ballancourt-sur-Essonne sont ceux ayant répertorié en moyenne le plus de passages d'individus par session (Annexe V, figure 1). La présence du chat domestique est aussi notable dans 35 des 45 cimetières.

Analyses comparatives de milieux

Pour l'ensemble des données sur les micromammifères comme pour les hérissons, le protocole MH détecte plus de passages dans les autres milieux que dans les cimetières, en zones urbaine comme agricole. Les milieux naturels n'ont pas été traités car le jeu de données était trop faible pour effectuer l'analyse comparative de ces derniers (Annexe V, figure 3).

Etude de l'effet des variables explicatives

Comme expliqué dans la partie matériel et méthode, les analyses pour MH ont été faite sur deux modèles, prenant en compte ou non les zéros de comptage sur l'abondance globale d'une part et sur les hérissons d'autre part.

- Abondance globale (tout sauf les chats) :

Dans un premier temps le modèle classique, prenant en compte les effets des variables sur l'abondance lorsque les taxons sont présents, n'a pas révélé d'effets significatifs des variables et ne possède pas un r^2 assez élevé pour être exploité avec confiance ($r^2 < 10\%$) (Annexe V, figure 5). Dans un second temps le zero-inflated model, prenant en compte les effets sur la présence/absence des taxons, révèle une relation positive entre la variable d'ancienneté des cimetières et la probabilité d'absence. Cela sous-entend que l'ancienneté des cimetières a un effet négatif sur la présence des petits mammifères terrestres. A l'inverse, on observe une relation positive de la hauteur de végétation sur la présence des mammifères terrestres dans les cimetières.

Pour conclure la hauteur de végétation favorise la présence des mammifères terrestres dans les cimetières, tandis que l'ancienneté des cimetières est défavorable. Lorsque les taxons sont présents, le modèle classique ne nous informe pas de ce qui favorisent leur abondance. De plus, le test de comparaison de modèles de Vuong nous indique que le zero-inflated model est mieux adapté aux données que le modèle classique.

- Abondance des hérissons :

Les résultats du modèle glm classique démontrent un effet négatif sur l'abondance du hérisson de la variable végétalisation, et un effet positif de l'urbanisation et de la superficie des cimetières. Ensuite le zero-inflated model indique aussi un effet positif de l'urbanisation et de la superficie des cimetières sur la présence des hérissons. Un effet positif de la végétalisation et de la rémanence en herbicides des cimetières sur les probabilités d'absences est également observé. Le test de Vuong favorise le ZI model.

Pour conclure si on prend en compte les deux modèles, la présence ainsi que l'abondance des hérissons sont favorisées par la superficie des cimetières. L'urbanisation semble favoriser la présence des hérissons. En revanche, la rémanence en herbicide et la végétalisation semblent avoir un effet négatif sur la présence de hérisson, cette dernière faisant également diminuer son abondance quand l'espèce est présente. Un tableau récapitulatif des résultats est disponible en figure 5 de l'Annexe V.

Etude de la relation chat - autres mammifères

On n'observe pas d'effet significatif de la présence du chat sur les hérissons et les micro-mammifères (corrélation négative non significative). Mais lorsqu'on regroupe les données, on observe une corrélation significativement négative entre la présence de chat et la présence de tous les autres micromammifères (Annexe V, figure 7).

d. Résultats des analyses pour les oiseaux

Au total, 64 espèces d'oiseaux ont été entendues ou vues, soit plus de la moitié des espèces recensées par le protocole sur toute l'Île de France (118 espèces). Les deux espèces les plus fréquentes dans les cimetières sont le Pigeon ramier (*Columba palumbus*) et la Corneille noire (*Corvus corone*). Et les deux espèces les plus rares sont le Gobemouche noir (*Ficedula hypoleuca*), classé « en danger » par La liste rouge régionale et le Grosbec casse-noyaux (*Coccothraustes coccothraustes*) classée « peu commune ou localisée », selon le statut de rareté de la LPO (Photo 6).

Comme les cimetières n'ont pas les mêmes nombres de collections, nous sommes passés par des moyennes par relevé (5min d'écoute) pour les comparer. Le cimetière de Champlan obtient le maximum de richesse par relevés avec 19 espèces en moyenne, à l'inverse de La Garenne-Colombe qui obtient 4 espèces en moyenne. Une synthèse graphique de ces résultats se trouve en Annexe VI.



a) Gobemouche noir (*Ficedula hypoleuca*)



b) Grosbec casse-noyaux (*Coccothraustes coccothraustes*)

Photo 6 : Exemple des oiseaux les moins communs retrouvés dans les cimetières

Analyse comparative des milieux

Les tests de comparaisons de moyennes n'ont pas révélé de différences significatives entre les indices de biodiversité dans les cimetières et en dehors (richesse, abondance, originalité, rareté). Sauf pour l'originalité en milieux agricole, où elle y est plus élevée en dehors des cimetières et pour la rareté qui est aussi plus élevée dans les autres milieux que dans les cimetières. Un tableau récapitulatif des résultats et une figure sont disponibles en Annexe VI.

Etude de l'effet des variables explicatives

La variable hauteur de végétation est la variable ressortant le plus dans nos indices : elle joue un effet négatif sur la richesse, l'originalité et la rareté en oiseaux. Ensuite, vient l'effet négatif de la rémanence en herbicides, les valeurs fortes étant celle des cimetières ayant arrêté récemment ou utilisant encore de l'herbicide. L'effet positif de l'urbanisation sur l'abondance semble être un artefact car la corrélation est nulle. Le tableau en Annexe VI permet de synthétiser tous les résultats significatifs obtenus à la suite des GLM, des exemples de représentations graphiques sont également disponibles

IV. Discussion

Avant de discuter des résultats obtenus il est nécessaire de garder à l'esprit qu'il ne s'agit que de l'analyse des deux premières années de l'étude, aucune interprétation ne doit être prise pour une conclusion. Les véritables conclusions se feront en 2024, une fois l'analyse réalisée de l'ensemble des données collectées sur les 4 ans de terrain. La partie perspective permettra aussi de proposer des points d'améliorations pour les deux prochaines années.

La méthodologie de l'étude étant basée sur des programmes de sciences participatives, la question d'un effet observateur peut se poser dans les relevés notamment pour le protocole EPOC, où l'identification au chant des espèces dépend du niveau en ornithologie de l'observateur. Néanmoins, d'après la LPO, comme le protocole est fait pour recenser les espèces les plus fréquentes dans chaque sites, les réplicas réalisés par différents observateurs, vont chaque année, lisser les possibles erreurs ou oublie d'identification. Dans le cadre des 45 cimetières de l'étude, redistribuer aléatoirement les sites entre les observateurs pourrait être une solution pour lisser ce possible biais sur l'ensemble des années. Pour le protocole SPIPOLL, le système de clé d'identification simplifié et la vérification des identifications par des membres experts, permet d'éviter les erreurs. Les possibles limites de ces protocoles pourraient venir de la réactivité de la prise de photos et de leur netteté pour permettre les identifications. De plus, au cour de l'étude il a été remarqué que les fois où un cimetière avait été récemment tondu avant l'inventaire, les collections étaient très pauvres voir vides. Ce paramètre est compliqué à corriger pour la suite des années, une solution pourrait être de prévenir le gestionnaire de cimetière en amont de l'inventaire. En revanche, programmer à l'avance les passages SPIPOLL est aussi compliqué du fait de la météo, impactant la présence des pollinisateurs lorsque les conditions ne sont pas optimales (partie II.b). On peut aussi faire l'hypothèse que les spipolliens ne choisiront pas de faire un protocole s'il n'y a pas d'insectes, tandis que dans l'étude, s'il n'y a pas d'insectes présents le protocole est quand même effectué (collections vides). Pour le protocole MH, les identifications empreintes sont aussi validées par le même système que le SPIPOLL. Pour les protocoles flore les identifications sont faites par des experts dans le cadre de l'étude.

Comparer les données de l'étude avec celles du grand public pourrait aussi présenter un risque de fiabilité. Seulement, ici, les jeux de données nationales sont conséquents, après les avoir filtré aux conditions de l'étude ont obtenu VF- 6551 observations ; SPIPOLL- 83608 obs ; MH-4489 obs ; EPOC- 5720 obs. Ces données absorbent largement les biais et mettent en

évidence les tendances globales observées. Enfin en ce qui concerne les problèmes de caractéristiques des données, ils sont pris en compte lors de l'établissement des programmes et sont, dans tous les cas, corrigés après de longues étapes de normalisation des données. Suite à toutes ces étapes, les données des sciences participatives deviennent fiables et robustes, permettant de répondre aux questions de l'étude, qu'il aurait été bien plus compliqué de résoudre sans l'implication du grand public (Peter et al., 2019).

a. La biodiversité des cimetières

Les cimetières comparés aux autres milieux

Sur les deux premières années de l'étude, on recense sur les 45 cimetières de notre échantillon : 227 morphogroupes d'insectes pollinisateur, 470 espèces de plantes vasculaire, 6 morphogroupes de mammifères et 64 espèces d'oiseaux. Ainsi, ces milieux ont la capacité d'abriter un nombre non négligeable d'espèces. Lorsqu'on compare la biodiversité recensée dans les cimetières aux autres milieux, on remarque que pour l'ensemble la flore prairial semble plus riche et plus originale dans les cimetières que dans les autres milieux. Une raison pouvant expliquer cette richesse plus forte, peut être le fleurissement des cimetières par les gestionnaires. En effet deux gestionnaires ont mentionné, dans le questionnaire sur leur gestion, le fleurissement et la végétalisation des prairies et des inter-tombes de leurs cimetières. Si ce ne sont pas des fleurs horticoles (les gestionnaires sont invités à planter et semer de plus en plus d'espèces sauvages locales) cela peut avoir un effet positif sur la richesse et l'originalité des relevés. Seul l'originalité de la flore en milieu agricole ne diffèrent pas entre les cimetières et l'extérieur.

Concernant les pollinisateurs, les indices de biodiversité sont pour la moitié des tests comparables aux autres milieux, pour le reste des tests les autres milieux semblent avantageux. Le milieu cimetière ressort comme favorable uniquement pour l'originalité en milieu urbain et pour les pollinisateurs retrouvés sur les plantes Pn+. Ces tendances peuvent être expliquées par la forte minéralité des cimetières, limitant la présence de plantes à fleurs.

Concernant les petits mammifères, les cimetières semblent moins propices à leur présence que les autres milieux. Cette observation n'est pas étonnante car les cimetières sont des milieux partiellement clos, ce qui limite les possibilités de circulations et d'entrées, notamment pour les hérissons. Les possibilités de refuges pour les meso/micromammifères peuvent également être fragilisées par la gestion des cimetières. De plus, en milieu urbain les hérissons se trouvent préférentiellement près des jardins des particuliers, ils sont notamment attirés par la nourriture

des animaux de compagnies ou d'autres déchets, qu'on ne retrouve pas dans les cimetières (Hubert et al., 2011).

Pour finir, concernant les oiseaux dans l'ensemble les milieux sont comparables et on n'observe pas de différence. Sauf pour la rareté globale et l'originalité en milieu agricole, où les autres milieux semblent plus avantageux que les cimetières. Les milieux extérieurs aux cimetières offrent une diversité d'habitats et de ressources peut être plus importante permettant à des espèces moins ubiquistes et plus rares de s'établir. Comme les analyses ne s'appuient que sur une année de relevés, les années suivantes permettront de voir si ces tendances se maintiennent.

La biodiversité à l'intérieur des cimetières

Tout d'abord, la richesse, la rareté ainsi que l'originalité de la flore semblent plus élevées dans l'inter-tombe qu'en prairie, en revanche les cortèges floraux ne sont pas significativement différents. Cette tendance, peut être expliquée soit par la différence de protocole (la méthode est différente et le transect SDMR permet peut-être de capter plus d'espèce que la placette VF), ou soit par le type d'habitat. En effet, l'hétérogénéité spatiale et la minéralité de l'inter-tombe permettrait le développement de plus d'espèces, dont certaines plus rares et originales (voir partie IV.b - urbanisation). L'absence de différence entre la composition floristique des deux milieux, peut être expliquée par le fait que cette dernière soit beaucoup moins sensible à la méthode d'échantillonnage que la richesse. Il semblerait qu'il y ait dans l'ensemble, une certaine uniformisation de la composition floristique spontanée des cimetières en fonction du micro-habitat, mais des différences ponctuelles existent et mériteraient plus d'investigation. Là encore comme nous comparons deux protocoles différents il est difficile d'interpréter le résultat.

Enfin pour les pollinisateurs, les prairies semblent favoriser leur richesse et leur abondance. Ce résultat, peut être expliqué par une densité de fleurs plus importante dans les zones enherbées, et par une gestion généralement plus intensive par désherbage au niveau de la flore inter-tombale. Ensuite, la différence de composition des cortèges en pollinisateurs entre les deux milieux peut être expliquée par la différence de composition floristique, même si l'analyse ne démontre pas de différence significative, on sait que les habitats prairies et inter-tombes ont des caractéristiques écologiques différentes. Les conditions écologiques offertes par les prairies, sont différentes de celles offertes par les interstices de la zone inter-tombe.

b. L'effet de l'environnement autour des cimetières sur la biodiversité

L'urbanisation

L'urbanisation a un effet négatif sur la richesse de la flore en inter-tombe et en prairies. En effet, cela peut s'expliquer par une rupture de la trame verte en milieu fortement urbanisé, limitant l'apport de graines depuis l'environnement autour du cimetière. Aussi d'après la littérature (Deguines, 2015 ; Deguines et al., 2016), les milieux urbains semblent être hostiles pour une majeure partie des pollinisateurs. Or, le pourcentage de plantes entomogames des cimetières varie entre 56% et 78%, et pourtant ces dernières dépendent directement de la pollinisation pour se reproduire, d'autant plus qu'il existe une affinité entre certains morphogroupes d'insectes avec certains morphogroupes floraux. On peut faire l'hypothèse qu'une baisse de la diversité en pollinisateurs, peut causer une baisse de la reproduction de la flore associée. Ainsi, l'effet négatif de l'urbanisation sur la flore des cimetières pourrait être expliqué par l'effet négatif sur les pollinisateurs. Il pourrait être intéressant dans le futur de tester si la baisse de diversité et d'abondance d'un morphogroupe de pollinisateur provoque une diminution de la fréquence des morphotypes floraux associés.

