



ARB
AGENCE RÉGIONALE
DE LA BIODIVERSITÉ

MÉMOIRE DE STAGE

Biodiversité, Écologie, Évolution

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



CIMETIÈRES VIVANTS ÉTUDE DE LA BIODIVERSITÉ DES CIMETIÈRES FRANCILIENS

Stagiaire	•	Rudy Bueno
Année universitaire	•	2021-2022
Date de soutenance	•	22 Septembre 2021
Structure d'accueil	•	Agence régionale de la biodiversité en Ile-de-France
Date du stage	•	01/02/2021 - 30/07/2021
Encadrants	•	Jonathan Flandin Hemminki Johan

CIMETIÈRES VIVANTS

ÉTUDE DE LA BIODIVERSITÉ DES CIMETIÈRES FRANCILIENS

Rédigé par **Rudy Bueno**

Relu et corrigé par **Jonathan Flandin** et **Hemminki Johan**

Photo de couverture et éléments graphiques de **Rudy Bueno**

Mémoire écrit dans le cadre du stage de fin d'étude du parcours d'Écologie
de la Conservation et d'Ingénierie écologique du Master
Biodiversité, Écologie, Évolution

Jonathan Flandin,

Merci pour ton encadrement, ta bienveillance et ta confiance tout au long de ce stage. Je te remercie profondément de m'avoir permis de contribuer à cette étude qui me plaît et m'inspire.

Hemminki Johan,

Merci pour ta présence, ta lucidité et ta complicité. Je suis fier que ces deux stages consécutifs débouchent sur cette belle amitié qui nous lie.

Mustapha Taqarort,

Merci pour ta précieuse aide en cartographie, ta gentillesse et ton sens de l'aide et du service.

Grégoire Lois et Amandine Douillard,

Merci pour votre suivi et votre travail - et Amandine ton dévouement - sur toute la partie chiroptérologique de l'étude.

Ophélie Ricci,

Merci pour ton accompagnement, ton amabilité et ta pédagogie lors des sessions ornithologiques que j'ai pu faire avec toi.

Maël Doré et Christian Kerbiriou,

Merci pour votre appui et vos conseils utiles à la bonne réalisation de mes études statistiques.

Gwendoline Grandin,

Merci pour ton impérieuse bonne humeur et ton soutien lors de la rédaction de ce mémoire.

Enfin, merci à,

Charlotte Rouchon, Myriam Boulouard, Gabrielle Huart, Anna Pelissolo, Marc Barra, Lucile Dewulf, Gaëtane de los Rios, Gilles Lecuir, Julie Collombat-Dubois, Olivier Renault, Klaire Houeix, Nadine Benkemoun, Marjorie Milles et Eric Huybrechts,
pour l'hospitalité, la sympathie, l'intelligence et l'engagement qui vous caractérisent chacun et chacune.

La fin de mon cursus en écologie se termine en beauté grâce à vous.

Merci.

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, l'Office Français de la Biodiversité (OFB) et l'Institut Paris Région (IPR îdF), soutenu par l'État et l'Agence de l'eau Seine-Normandie. L'ARB îdF constitue une plateforme de coopération renforçant les missions de services publics de ces organismes pour atteindre leurs objectifs communs de reconquête de la biodiversité. 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.

Déclinaison territoriale de l'OFB, l'ARB îdF a pour mission de collecter les connaissances existantes, de les mettre en réseau, d'identifier les priorités d'actions régionales et d'évaluer l'état de la biodiversité et suivre son évolution. Elle a également pour vocation d'identifier et de diffuser les bonnes pratiques et sensibiliser le public à la protection de la biodiversité. Forte des 10 années d'acquis de Natureparif, son objectif est de renforcer l'action engagée pour la biodiversité, de la rendre plus efficace, plus visible et de l'ancrer durablement dans les territoires. Avec une nouvelle fonction d'ingénierie territoriale, l'Agence travaille à l'émergence et à l'essaimage d'initiatives et de projets vertueux en Île-de-France et contribuera ainsi à incarner le chef de file régional en matière de biodiversité. 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 dédié à la biodiversité de l'IPR îdF, l'ARB îdF bénéficie des compétences de l'ensemble des équipes de l'IPR îdF, 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	8
1.1. Déclin de la biodiversité : trouver de nouvelles solutions	8
1.2. Repenser la ville : nouvelle terre d'accueil pour la biodiversité	9
1.3. Du vivant chez les morts : cimetières, mariage difficile entre pierres et plantes	10
1.4. Étudier la biodiversité des cimetières franciliens : étude «Cimetières vivants»	11
II. MATÉRIEL & MÉTHODES	15
2.1. Elaboration des variables explicatives	16
2.2. Présentation des protocoles et définition des objectifs	20
2.3. Travail des données et création des indicateurs	22
2.4. Calculs, tests et modèles statistiques	26
III. RÉSULTATS	28
3.1. Résultats des analyses pour la flore vasculaire	28
3.2. Résultats des analyses pour les insectes pollinisateurs	29
3.3. Résultats des analyses pour les chiroptères	31
3.4. Résultats des analyses pour les mammifères terrestres	32
IV. DISCUSSION	33
4.1. L'écosystème «cimetière»	34
4.2. Géographie des cimetières et biodiversité	35
4.3. Végétalisation des cimetières et biodiversité	38
4.4. Autres résultats discutables et perspectives d'améliorations	41
4.5. Synthèse et réponses aux hypothèses formulées	42
/ RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	43
/ PETIT GLOSSAIRE	48
/ TABLE DES ACRONYMES	50
/ TABLE DES ANNEXES et ANNEXES	51

I.

INTRODUCTION

1.1. Déclin de la biodiversité : trouver de nouvelles solutions

Ce n'est pas une nouveauté, la biodiversité décline à une vitesse alarmante (Singh, 2002 ; Dirzo et al., 2014 ; IUCN, 2017). Le dernier rapport de la plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) est d'ailleurs sans appel : 1 million d'espèces seraient aujourd'hui menacées d'extinction. Cet effondrement est d'une telle rapidité et intensité que la communauté scientifique s'accorde à dire que notre génération vit actuellement la 6ème extinction de masse que la planète ait connu (Ceballos et al., 2010 ; Barnosky et al., 2011). Dans l'objectif d'enrayer cette dynamique, de nombreux dispositifs juridiques et opérationnels se concentrent alors sur la conservation des milieux naturels pour répondre au péril de la biodiversité (Butchart et al., 2012). Pour l'instant, les résultats se révèlent quelquefois concluants à échelle locale, mais toujours insuffisants pour endiguer cette crise d'ordre globale (Kerbirou et al., 2018). Dans tous les cas, les réponses au délitement de la vie sauvage nécessitent systémique, transversalité et certainement, beaucoup de courage et de volonté.

De surcroît, vient s'ajouter un phénomène pour l'instant inévitable et dont les réponses sont clairement éludées, l'évolution de la démographie humaine et en corollaire, l'augmentation du taux d'urbanisation. Cette dynamique, aussi bien nationale (Clanché et al. - Insee, 2011) que mondiale (World Urbanization Prospects - ONU, 2018), est un poids supplémentaire à prendre en compte, car le mitage urbain est l'une des principales causes de l'érosion de la biodiversité (Maxwell et al., 2016). En effet, les habitats naturels sont détruits et/ou fragmentés pour laisser place aux logements, commerces, infrastructures de transports, etc. que nécessitent nos modes de vie. Bien qu'il soit nécessaire de continuer à amplifier et pérenniser les actions de protection pour la biodiversité directement dans les sites naturels, repenser l'habitat urbain est aussi essentiel pour faire de lui, non plus un milieu hostile à celle-ci, mais plutôt une terre qui lui est perméable et habitable. Ce faisant, la ville pourrait devenir, dans le meilleur des cas, un écosystème qui viendrait s'ajouter à ceux dits «naturels» pour maintenir voire augmenter la richesse et l'abondance de la biodiversité, et dans le pire, une solution palliative pour abriter les reliquats de biodiversité lorsque celle des milieux naturels est profondément altérée. Qu'il s'agisse alors d'un nouvel avant-poste ou d'un dernier rempart, la biodiversité ne pourrait que mieux se porter si celle-ci est prise en compte dans l'aménagement urbain.