A l'inverse, l'urbanisation semble favoriser la rareté de la flore en inter-tombe. L'analyse des données 2020 faites sur l'influence des variables environnementales sur les traits floraux écologiques des plantes des cimetières (héliophilie, thermophilie, hygrophilie atmosphérique, hygrophilie, édaphique, nitrophilie), a montré que l'urbanisation favorisait la présence de plantes thermophiles dans les cimetières (2021, Bueno). Cette observation est typique des milieux urbains, notamment expliquée par leur densité minérale, à l'origine des phénomènes d'Ilots de chaleur urbains (ICU). Ce microclimat attire donc une flore avec des traits différents de ceux endémiques à la région, notamment avec des traits méridionaux. C'est aussi une des raisons pour lesquelles la flore est plus riche et plus originale dans les cimetières que dans les autres milieux. Plus spécifiquement, l'habitat offert par les inter-tombes augmente l'intensité de ce phénomène, car étant très minéralisé avec un sol plus sec (parfois la flore se développe dans les interstices du béton), la chaleur augmente localement.

La variable urbanisation a un effet positif sur la richesse, l'abondance et l'originalité des pollinisateurs retrouvés sur les plantes en Pn+. Ce morphotype floral correspond aux plantes à corolles profonde et peu larges (Annexe II) (comme *Achillea millefolium*) qui vont attirer des insectes à la langue longue comme les papillons, les bourdons mais aussi les abeilles. A première vue cela peut sembler surprenant d'autant plus que précédemment des articles montrant l'hostilité du milieu urbain envers les pollinisateurs sont cités. Néanmoins, on trouve

aussi dans la littérature que les villes ([Banaszak-Cibicka, 2014](#)) sont des habitats de substitution importants pour un nombre considérables d'espèces d'abeille, notamment thermophiles en raison du phénomène d'ICU. Cet effet traduit une diminution de leurs habitats naturels et ces dernières trouvent refuge dans les espaces vert ou boisés urbains.

Concernant les études faites avec le protocole MH, nous observons une corrélation positive entre l'urbanisation et la présence de hérissons. Le bilan national de 2020-2021 du programme MH, révèle les mêmes résultats. Plus précisément, à l'échelle nationale 71% des hérissons ont été observés dans les zones urbaines, contre moins de 50% concernant les zones agricoles, prairiales et forestières ([LPO, 2021](#)). D'autres études font les mêmes constats, et explique ce phénomène par des températures plus clémentes favorisant le succès d'hibernation ([Jackson, 2006](#), [Hubert et al., 2011](#)). La ville offre aussi plus d'opportunités de gîtes potentiels (arbustes denses, sous-sols, hangars, jardins) que dans les paysages ruraux homogènes ([Wania et al., 2006](#) ; [Hubert et al., 2011](#)). De même, les villes offrent un accès facilité aux ressources grâce aux déchets ainsi qu'aux propriétaires d'animaux domestiques, ce qui semble compenser la perte de ressources dans leur milieu naturel ([Morris, 1985](#) ; [Hubert et al., 2011](#)).

La pollution lumineuse

Les cimetières sont généralement non éclairés, mais la présence d'un éclairage périphérique au site suffit pour influencer la faune qu'on y retrouve. Dans les analyses faites sur les données 2020, la pollution lumineuse était très négativement corrélée à la richesse en chiroptère. Les futures analyses, permettront de confirmer ou non cette observation sur les chiroptères.

Dans ce mémoire la pollution lumineuse n'a été utilisé que pour les analyses sur les micro-mammifères terrestres (car pas de sens écologique pour la flore, les pollinisateurs et les oiseaux), néanmoins, comme elle est très fortement corrélée à la variable urbanisation, un choix a dû être fait. Après avoir testé les variables dans deux modèle différents, la variable urbanisation était plus explicative que la variable pollution lumineuse pour les modèles sur les micro-mammifères, de plus cette dernière causait des problèmes de multi-colinéarité entre les variables, c'est pourquoi elle a été retirée.

c. L'effet du contexte interne aux cimetières sur la biodiversité

La végétalisation

Concernant la végétalisation des cimetières, elle semble jouer un rôle évident sur la flore. En effet, on observe que dans les zones prairiales, la flore est plus originale lorsque le

milieu est plus végétalisé. Cela est cohérent, plus on laisse la végétation se développer, plus il y a un nombre important d'espèces (jusqu'à atteindre un plateau), dont certaines plus originales. A l'inverse, on observe un effet négatif de la végétalisation sur la richesse spécifique dans les prairies. On peut l'expliquer par l'augmentation de la compétition inter-spécifique : plus un milieu est végétalisé, plus il aura tendance à lisser le cortège d'espèce, retenant les plus compétitives.

Concernant les pollinisateurs, on observe un effet positif de la végétalisation des cimetières sur l'originalité (Globale, Pn+) et l'abondance (Pn+). Ce type de plante attire des pollinisateurs, à langue longue, comme certaines abeilles, les bourdons et les papillons. Il semblerait que ces groupes soient plus sensibles à la végétalisation que les cortèges de pollinisateurs plus généralistes que l'on retrouve sur les plantes de type PN (corolle large et peu profonde, Annexe II). Il faudrait approfondir ce résultat dans le futur en regardant, par exemple, la relation directe de la présence/abondance de ces taxons à langue longue avec la végétalisation. Cela permettrait de voir s'ils pourraient devenir des indicateurs d'une végétalisation suffisante dans les cimetières. D'autre part, il est possible qu'étant des espèces terricoles qui vont rechercher des sols meubles et bien exposés pour établir leur nid, ces dernières aient besoin de beaucoup de zones végétalisées, comme les prairies, pour être présente. Cette hypothèse les relie directement à la variable végétalisation des cimetières.

Concernant l'étude MH, on observe un effet négatif de la végétalisation sur la présence et l'abondance de hérisson. En effet, les hérissons semblent plus présents et plus abondants dans les cimetières minéralisés, tandis qu'ils trouvent leur nourriture dans la litière du sol (Hubert et al., 2011). On a vu précédemment que la présence de hérissons augmentait avec l'indice d'urbanisation, il se pourrait que, parallèlement aux milieux urbains, les cimetières minéralisés offrent une température plus agréable aux hérissons ou encore que le protocole MH attire des individus en recherche de nourriture en ville.

La hauteur de végétation

La hauteur de végétation semble défavoriser l'originalité de la flore inter-tombale et prairial. En effet, des études montrent que l'augmentation du couvert arboré conduit à une diminution des espèces herbacées rares en raison de la diminution de la lumière disponible (Pykälä et al., 2005).

La variable hauteur de végétation semble avoir un effet fortement négatif sur les indices de biodiversité des oiseaux, ce qui peut sembler étonnant car les arbres servent de refuge et de

lieu de nidification pour les oiseaux. Néanmoins, les milieux ouverts, donc avec une faible hauteur de végétation, sont aussi source de biodiversité. Ils abritent notamment des insectes, mais aussi des sols riches en macrofaune, constituant la base de nourriture de nombreux oiseaux (Grand et Frochot, 2011). Au contraire, une forte densité arbustive induit une compétition pour la lumière avec la strate herbacée en dessous, limitant son développement ainsi que sa densité. D'autant plus qu'on observe une corrélation négative entre la hauteur de végétation et un indice de la flore (l'originalité). De plus, certaines essences modifient la chimie des sols, par exemple la litière sous les essences résineuses sont généralement plus acides que ceux sous les essences feuillues (Augusto, 1999). Ce phénomène est très défavorable aux vers de terres et aux autres populations de la macrofaune sensible à l'acidité. Dans leur article, Gjerde et Saetersdal (1997) observent un effet négatif des épicéas sur la richesse de l'avifaune. Il se trouve que la majorité des oiseaux qu'on retrouve en milieu urbain sont insectivores, et dépendent donc des espaces enherbés et de la macrofaune des sols pour se nourrir. Néanmoins, sur seulement 44 sites, un lien de corrélation ne signifie pas un lien de causalité. En effet, si on regarde les chiffres, la moyenne des richesses en oiseaux dans les cimetières de l'étude est de 10,25. Les quatre cimetières avec les plus fortes hauteurs de végétation sont : Nanterre (10 sp) ; Lagarenne-Colombe (3,5 sp) ; Batignolles (5,5 sp) et Massy (8,5 sp). La distance moyenne de ces cimetières avec Paris est de 10 km. Les quatre cimetières avec les plus faibles hauteurs de végétation sont : Fontenay-lès-Briis (10,25 sp) ; Vil77 (17,25 sp) ; Nonville (15,25 sp) et Ury (13,75 sp). La distance moyenne de ces cimetières avec Paris est de 60 km. Sur ces huit cimetières on observe un gradient d'urbanisation, qui peut être la cause de cette baisse des indices de biodiversité en avifaune.

Ainsi on peut discuter dans un premier temps du potentiel de diversité offert par les espaces ouverts par rapport aux zones arbustives, et nos résultats seraient relativement cohérent avec la littérature. Mais dans un second temps, on peut aussi s'intéresser au biais de l'étude, pouvant créer cette corrélation, comme le contexte urbain associé au cimetière, mais aussi l'effet site et l'effet observateur (la détection dépend aussi du niveau de perfectionnement de l'ornithologue).

Pour lisser l'effet site et l'effet observateur, il faudrait un nombre plus conséquent de cimetières dans différents types de milieux et que les observateurs se répartissent les cimetières différemment chaque année (mais cela pose des contraintes de logistiques). Cet effet aléatoire du site ou de l'observateur pourrait être modélisé statistiquement avec modèle mixte (GLMM).

Vis-à-vis des autres taxons, la hauteur de végétation à un effet négatif sur la richesse (Globale, Pn+) et l'abondance (Globale, PN, Pn+) en pollinisateurs. En effet, même s'il existe des arbres à fleurs attractifs comme les marronniers, les tilleuls ou encore les arbres fruitiers, cela reste nettement inférieur par rapport à l'attractivité de la strate herbacée (Winfree et al., 2007). De plus, notre étude filtre un certain type de morphotypes floraux (Annexe II) non représentés par les fleurs des arbres, ces derniers n'attirent donc pas forcément les mêmes morphogroupes de pollinisateurs. Si on compare l'attractivité de ces deux strates, c'est par ce que la présence d'une strate arborée limite le développement de la strate herbacée, par phénomène de compétition pour les ressources (lumière, eau, nutriments) (Barbier et al., 2008), ce qui pourrait expliquer cette corrélation négative entre pollinisateurs et hauteur de végétation. Cette hypothèse est vérifiée par l'observation d'un effet positif de la végétalisation des cimetières sur les pollinisateurs.

La hauteur de végétation semble avoir un effet positif sur la présence de petits mammifères terrestres. En effet, un couvert végétal dense et haut sert de camouflage vis-à-vis des prédateurs, notamment aériens. Ce lien a déjà été établi pour certaines espèces comme le hamster d'Europe (*Cricetus cricetus*) ou encore le cobaye du Brésil (*Cavia aperea*) (Villemey et al., 2013 ; Cassini & Galante, 1992)

La rémanence en herbicides

La rémanence en herbicide, a une corrélation fortement négative (Annexe VI, figure 7) avec l'abondance mais surtout l'originalité de l'avifaune. C'est un résultat cohérent, plusieurs publications révèlent les effets négatifs des herbicides sur la biodiversité et sur les oiseaux, que ce soit directement ou par le biais de leur alimentation (Moreau et al., 2022).

On observe également le même résultat pour la présence de hérisson, l'explication est similaire à celle des oiseaux, la présence de produits phytosanitaires chimiques dans le sol a un impact négatif sur la flore et sur la macrofaune du sol dont se nourrissent ces derniers.

L'ancienneté

L'ancienneté semble avoir un effet positif sur la rareté et l'originalité de la flore globale. En effet, on peut faire l'hypothèse que plus un cimetière est ancien, plus il aurait pu laisser du temps à la végétation rare et originale de se développer. Contrairement aux autres milieux, évoluant plus rapidement et plus exposés aux perturbations.

La variable de l'ancienneté des cimetières semble jouer un rôle négatif sur la présence de petits mammifères terrestres. Cette effet semble contre-intuitif car des cimetières anciens peuvent

offrir plus de gîtes et de refuges, avec le vieillissement des sépultures par exemple, à l'inverse d'un cimetière récent qu'on imagine sans imperfection. Si cette relation persiste lors des prochaines années de l'étude, il faudra chercher des explications dans l'architecture minérale et paysagère des cimetières récents. Une autre hypothèse serait que les cimetières récents sont souvent ceux qui sont le plus végétalisés, avec notamment l'émergence des cimetières paysagers.

La superficie

La superficie des cimetières semble avoir un effet bénéfique sur la présence et l'abondance de hérissons. En effet, plus un cimetière est grand plus, en théorie, il a la possibilité d'avoir à la fois des milieux minéralisés (ayant un effet positif sur les hérissons, comme vu précédemment) et aussi des zones enherbées (source de nourriture). Mais aussi, plus d'opportunité de trouver une ou plusieurs zones refuges, dans secteurs moins gérées et moins fréquentés (par exemple aux extrémités des cimetières).

La superficie permet aussi d'augmenter la possibilité qu'il y ait plusieurs populations au sein du cimetière et donc un plus fort brassage génétique (si on le considère comme un milieu isolé). Selon l'étude de [Berthoud, 1978](#) le territoire des hérissons, varie entre 1,8 et 2,5 ha, ce qui est inférieur à la taille des cimetières de l'étude, mais ils peuvent se déplacer sur un territoire allant jusqu'à 10 ha. Ainsi, il pourrait être possible au hérisson de s'y reproduire sans avoir à quitter le cimetière.

L'entomogamie

Le fait d'avoir un taux de plantes entomogames élevé dans les cimetières semble faire baisser la richesse floristique dans les prairies. Peut-être que cette quantité de plantes entomogames, qui domine les autres types de plantes (puisque ce taux varie entre 0,56 et 0,78% des plantes des cimetières), comporte un certain nombre d'espèce à fleurs redondantes. Tandis que si le cortège floristique était partagé équitablement entre plusieurs types de plantes, comme les plantes anémogames, cela apporterai de la richesse au cortège du cimetière.

d. Conclusion et perspectives d'améliorations

Même si les conclusions sur la biodiversité des cimetières naitront à la fin de l'étude, les premières années ont permis d'observer les premières tendances. Néanmoins certaines variables manquent encore de robustesse pour répondre aux hypothèses. D'abord la variable rémanence en herbicide, étant une estimation basée sur le temps, apporterai plus de précision si elle était issue d'une étude toxicologique des sols des cimetières, afin de révéler des

concentrations en herbicides. En ce qui concerne la variable pression de gestion, les limites ont été levées dans la partie matériel et méthode (II.a). Cette variable manque de finesse et nécessite d'être revue, d'autant plus que la gestion est un facteur clé pour cette étude. La raison pouvant expliquer les résultats incohérents peuvent venir du mauvais calibrage de cette variable lors de sa création. En effet, l'indice de gestion a été divisé par la surface totale du cimetière, en revanche cela ne correspond pas aux espaces concernés par cette gestion. Ainsi, un point d'amélioration de cette variable serait de faire un travail cartographique, précis, afin de déterminer les surfaces concernées par la gestion de la végétation. Pour plus de précision, il serait même préférable de scinder la variable gestion en deux, une pour les modes de gestion de type fauche/tonte pour les zones enherbées, et une variable relative au désherbage sur les zones minéralisées soumises à cette gestion. Pour finir, il est nécessaire d'obtenir les données de gestion pour la dizaine de cimetières manquant.

Enfin dans ces analyses, la trame verte n'a pas été représentée, pourtant c'est un paramètre essentiel pour permettre la circulation et le maintien des populations. Lors de la première année d'analyse, une variable de continuité avait été créée à partir des données de l'inventaire numérique des éléments de biodiversité des paysages ruraux d'Île de France : Ecoline, cartographie développée par l'Institut Paris Région (IPR). L'inconvénient de cette carte réside dans le fait qu'elle ne concerne que les départements de grande couronne francilienne soit la moitié des cimetières de notre échantillon. En incluant cette variable dans le jeu de données, les analyses suppriment les cimetières non concernés, ceux de Paris et de la petite couronne, ce qui réduit considérablement la pertinence de nos analyses. Nous avons donc fait le choix de retirer cette variable du jeu de données en raison d'un trop grand nombre de valeurs manquantes. Ainsi, il faudrait trouver une ressource cartographique permettant l'élaboration de cette variable à la fois sur les cimetières de petite et aussi de la grande couronne.

Pour finir, la classification des milieux des cimetières à partir de la couche cartographique Corine Land Cover (CLC) comporte deux limites : une maille trop large pour détecter des boisements de petites taille par exemple, et une attribution du milieu majoritaire (>50% de la surface environnante) au cimetière. En revanche, si on prend l'exemple du cimetière de Fontainebleau classé comme milieu artificiel, celui-ci est aussi limitrophe d'une grande forêt, non prise en compte (Annexe VII). Une solution pourrait être de faire des bi-modalités « cimetières urbain-forestier » automatisées pour les cimetières mais aussi pour les relevés nationaux, lorsque le second milieu correspond à x % (seuil à définir) de l'occupation du sol autour du point de relevé, alors il faut l'inclure dans la modalité. Au cours de ce stage, une autre source cartographique, plus précise de CLC a été cherché, comme le MOS+ mais le

principal problème réside dans le fait que cette carte est disponible que sur l’Ile de France, or nous devons pourvoir appliquer les même nomenclatures d’occupation du sol pour les relevés nationaux (200 km autour de Paris). Pour finir, la variable pollution lumineuse pourrait être remise à jour pour la fin de l’étude avec une version plus récente du VIIRS, d’après le site nasa.gov le cycle satellitaire se répète tous les 16 jours.

V. Bibliographie

- Augusto, Laurent. « Etude de l'impact de quelques essences forestières sur le fonctionnement biogéochimique et la végétation de sols acides », 1999. <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01747470/document>.
- AUVERT, S., S. FILOCHE, M. RAMBAUD, A. BEYLOT, et F. HENDOUX. « Liste rouge régionale de la flore vasculaire d'Île-de-France. Paris. 80 p », 2011. https://www.arb-idf.fr/fileadmin/DataStorageKit/ARB/Articles/fichiers/Des_Listes_rouges_regionales_pour_l_Ile-de-France/liste_rouge_regionale_de_la_flore_vasculaire_d_ile_de_france_actualisee.pdf.
- Banaszak-Cibicka, Weronika. « Are Urban Areas Suitable for Thermophilic and Xerothermic Bee Species (Hymenoptera: Apoidea: Apiformes)? » *Apidologie* 45, n° 2 (mars 2014): 145-55. <https://doi.org/10.1007/s13592-013-0232-7>.
- Barbier, Stéphane, Frédéric Gosselin, et Philippe Balandier. « Influence of Tree Species on Understory Vegetation Diversity and Mechanisms Involved—A Critical Review for Temperate and Boreal Forests ». *Forest Ecology and Management* 254, n° 1 (janvier 2008): 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.09.038>.
- Berthoud, Guy. « Note préliminaire sur les déplacements du hérisson européen (*Erinaceus europaeus* L.). » *Revue d'Ecologie, Terre et Vie, Société nationale de protection de la nature*, 1978. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03530433/document>.
- Bueno, Rudy. « Cimetières vivants, étude de la biodiversité des cimetières franciliens. », septembre 2021. https://www.arb-idf.fr/fileadmin/DataStorage/user_upload/BUENO_Rudy_-_Memoire_M2_ARB_2021.pdf.
- Cassini, M.H, et M.L Galante. « Foraging under predation risk in the wild guinea pig: the effect of vegetation height on habitat utilization », janvier 1992. https://www.researchgate.net/publication/261706777_Foraging_under_predation_risk_in_the_wild_guinea_pig_the_effect_of_vegetation_height_on_habitat_utilization.
- DEGUINES, Nicolas. « L'urbanophobie chez les insectes pollinisateurs : apports de l'analyse des données 2010-2012 du programme SPIPOLL », janvier 2015.
- Deguines, Nicolas, Romain Julliard, Mathieu Flores, et Colin Fontaine. « Functional Homogenization of Flower Visitor Communities with Urbanization ». *Ecology and Evolution* 6, n° 7 (avril 2016): 1967-76. <https://doi.org/10.1002/ece3.2009>.
- Desaegher, James, Sophie Nadot, Nathalie Machon, et Bruno Colas. « How Does Urbanization Affect the Reproductive Characteristics and Ecological Affinities of Street Plant Communities? » *Ecology and Evolution* 9, n° 17 (septembre 2019): 9977-89. <https://doi.org/10.1002/ece3.5539>.
- Diallo, Alpha Oumar. « Inférence statistique dans des modèles de comptage à inflation de zéro. Applications en économie de la santé », 2017. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01804894/document>.

- Fischer, Joern, et vid B. Lindenmayer. « Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis ». *Écologie mondiale et biogéographie, (Global Ecol. Biogeogr.)*, 2007. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1466-8238.2007.00287.x>.
- Flandin, Jonathan, et Christophe Parisot. « Guide de gestion écologique des espaces collectifs publics et privés », 2016, natureparif édition. <https://www.arb-idf.fr/nos-travaux/publications/guide-de-gestion-ecologique-des-espaces-collectifs-publics-et-privés/>.
- Gallois, Amandine. « Bilan 2019 du protocole Florilèges-prairies urbaines », 2019. https://www.arb-idf.fr/fileadmin/DataStorageKit/ARB/Articles/fichiers/Florileges-prairies_urbaines_-_le_bilan_2019_est_en_ligne/bilan_2019_florileges.pdf.
- Gjerde, et Saetersdal. « Effects on avian diversity of introducing spruce *Picea* spp. plantations in the native pine *Pinus sylvestris* forests of western Norway ». *Biological Conservation*, 79 : 241-250., 1997.
- Grand, Brigitte, et Bernard Frochot. « Le forestier et l'oiseau, Prise en compte des oiseaux dans la gestion forestière », 2011. <http://www.pole-gestion.fr/uploads/ged/document/2017-09/Le%20forestier%20et%20l'oiseau-CRPFb.pdf>.
- Hubert, Pauline, Romain Julliard, Sylvie Biagianti, et Marie-Lazarine Poulle. « Ecological factors driving the higher hedgehog (*Erinaceus europaeus*) density in an urban area compared to the adjacent rural area. », octobre 2011. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204611002118?via%3Dihub>.
- IPBES. « Le dangereux déclin de la nature : Un taux d'extinction des espèces sans précédent et qui s'accélère. » *Communiqué de presse*, 6 mai 2019. <https://www.unep.org/fr/actualites-et-recits/communiquede-presse/le-dangereux-declin-de-la-nature-un-taux-dextinction-des>.
- Jackson, D.B. « Factors affecting the abundance of introduced hedgehogs (*Erinaceus europaeus*) to the Hebridean island of South Uist in the absence of natural predators and implications for nesting birds », Aout 2006. <https://zslpublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-7998.2006.00204.x>.
- LAILLE, Pauline, François COLSON, et Damien PROVENDIER. « Bénéveg : les bienfaits du végétal en ville », 2014. https://www.plante-et-cite.fr/Ressource/fiche/95/beneveg_les_bienfaits_du_vegetal_en_ville_rapport_et_publication/n:24.
- LPO. « ENQUÊTE MISSION HÉRISSON - PREMIERS RÉSULTATS », mars 2021. <https://missionherisson.org/news/201>.
- Martin, Tara G., Brendan A. Wintle, Jonathan R. Rhodes, Petra M. Kuhnert, Scott A. Field, Samantha J. Low-Choy, Andrew J. Tyre, et Hugh P. Possingham. « Zero Tolerance Ecology: Improving Ecological Inference by Modelling the Source of Zero Observations: Modelling Excess Zeros in Ecology ». *Ecology Letters* 8, n° 11 (novembre 2005): 1235-46. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00826.x>.
- McKINNEY, Michael L. « Urbanization, Biodiversity, and Conservation ». *BioScience* 52, n° 10 (2002): 883. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0883:UBAC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0883:UBAC]2.0.CO;2).

- Moreau, Jérôme, Karine Monceau, Gladys Gonnet, et Marie Pfister. « Organic farming positively affects the vitality of passerine birds in agricultural landscapes ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 336 (septembre 2022).
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880922001839>.
- Peter, Maria, Tim Diekötter, et Kerstin Kremer. « Participant Outcomes of Biodiversity Citizen Science Projects: A Systematic Literature Review. », mai 2019. <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/10/2780>.
- Pykälä, Juha, Luoto Miska, Risto K. Heikkinen Risto, et Kontula Tytti. « Plant species richness and persistence of rare plants in abandoned semi-natural grasslands in northern Europe ». *Basic and Applied Ecology* 6, n°1: 25-33., janvier 2005.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1439179104000878?via%3Dihub>.
- R Core Team. « R: A Language and Environment for Statistical Computing », 2016.
<https://www.R-project.org/>.
- Villemey, Anne, Aurélien Besnard, et Jimmy Grandadam. « Testing restocking methods for an endangered species: Effects of predator exclusion and vegetation cover on common hamster (*Cricetus cricetus*) survival and reproduction », 2013.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0006320712003618?via%3Dihub>.
- Wania, Annett, Ingolf Kühn, et Stephan Klotz. « Plant richness patterns in agricultural and urban landscapes in Central Germany—spatial gradients of species richness », 2006.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204605000083?via%3Dihub>.
- Winfrey, Rachael, Terry Griswold, et Claire Kremen. « Effect of Human Disturbance on Bee Communities in a Forested Ecosystem ». *Conservation Biology* 21, n° 1 (février 2007): 213-23. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00574.x>.
- Zeileis, Achim, Christian Kleiber, et Simon Jackman. « Regression Models for Count Data in R », 2008.
- Zucca, M., G. Lois, et O. Ricci. « Panorama de la biodiversité francilienne ». juin 2019.
<https://www.iledefrance.fr/sites/default/files/medias/2019/06/panoramabio.pdf>.

VI. Glossaire et lexique des acronymes

Artefact : Ici, un artefact correspond à une altération du résultat d'un modèle dû au procédé technique utilisé.

Collection : Ici, une collection correspond à une session d'échantillonnage réalisée dans le cadre d'un inventaire protocolé d'un taxon

Entomogamie : Mode de pollinisation des plantes dans lequel les insectes participent au transport du pollen, jusqu'au stigmate du pistil chez les angiospermes et jusqu'à l'ovule chez les gymnospermes.

Îlot de chaleur urbain : Les îlots de chaleur urbains sont des élévations localisées des températures, particulièrement des températures maximales diurnes et nocturnes, enregistrées en milieu urbain par rapport aux zones rurales ou forestières voisines ou par rapport aux températures moyennes régionales

Morphotype : Ensemble des caractéristiques morphologiques qui définissent une espèce ou un groupe d'espèces.

Réfectance : La réflectance, également nommée facteur de réflexion, est la proportion de lumière réfléchiée par la surface d'un matériau

Trame bleue : Réseau écologique et écopaysager constitué par les cours d'eau (dont le continuum fluvial) et les zones humides adjacentes ou en dépendant.

Trame verte : Réseau écologique et écopaysager constitué par les milieux végétalisés (forêts, prairies, parcs, haies, alignements d'arbres, etc.)