1.2. Repenser la ville : nouvelle terre d'accueil de la biodiversité

Ainsi vient l'essor de l'écologie urbaine. En effet, depuis maintenant quelques années, de nombreuses publications scientifiques paraissent à ce sujet - dépassant même depuis peu ceux de la biologie de la conservation ([Shwartz et al., 2014](#)) - afin de comprendre les particularités et les potentialités qui caractérisent l'écosystème urbain. Celui-ci, ayant eu pendant longtemps mauvaise presse auprès des écologues, fait maintenant l'objet d'une attention toute particulière, car sa compréhension et sa conservation contribuerait à la préservation globale de la biodiversité ([Grimm et al., 2000](#) ; [Miller and Hobbs, 2002](#)). Pour l'instant connu pour abriter notamment des espèces ubiquistes et exogènes ([Williams & Jackson, 2007](#) ; [Dearborn et Kark, 2010](#)) en raison des multiples contraintes que représente ce milieu pour les autres espèces - entre autres, une artificialisation massive, une pollution généralisée et une fragmentation de l'espace -, la ville pourrait accueillir une biodiversité plus diversifiée si elle est aménagée à cet effet. D'autant que ces aménagements pourraient, en favorisant la biodiversité, fournir de nombreux services écosystémiques à la ville comme la réduction de la pollution de l'air, la meilleure gestion des eaux pluviales, le renforcement de la trame verte, la fourniture d'aménités environnementales, etc. ([Bolund & Hunhammar, 1999](#) ; [Elmqvist, 2015](#)).

Mais pour que ces aménagements aient lieu, il leur faut trouver le foncier nécessaire, car les espaces verts ont de plus en plus de mal à être implantés dans une matrice urbaine déjà dense. Vient alors l'idée de s'appuyer sur des aménagements déjà présents en ville comme les cimetières. En effet, pourquoi ne pas utiliser les plus de 20 000 hectares qu'offre l'ensemble des cimetières français, soit plus de deux fois la superficie de Paris, pour les aménager afin d'accueillir la biodiversité ([Larramendy S. - Plante&Cit , 2017](#)) ? Ces espaces, présents dans la presque totalité des communes françaises, sont par essence des lieux de quiétude à l'abri des perturbations inhérentes à la ville. Ce n'est pas pour rien que leur origine étymologique signifie « lieu pour dormir » en grec ancien. En s'épargnant des nuisances sonores et des dérangements causés par les activités humaines de par leur isolement, en disposant d'un éclairage éteint la nuit diminuant de fait les problèmes liés à la pollution lumineuse et en offrant un milieu stable et durable en raison de leurs importantes longévités, les cimetières peuvent devenir des candidats parfaits pour l'accueil de la biodiversité en ville ([Flandin J. - Natureparif, 2014](#) ; [Loki et al., 2019](#)). La preuve en est : un des plus grands cimetières juifs d'Europe se trouvant à Berlin n'héberge pas moins de 604 espèces en son sein dont beaucoup d'oiseaux, d'araignées, de bryophytes, de plantes vasculaires, de carabidés, de chauves-souris et de lichens ([Kowarik et al., 2016](#)).

L'enjeu social de rapprocher le citoyen à la nature est également de taille : il semblerait que les enfants savent pour l'instant mieux identifier les Pokémons que leur propre faune indigène... (Balmford, 2002). Or, pour se soucier de la préservation de la biodiversité, il faut d'abord la connaître. Accueillir la biodiversité dans les cimetières fait donc parti des solutions pour rebâtir le pont qui lie le citoyen à la nature en apprenant de nouveau à la côtoyer et à accepter ses dynamiques.

1.3. Du vivant chez les morts : mariage difficile entre pierres et plantes

La caractéristique principale du cimetière occidental est sa minéralité. En effet, les traditions catholiques du XX^e siècle ont amené aujourd'hui à inhumer l'ensemble des défunts dans des tombes de pierres séparées les unes des autres par des allées de schistes ou de graviers (Flandin J. - Natureparif, 2014). Ce modèle de conception a donc toujours laissé peu de place à la végétation qui peine à se développer dans des milieux fortement imperméabilisés. Vient s'ajouter à cela la perception des usagers qui voient en la flore spontanée un signe de désuétude et d'abandon. Seules les fleurs déposées sur les tombes ou dans des espaces consacrés sont tolérées en raison de leur caractère esthétique et commémoratif. Les plantes non désirées, ces «adventices» ou «mauvaises herbes», qui arriveraient à s'installer et à se développer tant bien que mal sur le sol minéralisé sont donc immédiatement entretenues pour satisfaire les familles des défunts. La gestion de ces indésirables a souvent été réalisée par des produits phytosanitaires chimiques. Mais depuis l'arrêté du 15 janvier 2021 du Ministère de la transition écologique qui signe l'arrêt de l'utilisation de ces produits dans les cimetières à partir de juillet 2022 (JORF n° 0018 - Legifrance, 2021), les gestionnaires sont tenus d'adopter de nouvelles pratiques en apprenant au plus vite à désherber ces espaces par des techniques alternatives, préventives ou curatives.

Dans certains cimetières, les gestionnaires ont d'ores et déjà appris à tolérer cette flore spontanée en comprenant les enjeux qu'elle soulève sur la biodiversité : création d'habitats, apport de ressources, renforcement de la trame verte urbaine... (Flandin J. - Natureparif, 2014). Certains aménagent même différentes structures pour sensibiliser le public à l'accueil de la biodiversité : nichoirs, hôtels à insectes, mares, bois mort, murets, etc. Le label EcoJardin, outil reconnu du public, des équipes d'entretien et des élus, permet justement de mettre en lumière les cimetières qui intègrent la biodiversité par la mise en œuvre d'une gestion écologique respectueuse de cette dernière. L'évolution des pratiques dans les cimetières est donc en marche pour désormais les reconnaître comme de vrais écosystèmes avec une

biodiversité qui leur est propre et qu'il faut conserver. Ces nouveaux écosystèmes possèdent d'ailleurs une structure et une organisation bien précises. En voici leurs composantes principales (Figure 1) :

- (1) Enceinte : entouré d'une haie, d'une clôture végétalisée ou grillagée ou d'un mur ;
- (2) Allées principales : permettent la circulation des véhicules et des usagers ;
- (3) Allées secondaires : permettent l'accès des usagers jusqu'aux tombes ;
- (4) Tombes : lieu où est déposé le corps d'un défunt
- (5) Inter-tombes : espaces séparant deux sépultures ;
- (6) Espace cinéraire : ensemble d'équipements dédié à la dispersion des cendres des défunts ;
- (7) Prairies : zones enherbées soit permanentes (mis en place à des fins écologiques ou décoratives), soit temporaires (servant aux nouvelles sépultures ou à l'extension du cimetière).

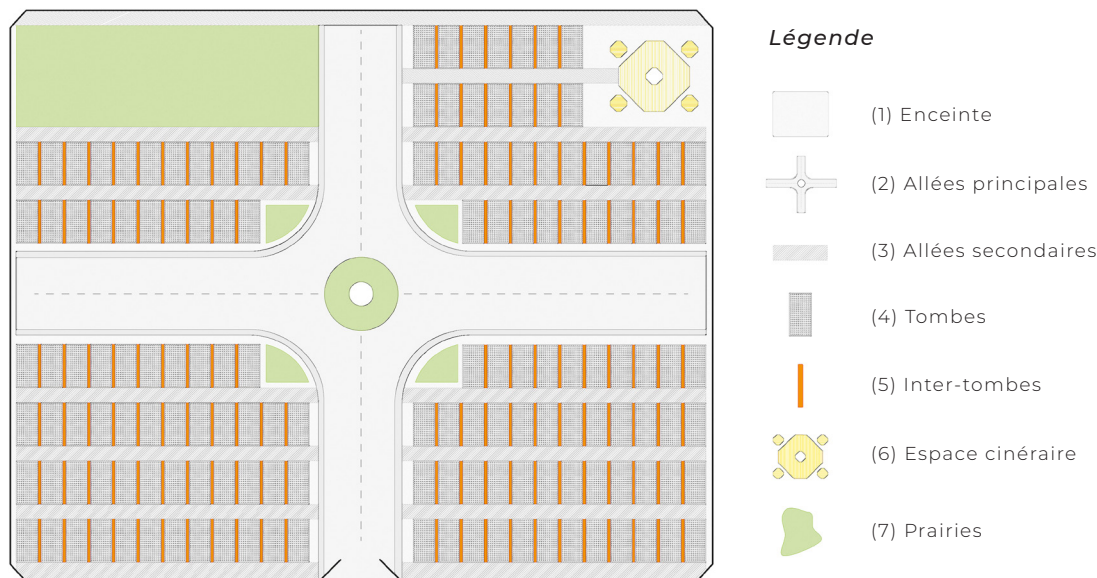


Figure 1 : Représentation schématique simplifiée de l'agencement d'un cimetière occidental

1.4. Étudier la biodiversité des cimetières franciliens : étude «Cimetières vivants»

Dans l'objectif d'en apprendre plus sur la biodiversité des cimetières, l'Agence Régionale de la Biodiversité en Île-de-France (ARB îdF) a développé, sur une durée de 4 ans (2020-2023), le projet d'étude dénommé «Cimetières vivants» (aussi appelé par l'acronyme «COOL» pour «Cimeteries : Observation of Life»). Il est la résultante logique de l'intérêt toujours plus grandissant de cette thématique au sein de l'agence, en témoigne la publication en 2014 du guide pratique « *Conception et gestion écologique des cimetières* » écrit par Jonathan Flandin.