Acronymes :

AIC : Akaike information criterion (Critère d'information d'Akaike)

ARB îdF : Agence régionale de la biodiversité en Île-de-France

CBNBP : Conservatoire Botanique National du Bassin Parisien

CLC : Corine Land Cover

COOL: Cimenteries : Observation of Life (étude Cimetières Vivants)

EPOC: Estimation des populations d'oiseaux communs

GLM : Generalized linear model (Modèle linéaire généralisé)

ICU : Îlot de chaleur urbain

IPR : Institut Paris Région

LPO : Ligue pour la protection des oiseaux

MH : Mission Hérisson

MNHN : Muséum national d'Histoire naturelle

MOS + : Mode d'occupation des sols plus (cartographie de l'IPR)

NDVI : Normalized Difference Vegetation Index (Indice de végétation par différence normalisée)

OFB : Office français de la biodiversité

SDMR : Sauvages de ma rue

SPIPOLL : Suivi photographique des insectes pollinisateurs

VC : Vigie-Chiro

VIIRS : Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (Imagerie de radiomètre à balayage dans le visible

et l'infrarouge)

VF : Vigie-Flore

VII. Annexes

1) ANNEXE I.....43

2) ANNEXE II.....44

3) ANNEXE III.....45

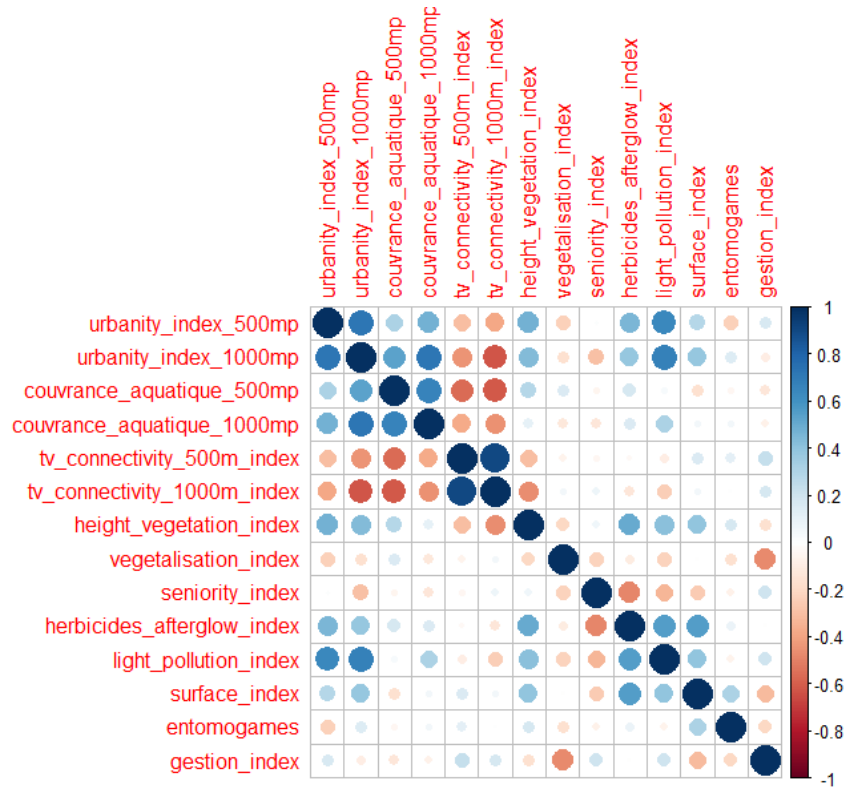
4) ANNEXE IV.....49

5) ANNEXE V.....53

6) ANNEXE VI.....59

7) ANNEXE VII.....61

1. ANNEXE I : Représentation graphique des relations entre les variables explicatives



Matrice de corrélation des variables explicatives

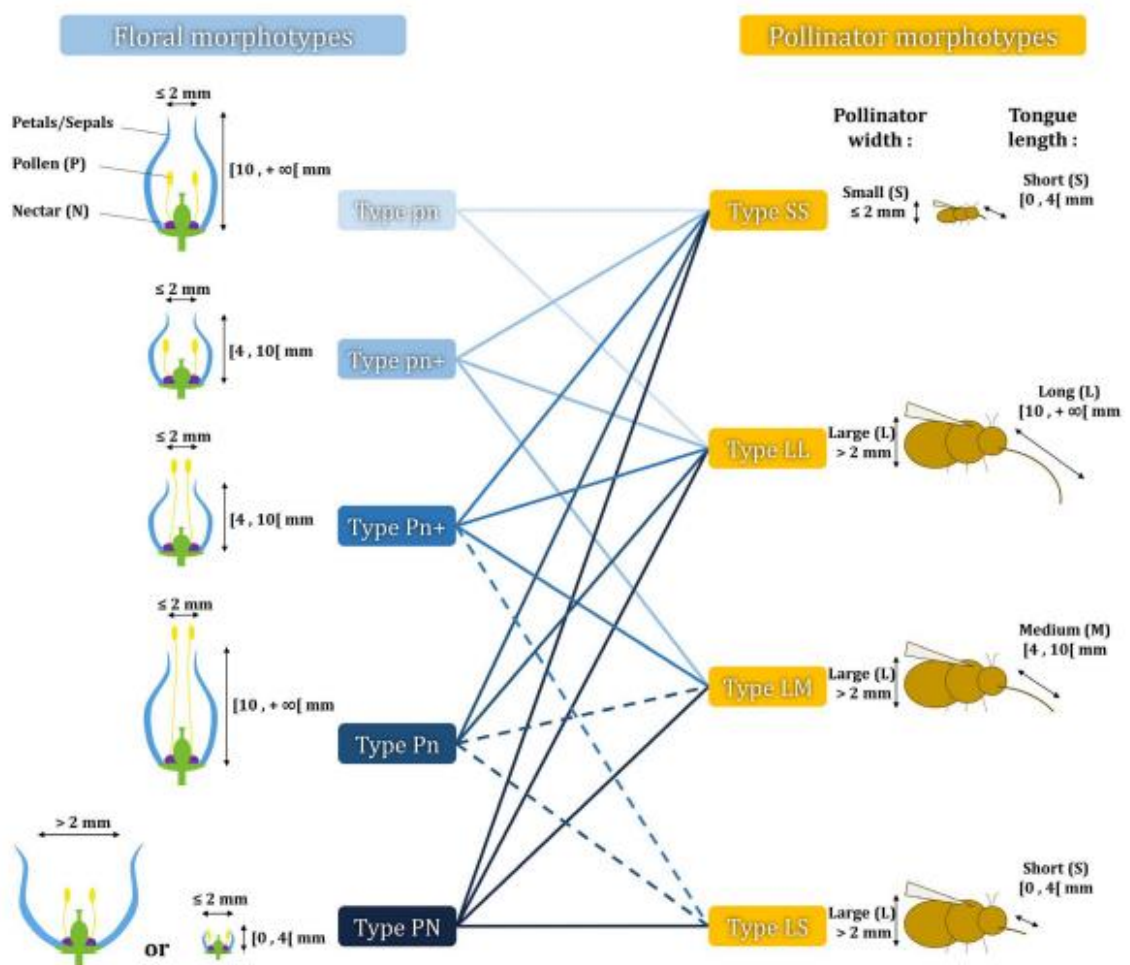
Variabes corréllé : matrice des corréllatons >0.6

- urbanity_index_1000mp ~ couverture_aquatique_1000mp = 0.72
- connectivity 1000 ~ urba 1000 = - 0.62
- connectivity 1000~ couv aqua 500 = - 0.61
- light_pollution_index ~ urbanity_index_500mp= 0.64
- light_pollution_index ~ urbanity_index_1000mp= 0.64
- urbanity_index_1000mp ~urbanity_index_500mp= 0.72
- couv aqua 500 ~couv aqua 1000 = 0.64
- tv_connectivity_1000m_index ~ tv_connectivity_500m_index= 0.9

2. ANNEXE II: Relation entre les morphotypes floraux et les insecte pollinisateurs

Différents morphotypes d'insectes pollinisateurs reliés à différents morphotypes de fleurs selon l'étude «How does urbanization affect the reproductive characteristics and ecological affinities of street plant communities?» (Desaegher et al., 2019). Les lignes continues entre les morphotypes floraux et les morphotypes d'insectes pollinisateurs indiquent que les pollinisateurs peuvent accéder à la fois au pollen et au nectar. Les lignes pointillées indiquent que les pollinisateurs peuvent accéder uniquement au pollen. Les dessins d'insectes pollinisateurs représentent les différents morphogroupes qui peuvent appartenir à cinq ordres d'insectes pollinisateurs (Hymenoptera, Diptera, Coleoptera, Lepidoptera et Heteroptera).

Classification de la relation entre morphotypes floraux et morphotypes d'insectes pollinisateurs



3. ANNEXE III : Résultats et représentations graphiques pour la flore vasculaire.

Figure 1: Représentation graphique de la richesse totale retrouver dans chaque cimetière sur deux ans

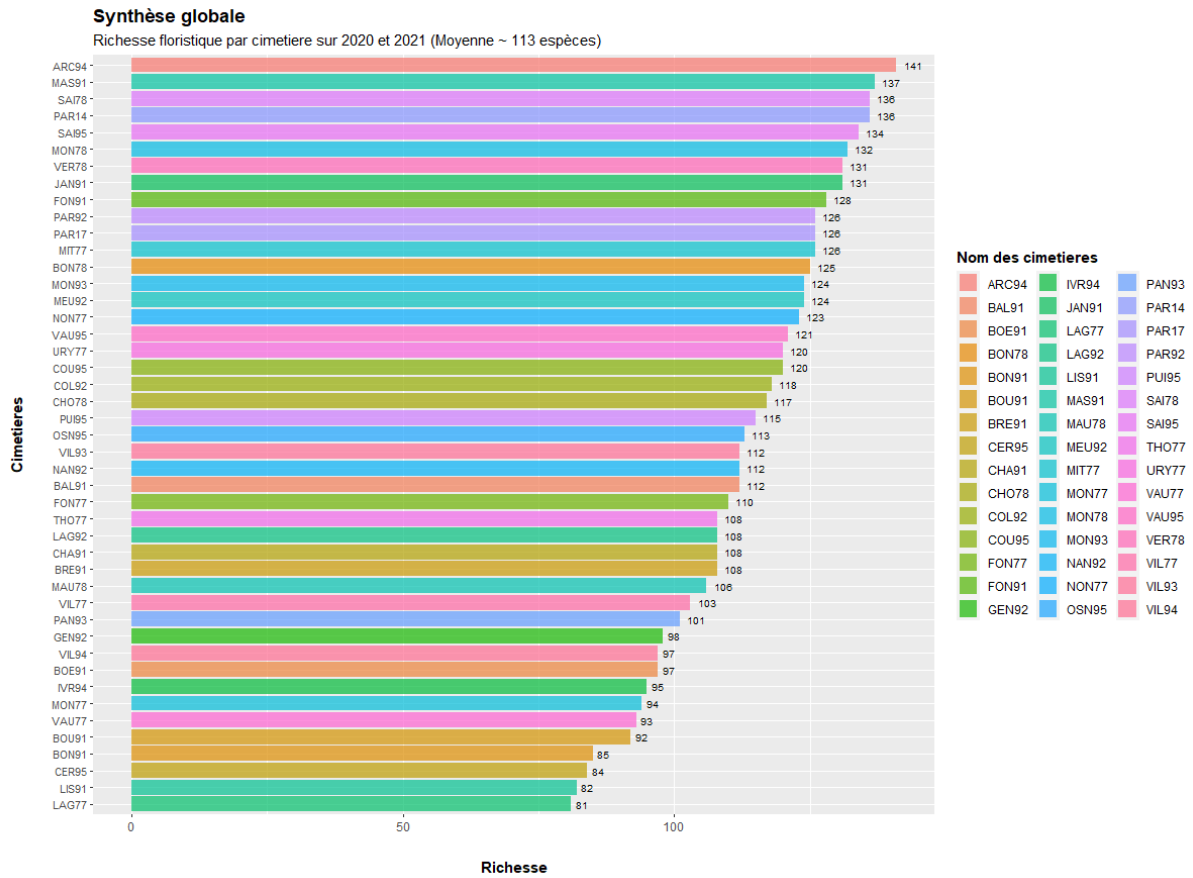


Figure 2 : Représentation NMDS des cortèges floristiques de prairies et d'inter-tombes (pval=0.768)

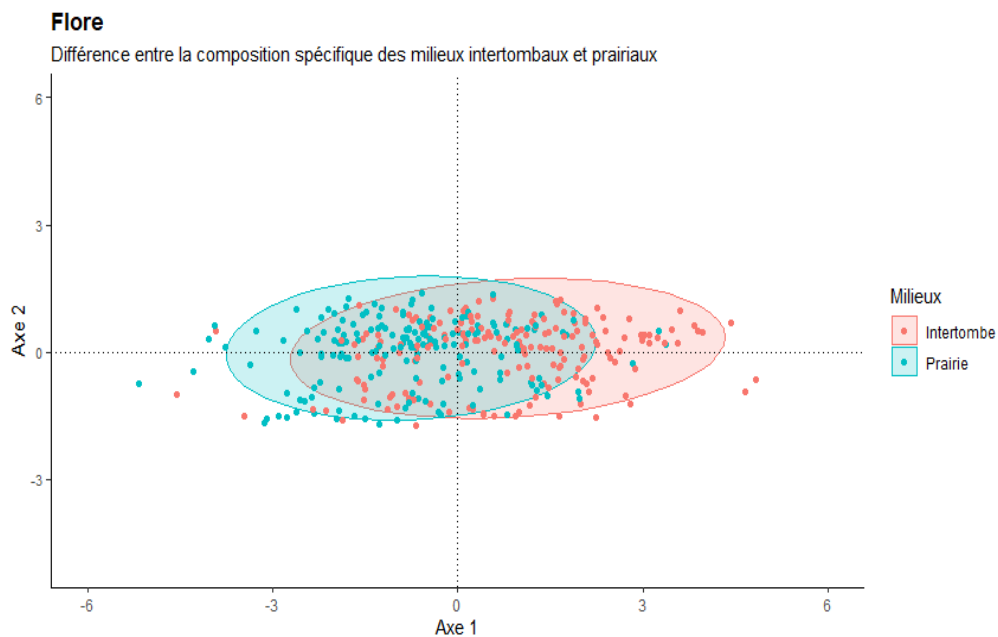


Figure 3 : Tableau comparaisons des indicateurs de biodiversité de la flore en fonction du type de milieu (significativité des pvalues : 0.0001 ‘***’ ; 0.001 ‘**’ ; 0.01 ‘*’ ; 0.05 ‘.’ ; 0.1 ‘ ’’), nat= données nationales ; cool= étude ; VF= protocole Vigie Flore ; agr= agricole ; art= artificiels ; nat= naturels.