Ce projet, en s'appuyant sur l'expertise de nombreux partenaires scientifiques et techniques, met en place des suivis sur une multitude de taxons afin d'appréhender globalement la biodiversité que peut abriter l'écosystème urbain «cimetière». Pour ce faire, il tire profit des différents protocoles de sciences participatives coordonnées soit par le programme Vigie-Nature du Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN), soit par la Ligue de protection des oiseaux (LPO). Ils sont au nombre de six :

- Sauvages de ma rue (SDMR) et Vigie-Flore (VF) qui permettent le suivi de la flore vasculaire. Le premier sert à étudier la flore de l'inter-tombe et le second, celle des prairies (vigienature.fr/fr/flore/sauvages-de-ma-rue & vigienature.fr/fr/vigie-flore).
- SPIPOLL (Suivi photographique des insectes pollinisateurs) qui permet le suivi des insectes pollinisateurs et l'étude de leurs interactions avec les plantes (spipoll.org).
- Vigie-Chiro (VC) qui permet le suivi des chauves-souris (vigienature.fr/fr/chauves-souris).
- Mission Hérisson (MH) qui permet le suivi des petits mammifères terrestres (missionherisson.org).
- EPOC (Estimation des populations d'oiseaux communs) qui permet le suivi des oiseaux communs (cettia.fr/aide/observations/epoc).

Le présent mémoire exploite les données de l'étude COOL collectées en 2020 pour répondre aux problématiques posées. Les objectifs à termes sont de mieux connaître la biodiversité des cimetières sous différents angles, notamment ceux posés ci-dessous :

- *(1) Influence de la géographie et de l'habitat urbain sur la biodiversité :*
 - *(1.a.)* Les cimetières urbains abritent-ils une biodiversité typique des milieux urbains, à savoir adaptée à un climat plus chaud et plus sec ? Nous supposons que la faune, en l'occurrence les insectes pollinisateurs, et la flore des cimetières devraient se composer d'espèces potentiellement plus rares pour l'Île-de-France car présentant une écologie thermophile et xérophile ([Loki et al., 2020](#)).
 - *(1.b.)* La biodiversité des cimetières est-elle comparable à celle des autres milieux ? Nous souhaitons savoir ici si les cimetières sont comparables en termes d'accueil de biodiversité aux autres espaces urbains présents autour d'eux. Notre hypothèse est que les cimetières les plus verts pourraient abriter une quantité et une diversité floristique et faunistique équivalente voire meilleure que d'autres milieux urbains ([Loki et al., 2019](#) ; [Canady & Mosansky, 2017](#)). En revanche, nous pensons qu'ils ne permettent pas d'accueillir autant de biodiversité que les milieux agricoles et naturels.

- (1.c.) Est-ce que le niveau d'urbanisation du paysage dans lequel se trouve le cimetière influence sa biodiversité ? Nous estimons ici que l'urbanisation et les perturbations qu'elle génère devrait influencer négativement la richesse et l'abondance de la biodiversité des cimetières (Villaseñor & Escobar, 2019 ; McKinney, 2002).
- (1.d.) Est-ce que la continuité du paysage dans lequel se trouve le cimetière influence sa biodiversité ? Nous pensons ici que les problèmes liés à la rupture de continuités devraient entraver les mouvements de dispersion et de migration de la faune et la flore, et donc diminuer leurs richesses et abondances dans les cimetières (Fischer & Lindenmayer, 2007).
- (1.e.) La pollution lumineuse inhérente aux milieux urbains provoque-t-elle une perte d'abondance et de richesse des chiroptères des cimetières ? Nous pensons ici que les chauves-souris peuvent être impactées négativement par l'éclairage urbain sur le plan spécifique et quantitatif (Laforge et al., 2018).
- (2) *Influence de la végétalisation et de ses caractéristiques sur la biodiversité :*
 - (2.a.) La végétalisation et sa stratification ont-elles un impact sur la biodiversité présente dans les cimetières ? Nous pensons ici que les cimetières les plus végétalisés et les plus stratifiés devraient se composer d'une biodiversité plus riche et abondante que ceux plus minéralisés (Ikin et al., 2015 ; Faeth et al., 2011).
 - (2.b.) Les cimetières composés d'une flore plus entomogame accueillent-ils une faune entomologique plus riche et abondante ? Nous pensons qu'il pourrait y avoir une influence positive de ce mode de pollinisation sur la richesse et l'abondance de pollinisateurs (Kaiser et al., 2017 ; Biesmeijer et al., 2006).
- (3) *Influence des stratégies d'entretien sur la biodiversité :*
 - (3.a.) La rémanence des herbicides présents dans le sol des cimetières impacte-t-elle globalement la biodiversité ? Nous pensons ici que la pollution liée aux herbicides encore présents dans le sol pourrait impacter négativement la flore et le reste de la biodiversité par phénomène de bioaccumulation (Streit, 1992 ; Gupta, 2018 ; Geoffrey et al., 2020).
 - (3.b.) La pression d'entretien exercée dans les cimetières impacte-t-elle globalement la biodiversité ? Nous pensons ici que les perturbations liées à l'entretien des cimetières (débroussaillage et désherbage) devraient influencer négativement la flore en raison du caractère létal de ces opérations et la faune dû à la diminution des ressources et des micro-habitats (Geoffrey et al., 2020 ; Kowarik et al., 2016).
- (4) *Autres influences possibles sur la biodiversité :*

- (4.a.) L'ancienneté de construction des cimetières pourrait-elle influencer la faune et la flore de ces milieux ? Nous pensons ici que plus un cimetière est ancien, plus la flore et la faune aurait eu le temps de s'implanter dans celui-ci. Les cimetières anciens pourraient donc accueillir une biodiversité plus riche, rare et abondante (Kowarik et al., 2016).
- (4.b.) La surface des cimetières influence-t-elle l'abondance et la richesse de la flore et de la faune des cimetières ? Afin de mieux interpréter la totalité des résultats, nous souhaitons valider l'hypothèse selon laquelle un cimetière plus grand en surface pourrait accueillir plus d'espèces quantitativement et qualitativement (Kowarik et al., 2016).
- (4.c.) Le type d'habitat à l'intérieur des cimetières, entre autres les prairies et les inter-tombes, peuvent-ils impacter les cortèges d'espèces retrouvés ? Nous émettons l'hypothèse que la flore de l'inter-tombe devrait être moins riche et moins abondante mais plus rare que celle des prairies car plus thermophile. Nous supposons également que la diversité et l'abondance des pollinisateurs devraient être plus importante dans les prairies que dans l'inter-tombe en raison d'un apport plus conséquent en ressources.

S'agissant de la première année d'analyse, j'ai eu pour rôle l'agencement et la préparation des données à analyser, l'élaboration des variables explicatives à tester pour l'ensemble de l'étude COOL et la réalisation des analyses statistiques sur les différents jeux de données des protocoles précités page 9 pour l'année 2020, à l'exception d'EPOC mis en place cette année. L'objectif global de ce stage est donc de développer l'ensemble des analyses à reproduire par les futurs stagiaires en 2022, 2023 et 2024 et discuter celles-ci pour qu'elles puissent être améliorées. En parallèle de ce travail, j'ai aussi été amené à réaliser des missions d'échantillonnage. En effet, j'ai participé aux suivis de la faune en réalisant un total de 58 relevés SPIPOLL, 16 relevés EPOC et 4 relevés VC. J'ai également aidé les gestionnaires à mettre en place les dispositifs MH en leur fournissant le matériel nécessaire.

Les résultats de l'année 2020 resteront provisoires, mais serviront de première étape pour faire évoluer l'étude et ses questionnements sur les trois prochaines années d'analyse. Les résultats finaux permettront à terme de : (1) mieux comprendre l'écosystème «cimetière» sur le plan biotique et abiotique ; (2) appréhender les influences globales du paysage dans lequel s'intègre ce milieu sur sa biodiversité ; (3) analyser les effets de la végétalisation et les stratégies de son entretien sur la biodiversité et *in fine* (4) orienter les concepteurs et gestionnaires des cimetières vers des modèles de conception et de gestion plus bénéfiques à la biodiversité.

II. MATÉRIEL & MÉTHODES

Comme dit précédemment, l'étude COOL s'appuie sur six protocoles d'observation de la biodiversité des cimetières appliqués sur une durée de 4 ans (2020-2023). Ces protocoles sont réalisés sur un total de 45 cimetières répartis dans toute l'Île-de-France selon un gradient urbain-rural (Figure 2). Ces cimetières ont été sélectionnés dans différents types de milieux (agricoles, forestiers et urbains) afin d'évaluer les effets de la matrice paysagère sur la biodiversité de ces derniers. Les cimetières ont aussi été choisis en fonction de leur physionomie afin d'observer les effets des différentes conceptions sur la biodiversité. Certains sont dits «paysagers», c'est-à-dire qu'ils sont conçus de sorte à laisser une très grande place à la végétation, d'autres sont simplement arborés (arbres nombreux), enherbés (pelouses nombreuses), ou majoritairement minéralisés (peu ou pas de végétation). Il existe bien entendu des systèmes mixtes entre ces différentes catégories tirés de la nomenclature de Plante&Cité (Larramendy S. - Plante&Cité, 2017). Enfin, les pratiques de gestion (désherbage chimique, désherbage non-chimique, pas de désherbage) ont également été un critère dans la sélection des cimetières afin d'évaluer leurs effets sur la biodiversité.