Type de test (Wilcoxon)	significatif	milieu favorable
VF_cool\$richesse and VF_nat\$richesse	OUI ***	cimetières
VF_cool\$originalite and VF_nat\$originalite	OUI **	cimetières
VF_cool_art\$richesse and VF_nat_art\$richesse	OUI ***	cimetières
VF_cool_art\$originalite and VF_nat_art\$originalite	OUI *	cimetières
VF_cool_agr\$richesse and VF_nat_agr\$richesse	OUI ***	cimetières
VF_cool_agr\$originalite and VF_nat_agr\$originalite	NON	/
Flore_prairies\$richesse and flore_intertombe\$richesse	OUI ***	Inter-tombes
flore_prairies\$originalite and flore_intertombes\$originalite	OUI ***	Inter-tombes
flore_prairies\$rarete and flore_intertombes\$rarete	OUI ***	Inter-tombes

Figure 4 a) et b) : Exemples de représentation graphiques de résultats significatifs obtenus pour la flore

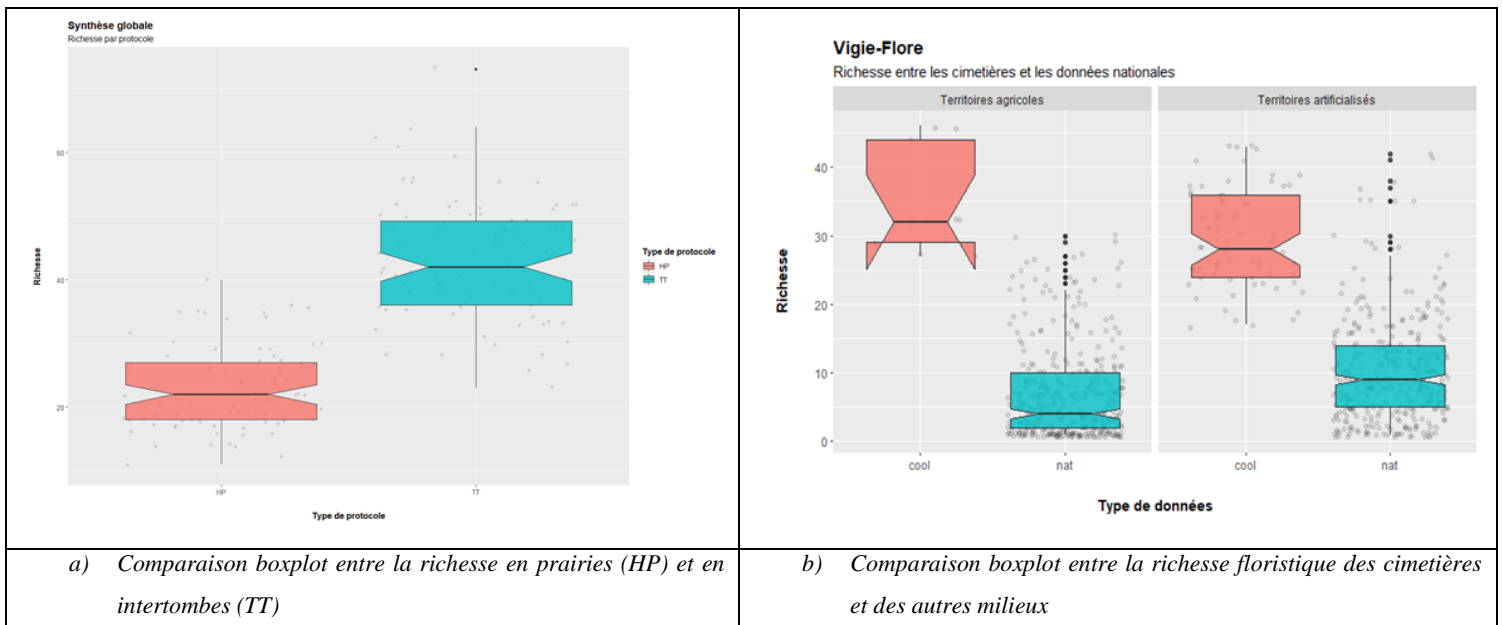
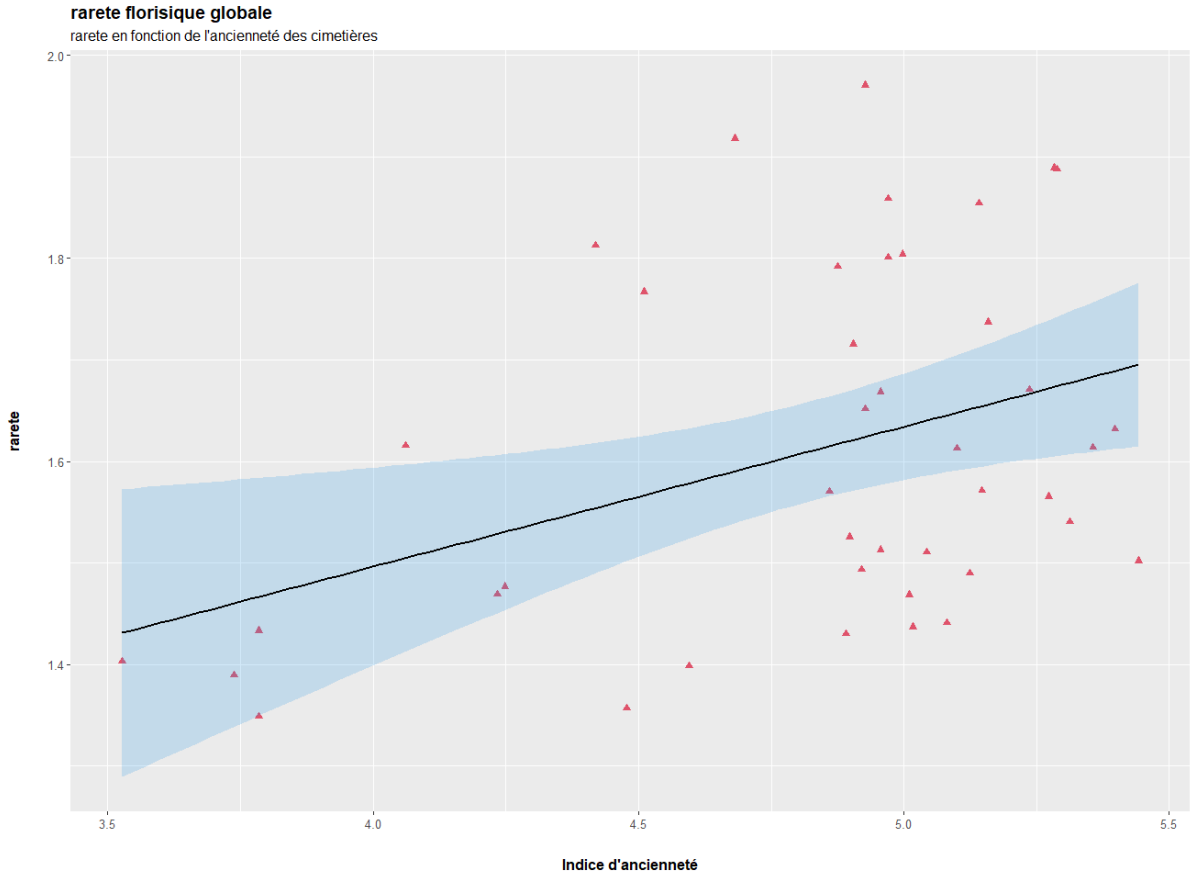


Figure 5 : Résultats des modèles finaux pour les indicateurs de biodiversité de la flore (significativité des pvalues : 0.0001 ‘***’ ; 0.001 ‘**’ ; 0.01 ‘*’ ; 0.05 ‘.’ ; 0.1 ‘ ’’).

Indice	Effet des variables	Modèle
A) Flore Globale : SDMR +		

Richesse	(+) Surface (pval=0.073 .)	AIC=330.15 (null=373.73) r ² =15%
Rareté	(+) Ancienneté (pval=0.012 *)	AIC= 120.84 (null= 134.89) r ² =14%
Originalité	(+) Ancienneté (pval= 0.013*)	AIC= 345.34 (null=375.8) r ² =14%
A) Flore de l'inter-tombe		
Richesse	(-) Urbanisation (1000m) (pval=0.021*)	AIC= 571.04 (null=644.21) r ² = 13%
Rareté	(+) Urbanisation (500m) (pval=0.03*)	AIC= 252.45 (null=307.02) r ² =14%
Originalité	(-) Hauteur de végétation (pval=0 .008**)	AIC=654.95 (null=754.95) r ² =18
A) Flore des prairies		
Richesse	(-) Urbanisation (1000m) (pval=0.062.) ; (-) Végétalisation (pval=0.013*) ; (+) Surface (pval=0.077.) ; (-) Entomogame (pval=0.065.)	AIC= 499.61 (null=558.97) r ² = 21%
Rareté	(-) Urbanisation (1000m) (pval=0.025*)	AIC=228.86 (null= 252.2) r ² :10%
Originalité	(-) Urbanisation (1000m) (pval=0.032*) ; (-) Hauteur de végétation (pval=0.002) ; (+) Végétalisation (pval=0.058.) ; (+) Rémanence herbicides (0.024*)	AIC=603.31 (null=641.5) r ² =22%

Figure 6 : Exemple de la relation positive entre l'ancienneté des cimetières et la rareté floristique



4. ANNEXE IV: Résultats et représentations graphiques pour les pollinisateurs

Figure 1: Graphique de représentation des richesses moyennes par collection dans chaque cimetières relevés sur deux ans.

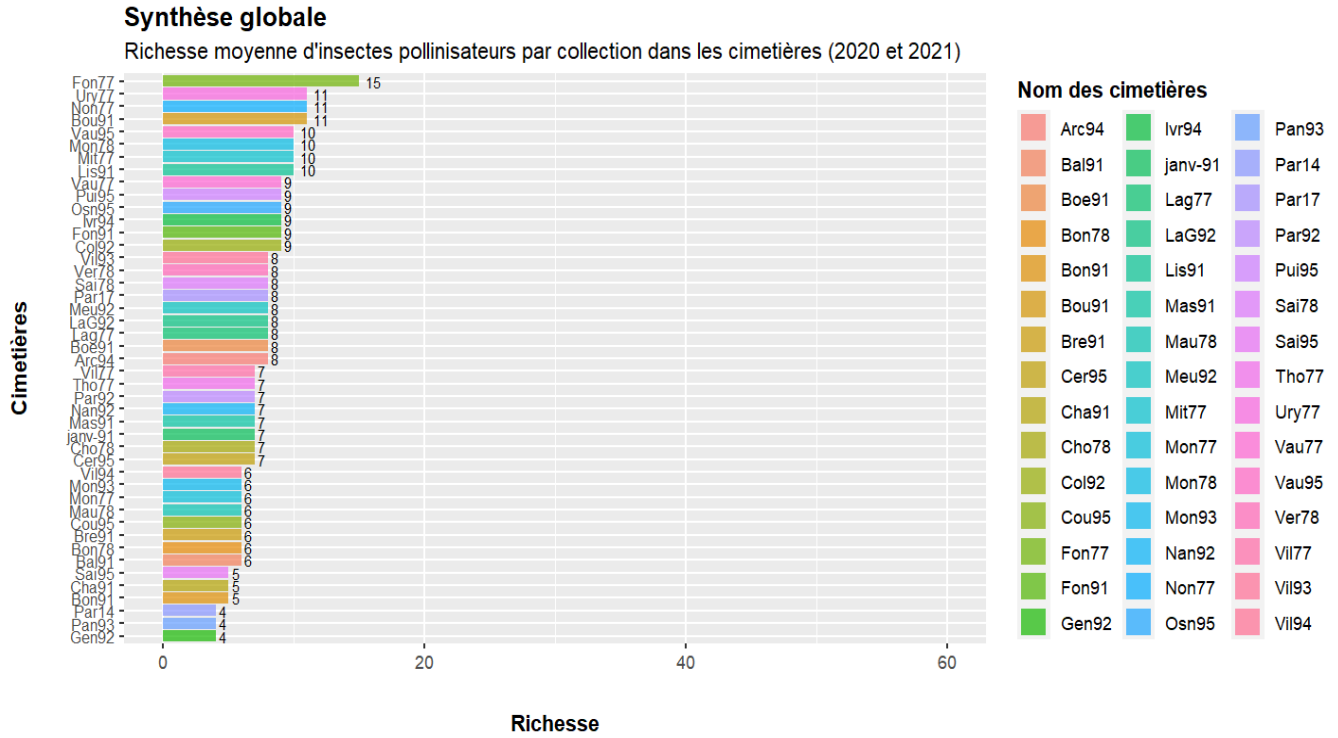


Figure 2 : Représentation NMDS des pollinisateurs photographié en Inter tombe et en prairies (pvalue=0.001)

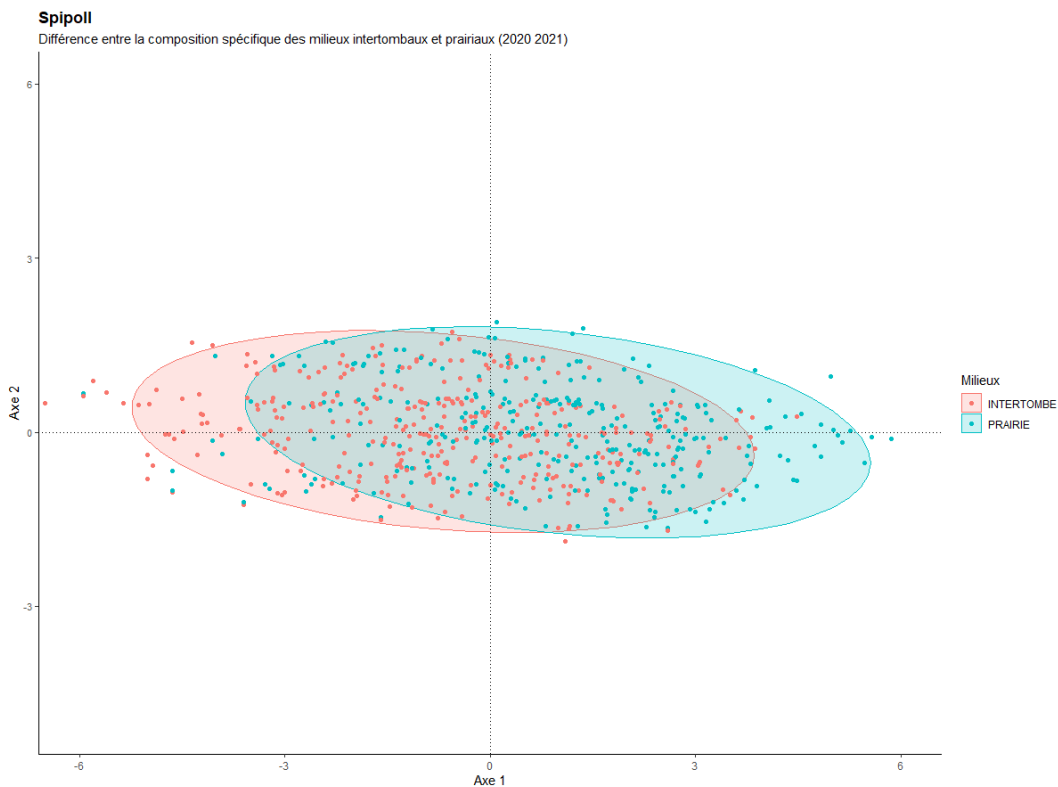


Figure 3 : Tableau des comparaisons des indicateurs de biodiversité des pollinisateurs en fonction du type de milieu intertombe VS prairies (significativité des pvalues : 0.0001 ‘***’ ; 0.001 ‘**’ ; 0.01 ‘*’ ; 0.05 ‘.’ ; 0.1 ‘ ’’). Int= intertombes

Indice pour l’inter-tombe et les prairies : test Wilcoxon	significatif	milieux favorable
polli_cool_prairie\$richesse and polli_cool_int\$richesse	OUI**	prairies
polli_cool_prairie\$abondance and polli_cool_int\$abondance	OUI*	prairies
polli_cool_prairie\$originalite and polli_cool_int\$originalite	NON	/
polli_cool_PN_prairie\$richesse and polli_cool_PN_int\$richesse	NON	/
polli_cool_PN_prairie\$abondance and polli_cool_PN_int\$abondance	NON	/
polli_cool_PN_prairie\$originalite and polli_cool_PN_int\$originalite	NON	/
polli_cool_Pn+_prairie\$richesse and polli_cool_Pn+_int\$richesse	OUI**	prairies
polli_cool_Pn+_prairie\$abondance and polli_cool_Pn+_int\$abondance	OUI*	prairies
polli_cool_Pn+_prairie\$originalite and polli_cool_Pn+_int\$originalite	NON	/

Figure 4: Tableau des comparaisons des indicateurs de biodiversité des pollinisateurs en fonction du type de milieu (significativité des pvalues : 0.0001 ‘***’ ; 0.001 ‘**’ ; 0.01 ‘*’ ; 0.05 ‘.’ ; 0.1 ‘ ’’).

Indice pollinisateur : test de Wilcoxon	significatif	milieu favorable
spipoll_cool\$richesse and spipoll_nat\$richesse	NON	/
spipoll_cool_agr\$richesse and spipoll_nat_agr\$richesse	OUI**	autres milieux
spipoll_cool_art\$richesse and spipoll_nat_art\$richesse	NON	/
spipoll_cool_nat\$richesse and spipoll_nat_nat\$richesse	NON	/
spipoll_cool_PN\$richesse and spipoll_nat_PN\$richesse	OUI*	autres milieux
spipoll_cool_PN_agr\$richesse and spipoll_nat_PN_agr\$richesse	NON	/
spipoll_cool_PN_art\$richesse and spipoll_nat_PN_art\$richesse	NON	/
spipoll_cool_PN_nat\$richesse and spipoll_nat_PN_nat\$richesse	NON	/
spipoll_cool_Pn+\$richesse and spipoll_nat_Pn+\$richesse	NON	/
spipoll_cool_Pn+_agr\$richesse and spipoll_nat_Pn+_agr\$richesse	OUI***	autres milieux
spipoll_cool_Pn+_art\$richesse and spipoll_nat_Pn+_art\$richesse	NON	/
spipoll_cool_Pn+_nat\$richesse and spipoll_nat_Pn+_nat\$richesse	NON	/
spipoll_cool\$originalite and spipoll_nat\$originalite	OUI**	autres milieux
spipoll_cool_agr\$originalite and spipoll_nat_agr\$originalite	OUI**	autres milieux
spipoll_cool_art\$originalite and spipoll_nat_art\$originalite	NON	/

spipoll_cool_nat\$originalite and spipoll_nat_nat\$originalite		OUI*	autres milieux
spipoll_cool_PN\$originalite and spipoll_nat_PN\$originalite		OUI***	autres milieux
spipoll_cool_PN_agr\$originalite and spipoll_nat_PN_agr\$originalite		NON	/
spipoll_cool_PN_art\$originalite and spipoll_nat_PN_art\$originalite		OUI*	autres milieux
spipoll_cool_PN_nat\$originalite and spipoll_nat_PN_nat\$originalite		NON	/
spipoll_cool_Pn+\$originalite and spipoll_nat_Pn+\$originalite		NON	/
spipoll_cool_Pn+_agr\$originalite and spipoll_nat_Pn+_agr\$originalite		OUI*	autres milieux
spipoll_cool_Pn+_art\$originalite and spipoll_nat_Pn+_art\$originalite		OUI*	cimetières
spipoll_cool_Pn+_nat\$originalite and spipoll_nat_Pn+_nat\$originalite		NON	/
spipoll_cool\$abondance and spipoll_nat\$abondance		OUI*	autres milieux
spipoll_cool_agr\$abondance and spipoll_nat_agr\$abondance		OUI*	autres milieux
spipoll_cool_art\$abondance and spipoll_nat_art\$abondance		NON	/
spipoll_cool_nat\$abondance and spipoll_nat_nat\$abondance		NON	/
spipoll_cool_PN\$abondance and spipoll_nat_PN\$abondance		OUI*	autres milieux
spipoll_cool_PN_agr\$abondance and spipoll_nat_PN_agr\$abondance		NON	/
spipoll_cool_PN_art\$abondance and spipoll_nat_PN_art\$abondance		NON	/
spipoll_cool_PN_nat\$abondance and spipoll_nat_PN_nat\$abondance		NON	/
spipoll_cool_Pn+\$abondance and spipoll_nat_Pn+\$abondance		NON	/
spipoll_cool_Pn+_agr\$abondance and spipoll_nat_Pn+_agr\$abondance		OUI**	autres milieux
spipoll_cool_Pn+_art\$abondance and spipoll_nat_Pn+_art\$abondance		NON	/
spipoll_cool_Pn+_nat\$abondance and spipoll_nat_Pn+_nat\$abondance		NON	/

Figure 5: Tableau de synthèse des modèles linéaires généralisés testant l'effet des variables explicatives sur l'ensemble des pollinisateurs (A), les pollinisateurs collectés sur les plantes PN (B) et les pollinisateurs collectés sur les plantes Pn+ (C).

Indice	Effets des variables	Modèle
--------	----------------------	--------

A. Globale		
Richesse	(-) Hauteur de végétation (pval=0.0004***)	AIC=3754 (null= 4213) $r^2 = 2.74\%$
Abondance	(-) Hauteur de végétation (pval=1.899e-05***) ; (+) Superficie (pval=0.089.)	AIC = (null=) $r^2 = 3.7\%$
Originalité	(+) Végétalisation (pval=0.032*)	AIC=5538.9 (null= 6245) $r^2 = 1.13\%$
B. PN		
Richesse	Aucune	AIC= 1074.4 (null= 1201.3) $r^2 = 2.85\%$
Abondance	(-) Hauteur de végétation (pval=0.039*)	AIC= 1233 (null= 1388.1) $r^2 = 4.03\%$
Originalité	Aucune	AIC= 1488.9 (null= 1662.4) $r^2 = 3.64\%$
C. Pn+		
Richesse	(-) Hauteur de végétation (pval=0.0001***) ; (+) Urbanisation (1000m) (pval=0.069.)	AIC= 1923.2 (null=2144) $r^2 = 6.80\%$
Abondance	(+) Urbanisation (1000m) (pval=0.024*) ; (-) Hauteur de végétation (pval=1.54e-06***); (+) Végétalisation (pval=0.099.)	AIC= 2404.6 (null= 2511.6) $r^2 = 9.36\%$
Originalité	(+) Urbanisation (500m) (pval=0.019*) ; (+) Végétalisation (pval=0.076.)	AIC= 2892.5 (null= 3240.8) $r^2 = 4.21\%$

5. ANNEXE V : Résultats et représentation graphique pour Mission Herisson

Figure 1: Graphique de représentation des passages moyens sur 5 nuits (une session) dans chaque cimetières relevés sur deux ans (tous les mammifères sauf le chat).

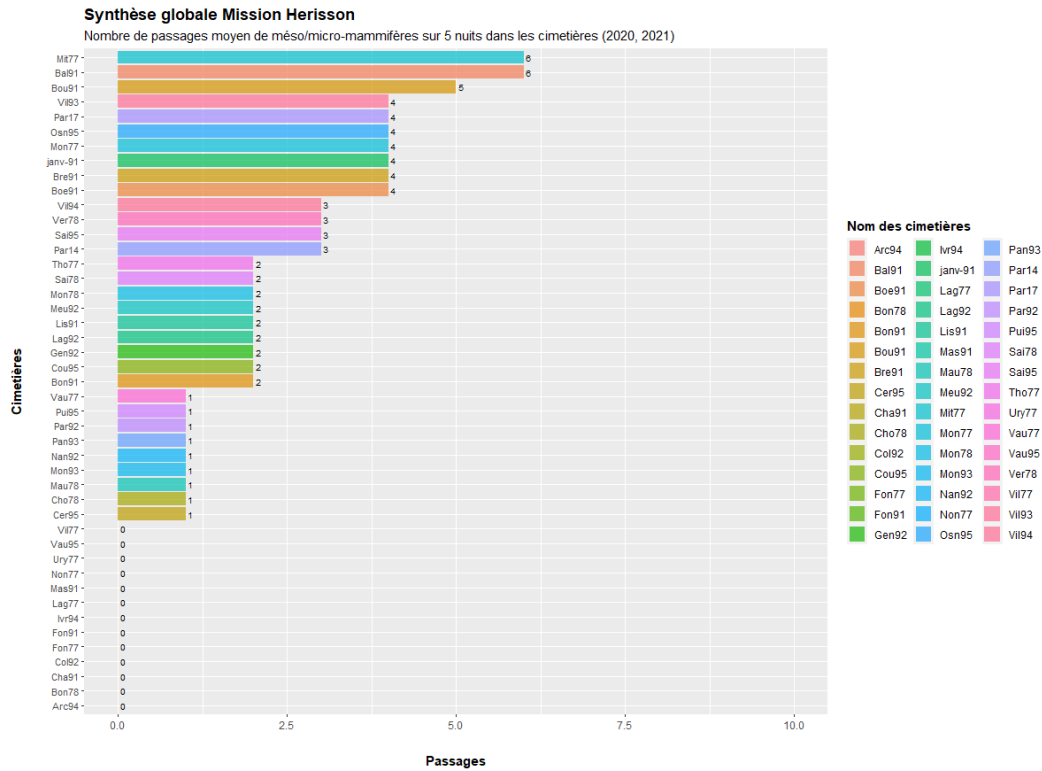


Figure 2: Graphique des espèces de mammifères terrestres retrouvées dans chaque cimetières sur deux ans (tous les mammifères sauf le chat).

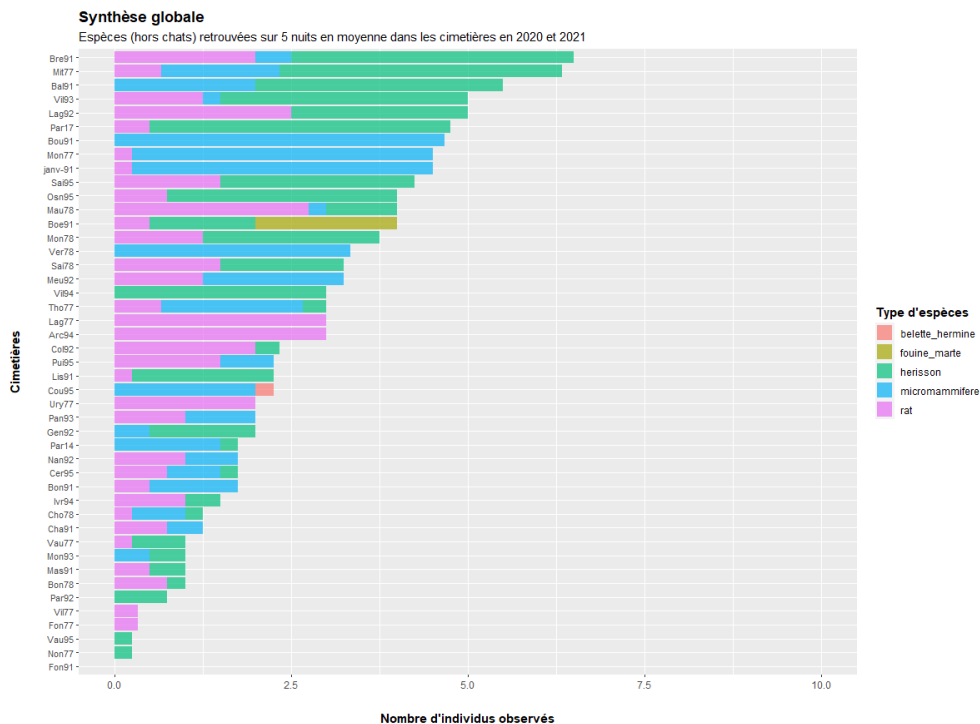


Figure 3 : Tableau des comparaisons des indicateurs de biodiversité des mammifères en fonction du type de milieu intertombre VS praires (significativité des pvalues : 0.0001 ‘***’ ; 0.001 ‘**’ ; 0.01 ‘*’ ; 0.05 ‘.’ ; 0.1 ‘ ’).

Mammifères : test de Wilcoxon :	Significatif	Milieu favorable
Cimetières et autres milieux (globale*) : Abondance	OUI**	Autres milieux
Cimetières et autres milieux (hérissons) : Abondance	OUI***	Autres milieux
Cimetières et autres milieux (micro-mammifères*) : Abondance	OUI***	Autres milieux
Cimetières art. et autres milieux art. (globale*) : Abondance	OUI**	Autres milieux
Cimetières art. et autres milieux art. (hérissons) : Abondance	OUI***	Autres milieux
Cimetières art. et autres milieux art. (micro-mammifères*) : Abondance	OUI*	Autre milieux
Cimetières agr. et autres milieux agr. (globale*) : Abondance	NON	/
Cimetières agr. et autres milieux agr. (hérissons) : Abondance	OUI*	Autres milieux
Cimetières agr. et autres milieux agr. (micro-mammifères*) : Abondance	NON	/

Figure 4 : Histogramme de la quantité de zéro dans les données MH de l'étude.