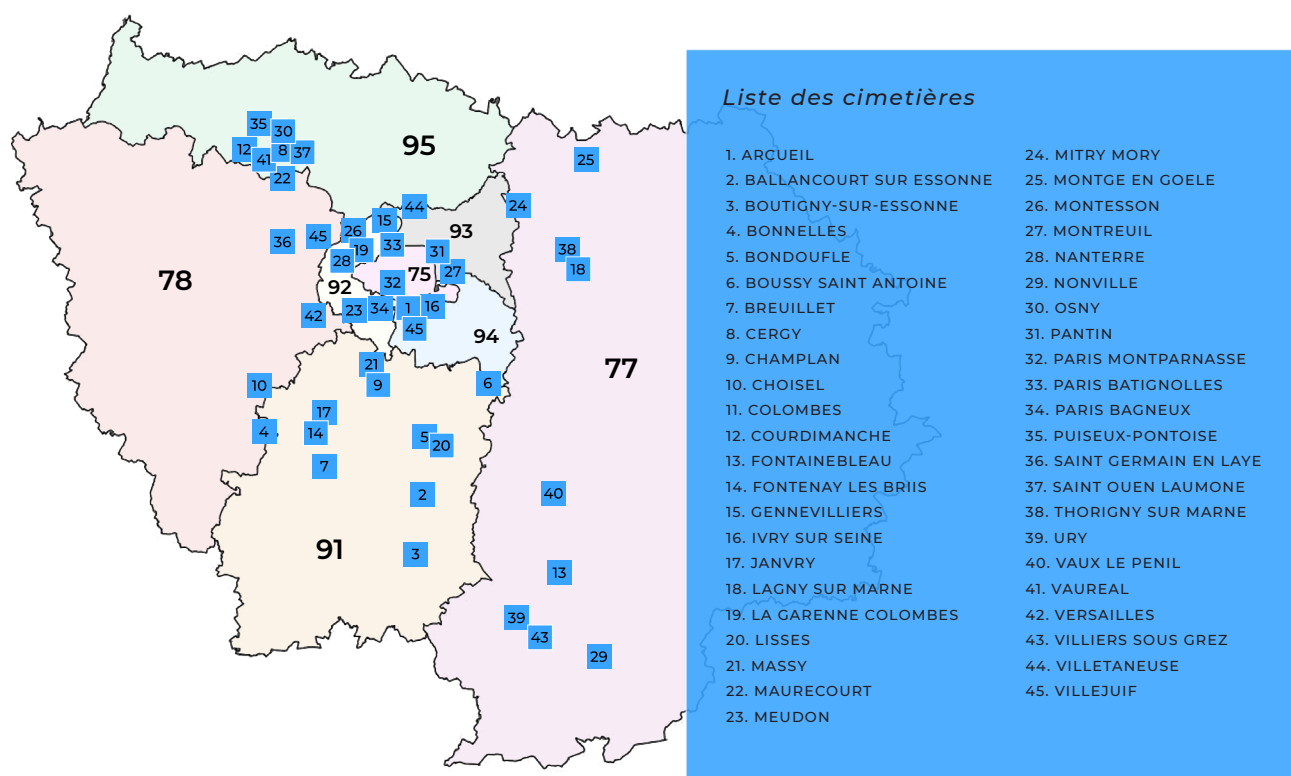


Figure 2 : Localisation des différents cimetières franciliens étudiés dans le cadre de l'étude COOL

2.1. Élaboration des variables explicatives

Afin de répondre à l'ensemble de nos problématiques posées, la première étape fût d'élaborer des variables explicatives afin de tester leurs effets sur les données collectées par les différents protocoles. La liste des variables à développer était donc la suivante : urbanisation, connectivité, pollution lumineuse, végétalisation, pression d'entretien, rémanence d'herbicides, entomogamie, ancienneté et surface. En raison du faible nombre de données pour cette première année d'analyse, notre objectif était surtout de créer des variables quantitatives et non catégorielles afin d'une part, éviter les problèmes de surparamétrage dans les modèles statistiques et d'autre part, éviter d'utiliser des variables avec des catégories à faible nombre de données.