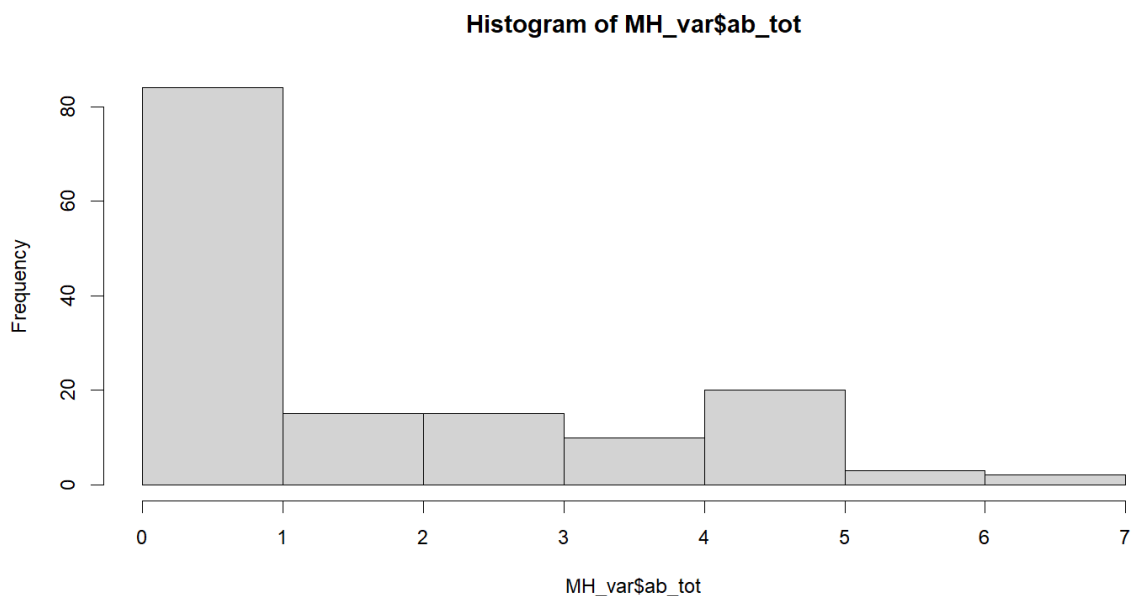


Figure 5 : Synthèse des modèles linéaire généralisés et des zéro inflated models testant l'effet des variables explicatives sur les petits mammifères.

Indice	Effets des variables	Modèles
Présence mammifère terrestre	(+) hauteur de végétation (pval= 0.060.) ; (-) ancienneté (pval=0.036*)	Pas de détails pour le ZI model
Abondance mammifère terrestre	Pas d'effets	AIC=480.66 (null=554.47) r ² =6%
Présence de hérisson	(+) urbanisation / (+) superficie des cimetières / (-) rémanence en herbicide / (-) végétalisation	Pas de détails pour le ZI model
Abondance de hérisson	(+) superficie des cimetières (pval=0.013*) / (-) végétalisation (pval=0.0001***)	AIC=340.44 (null=411.33) r ² = 18%

Figure 6 : Exemple de la relation positive entre l'abondance de hérisson et l'urbanisation.

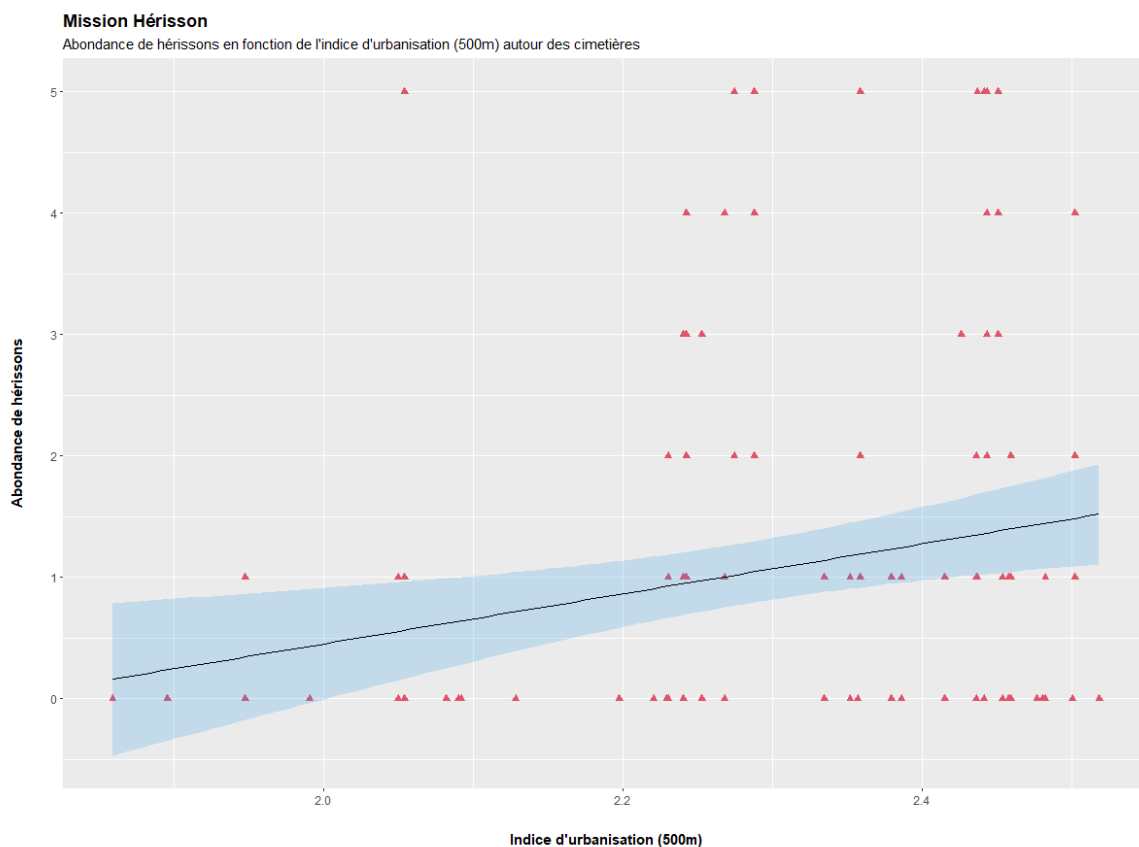
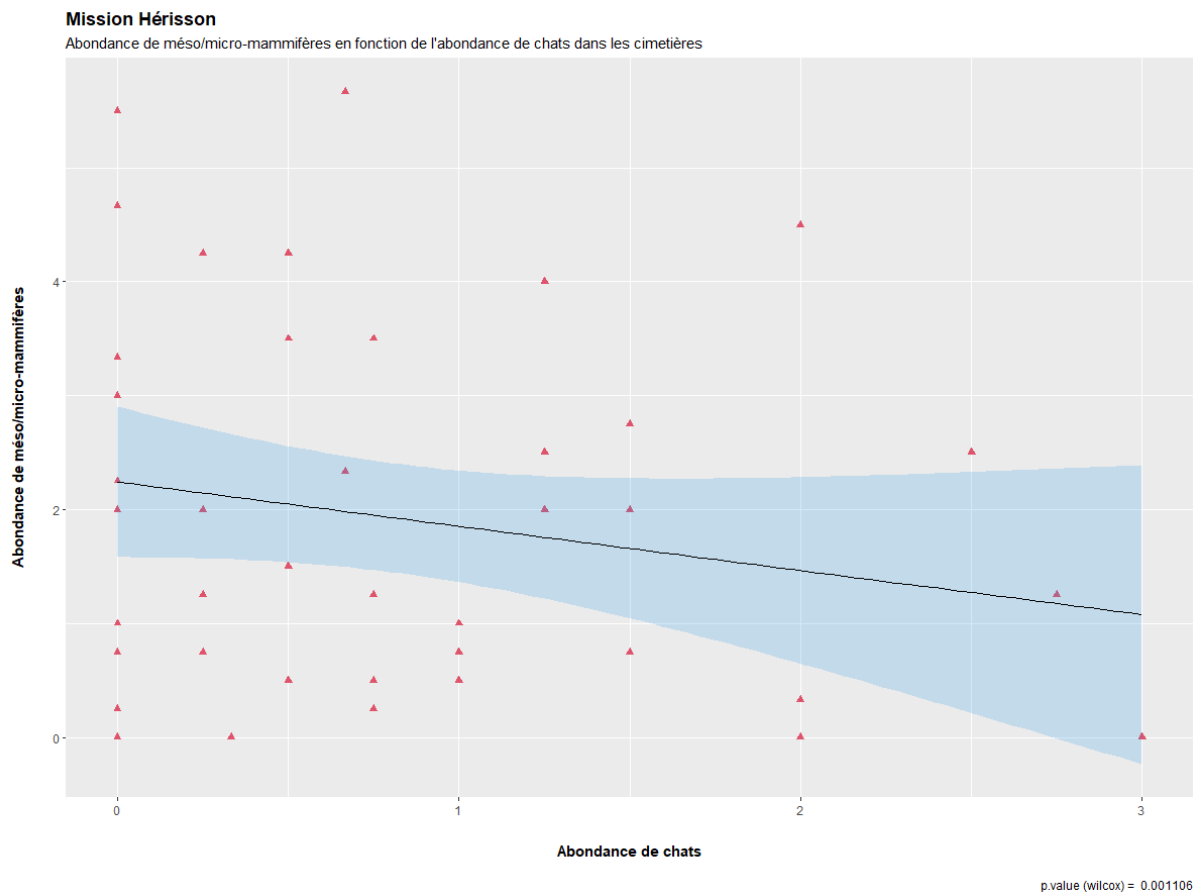


Figure 7 : Exemple de la relation négative entre l'abondance de meso/micro-mammifères et la présence de chat.



6. ANNEXE VI : Résultats et représentations graphique pour EPOC

Figure 1: Graphique de représentation des richesses moyennes en oiseaux sur deux sessions, dans chaque cimetières en sur 2021.

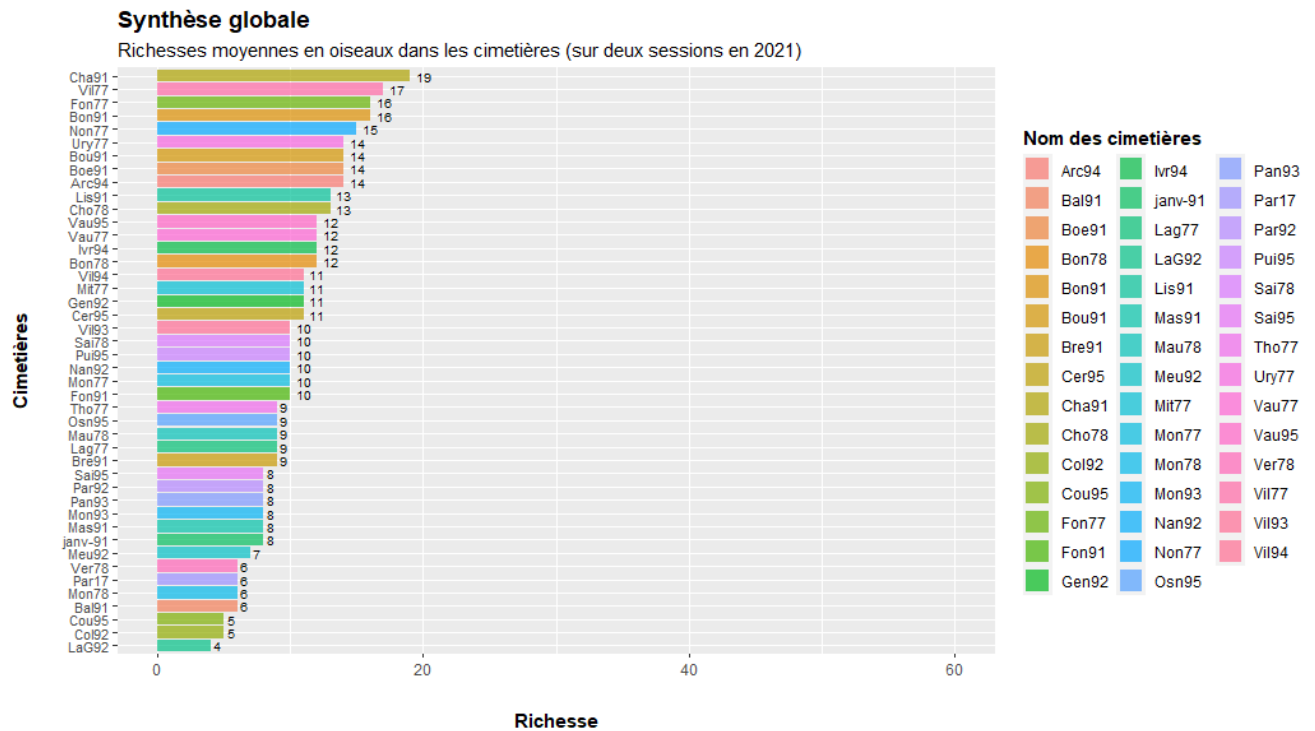


Figure 2 : Tableau des comparaisons des indicateurs de biodiversité des oiseaux en fonction du type de milieu (significativité des p-values : 0.0001 ‘***’ ; 0.001 ‘**’ ; 0.01 ‘*’ ; 0.05 ‘.’ ; 0.1 ‘.’).

Indice oiseaux : test de Wilcoxon	significatif	milieu favorable
epoc_cool_graph\$richesse and epoc_nat_graph\$richesse	NON	/
epoc_cool_agr\$richesse and epoc_nat_agr\$richesse	NON	/
epoc_cool_art\$richesse and epoc_nat_art\$richesse	NON	/
epoc_cool_nat\$richesse and epoc_nat_nat\$richesse	NON	/
epoc_cool_graph\$rarete and epoc_nat_graph\$rarete	OUI*	autres milieux
epoc_cool_agr\$rarete and epoc_nat_agr\$rarete	NON	/
epoc_cool_art\$rarete and epoc_nat_art\$rarete	NON	/
epoc_cool_nat\$rarete and epoc_nat_nat\$rarete	NON	/
epoc_cool_graph\$abondance and epoc_nat_graph\$abondance	NON	/
epoc_cool_agr\$abondance and epoc_nat_agr\$abondance	NON	/
epoc_cool_art\$abondance and epoc_nat_art\$abondance	NON	/
epoc_cool_nat\$abondance and epoc_nat_nat\$abondance	NON	/
epoc_cool_graph\$abondance and epoc_nat_graph\$abondance	NON	/

epoc_cool_agr\$originalite and epoc_nat_agr\$originalite	OUI***	autres milieux
epoc_cool_art\$originalite and epoc_nat_art\$originalite	NON	/
epoc_cool_nat\$originalite and epoc_nat_nat\$originalite	NON	/

Figure 3 : Exemple de représentation graphique boxplot des comparaisons entre milieux pour EPOC.

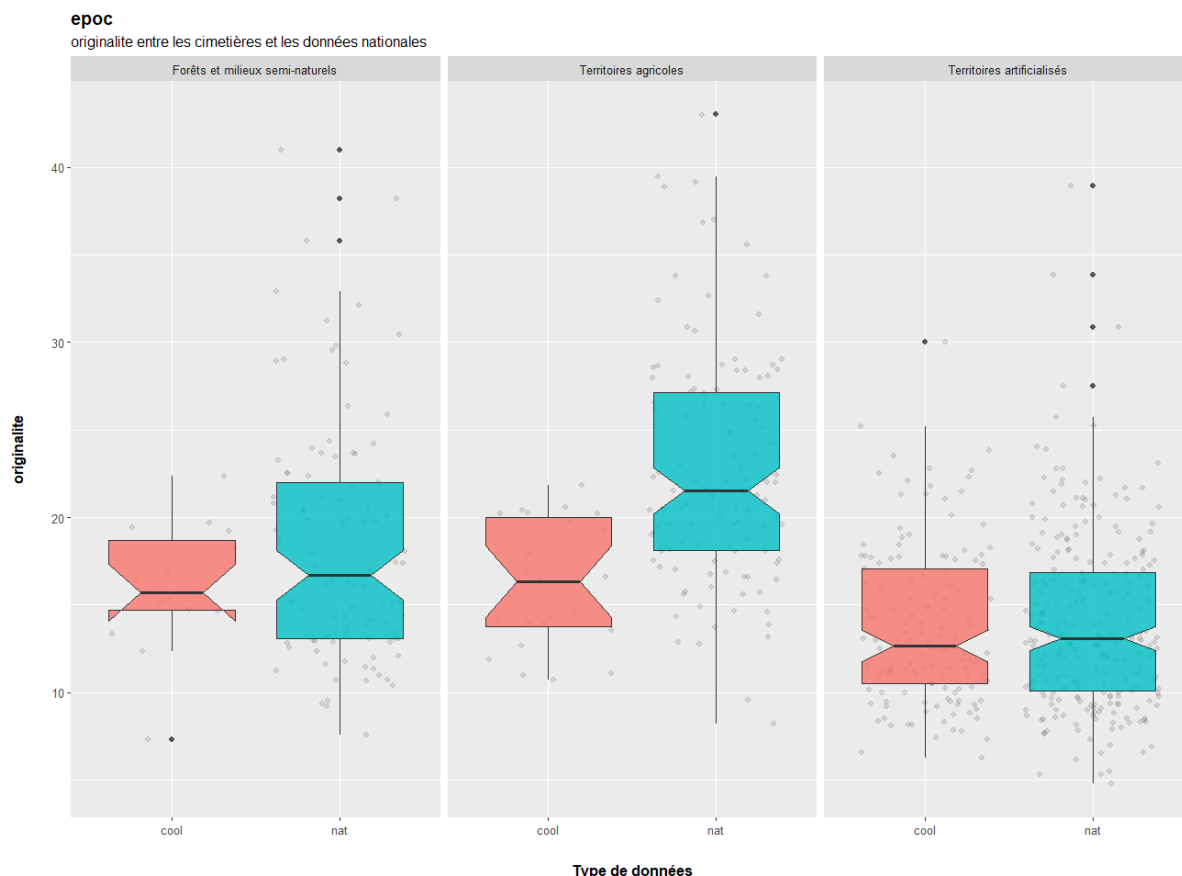


Figure 4 : Synthèse des modèles linéaires généralisés testant l'effet des variables explicatives sur les oiseaux des cimetières.

Indice	Effets des variables	Modèle
Richesse	(-) Hauteur de végétation (pval=0.063.)	AIC =220.46 (null = 236.52) r ² = 14%
Abondance	(+) Urbanisation (pval=0.037*) ; (-) Rémanence herbicides (pval=0.033*)	AIC = 307.56 (null= 331.74) r ² =23%
Originalité	(-) Rémanence herbicides (pval=0.001**) ; (-) Hauteur de végétation (pval=4.06e-05***)	AIC = 209.1 (null= 295.52) r ² =44%

Rareté	(-) Hauteur de végétation (pval= 0.029*)	AIC = 128.6 (null =144.58) r ² = 19%

Figure 5 : Exemple de la corrélation négative entre la richesse en oiseaux et la hauteur de végétation dans les cimetières.

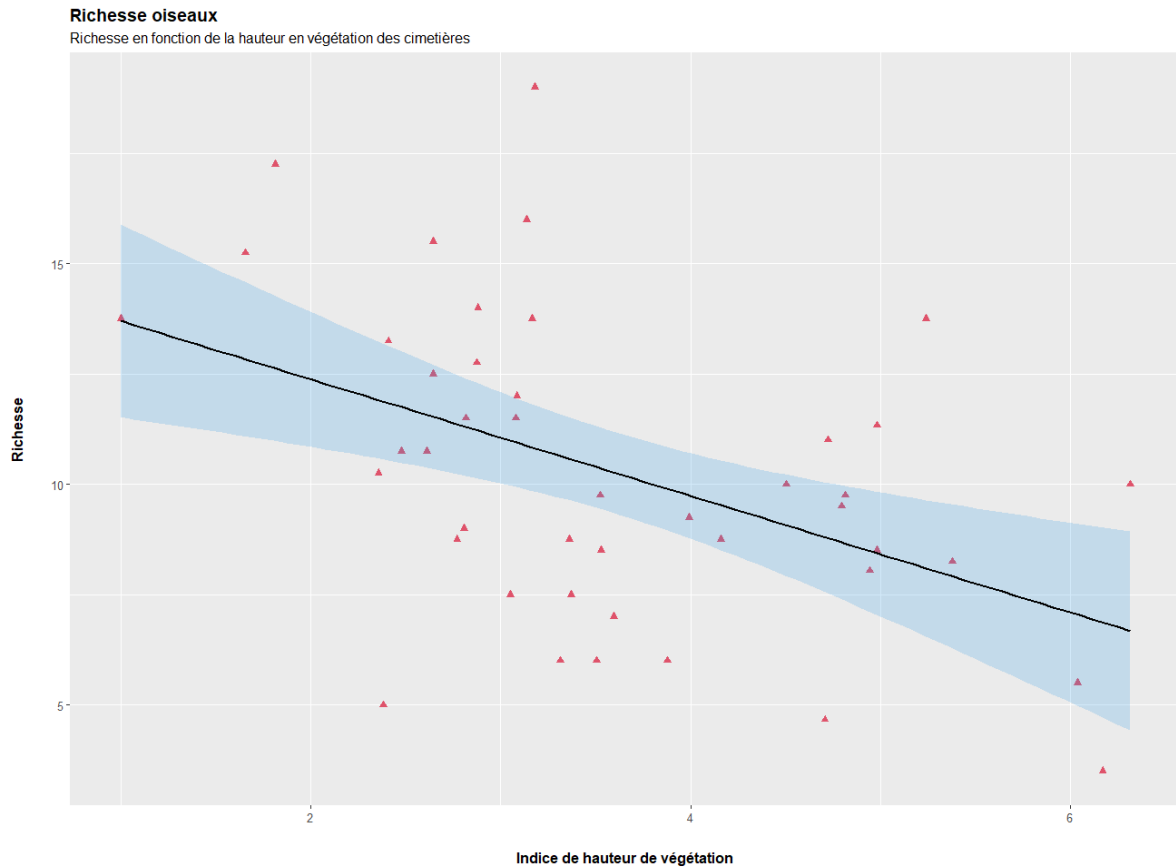


Figure 6 : Exemple de la corrélation négative entre l'originalité en oiseaux et la rémanence en herbicide dans les cimetières.

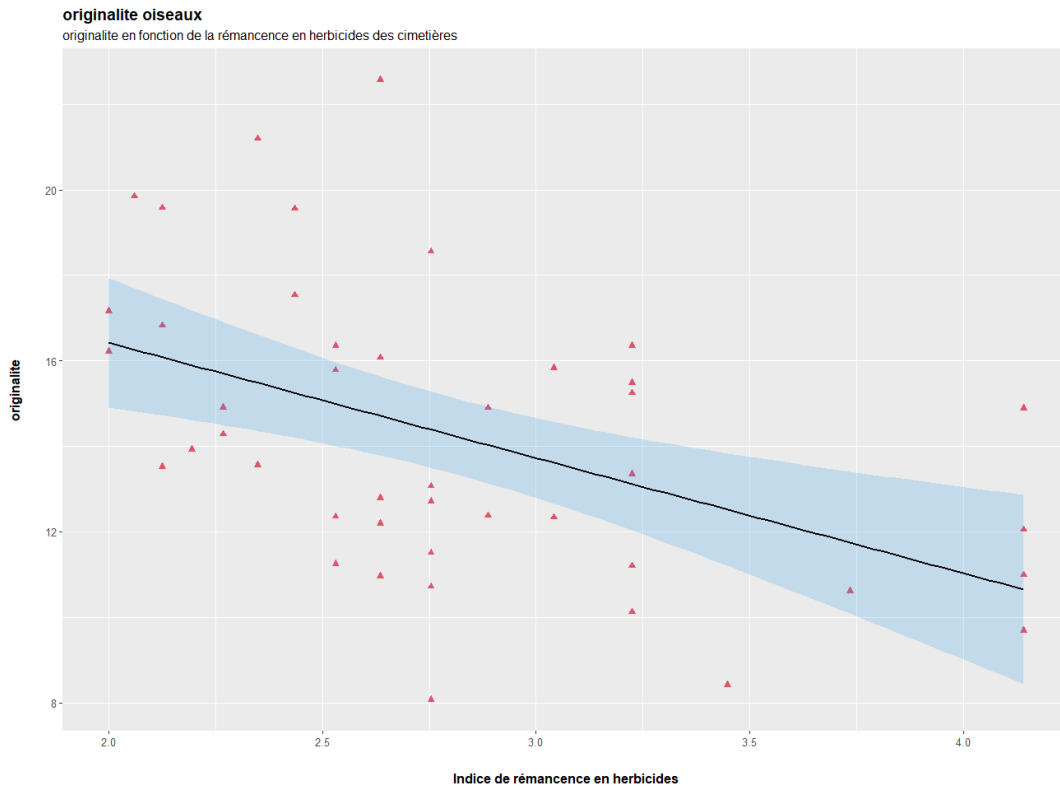
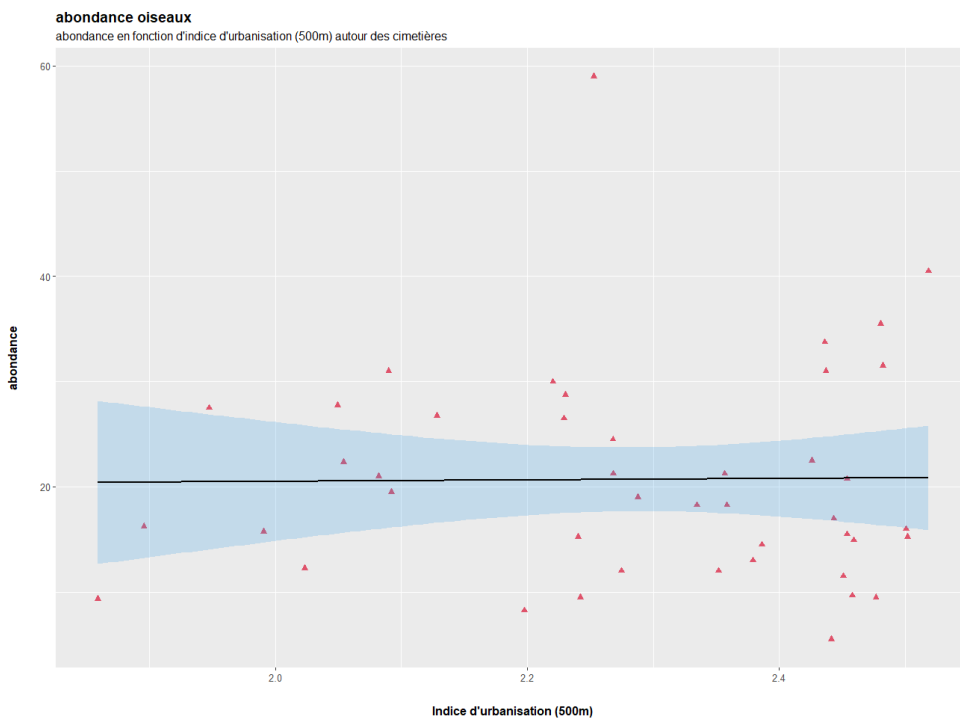


Figure 7 : Exemple de la corrélation nulle entre l'abondance en oiseaux et l'indice d'urbanisation.



7. Annexe VII : Photo aérienne du cimetière de Fontainebleau et de son environnement.



Geoportail.gouv

Résumé

Ce mémoire s'intéresse à la biodiversité présente dans les cimetières et aux facteurs qui peuvent l'influencer. C'est dans le cadre de l'étude « Cimetières vivants », menée par l'Agence Régionale de la Biodiversité (Ile de France), que pendant 4 ans, 5 taxons (flore vasculaire, insectes pollinisateurs, chiroptères, mammifères terrestres et oiseaux communs) vont être étudiés sur 45 cimetières franciliens. A l'issue des deux premières années d'analyses il a été observé que :

- Les cimetières sont des écosystèmes urbains ayant une capacité d'accueil intéressante pour la biodiversité. La minéralité des cimetières propose des conditions écologiques plus méridionales, on y trouve notamment une flore plus diversifiée que dans les autres milieux.
- Les cimetières offrent aussi une diversité de milieux, entre les zones prariales et inter-tombales où des cortèges de pollinisateurs différents sont observés, ces derniers étant associés aux types de fleurs présentes.
- Les variables d'urbanisation, de hauteur et de couvert végétal font partie des éléments composant l'environnement des cimetières, qui ont les effets influençant le plus les taxons étudiés.

Abstract

This report presents the first two years results of the study project «Cemeteries: Observation of Life». In order to learning more about cemeteries's biodiversity, ARB îdF lead this study, between 2020 and 2023. For 4 years, 5 taxa (vascular flora, pollinating insects, bats, terrestrial mammals and common birds) are studied in 45 cemeteries in the Paris region. The firsts trend are:

- Cemeteries are urban ecosystem with an interesting carrying capacity for biodiversity. The strong minerality of these environments seems to allow the implantation of taxa adapted to xeric conditions. Especially for the vascular flora, which seems to be more diversified compare to other areas.
- Cemeteries also offer a diversity of habitats, such as meadows and inter-tombs. They seem to support different communities of pollinators, adapted to the panel of flora of each environment.
- Urbanisation and vegetation (cover and height) seem to be the factor which influence the most the cemeteries's biodiversity.