2.1.1. Création de la variable d'urbanisation

Pour la création de la variable d'urbanisation, nous avons utilisé les données de l'inventaire numérique de l'occupation du sol en Île-de-France : le Mode d'occupation du sol (MOS), cartographie développée par l'Institut Paris Région (IPR). Cet outil nous permet de sélectionner l'ensemble des milieux présents autour des cimetières dans le buffer de notre choix. Sa classification se décline en quatre niveaux de précision : 11 postes, 24 postes, 47 postes et 81 postes. À l'aide du logiciel ArcGIS, nous avons extrait les données du MOS 11 postes - n'ayant pas besoin de plus de précision - dans un buffer de 500m et 1000m autour des cimetières. Deux buffers ont été sélectionnés, car nos taxons étudiés possèdent des capacités de dispersion différentes. Les rayons ont été définis à dire d'experts lors d'une réunion avec des membres du MNHN, de la LPO et du Conservatoire Botanique national du bassin parisien (CBNBP). Une fois l'étape de la fabrication des modèles lancée, une partition hiérarchique permettra de dire quel buffer joue le plus d'effet sur le taxon étudié.

Souhaitant initialement utiliser cette variable avec une simplification à 4 postes (milieu urbain dense, milieu urbain, milieu naturel, milieu agricole) pour caractériser les cimetières en fonction du milieu le plus représentatif auxquels ils appartiennent, nous avons observé que les différentes catégories n'étaient pas assez bien réparties et que certaines, comme le milieu naturel, ne représentaient que trop peu cimetières. Nous avons donc décidé de créer un indice d'urbanisation à partir d'une analyse en composantes principales (ACP). Nous avons projeté sur 2 axes l'ensemble des 11 postes et nous avons pu observer très nettement un gradient d'urbanisation se dessiner avec d'un côté les postes «Équipements», «Transports», «Activités», «Habitat collectif», «Carrières, décharges et chantiers» et

de l'autre côté «Forêts», «Milieux semi-naturels», «Espaces agricoles». Cette opposition signifie une corrélation négative entre ces différents postes et dévoile un gradient d'urbanisation clair. De manière logique, les milieux forestiers, semi-naturels et agricoles sont majoritaires en milieu rural tandis que les activités économiques et industrielles, les habitations collectives, les équipements sportifs, culturels, de santé, d'enseignement et autres, les infrastructures de transports, etc. caractérisent mieux le milieu urbain. Les postes «Eau», «Habitat individuel» et «Espaces ouverts artificialisés» avaient une relation orthogonale avec le reste des postes, signe qu'ils ne sont pas réellement influencés par ce gradient. Nous avons donc extrait les données de l'axe 1, ce qui nous a permis de créer notre indice d'urbanisation. Cette opération a été réalisée deux fois afin de créer l'indice d'urbanisation pour un buffer de 500m et celui pour un buffer de 1000m.

2.1.2. Création de la variable de connectivité

Pour la création de la variable de connectivité, nous avons utilisé les données de l'inventaire numérique des éléments de biodiversité des paysages ruraux d'Ile-de-France : l'Ecoline, cartographie développée par l'IPR. Cet outil nous permet de sélectionner l'ensemble des éléments (polygones, lignes, points) de la trame verte et bleue d'une taille inférieure à 25m (de longueur et largeur). Il peut s'agir d'alignements d'arbres, de ripisylves, de mares, de haies, de fossés, etc. L'inconvénient de cette carte réside dans le fait qu'elle ne concerne que les départements de grande couronne. Seuls 30 des 45 cimetières de l'étude peuvent donc être étudiés avec cette carte. À l'aide du logiciel ArcGIS, nous avons extrait les données d'Ecoline dans un buffer de 500m et 1000m autour des cimetières, pour les mêmes raisons que celles évoquées en 2.1.1. Nos taxons étant principalement affiliés à des écosystèmes terrestres, nous avons d'emblée supprimé les données appartenant à la trame bleue, qui étaient, dans tous les cas, trop peu nombreuses pour être exploitées. Nous avons par la suite fait le choix de ne garder que les éléments polygonaux (m²) et linéaires (m), car les données sous forme de points étaient insuffisantes. Le tout fût simplifié sous forme de trame verte linéaire ou polygonale.

Comme réalisé pour l'indice d'urbanisation, nous avons créé un indice de connectivité à l'aide d'une ACP afin de rassembler les éléments de la trame verte linéaire et polygonale sous un même indice. L'axe 1 de la projection de l'ACP nous a permis de définir un gradient de connectivité/fragmentation en agençant dans un même sens la présence/absence d'éléments linéaires et polygonaux. Nous avons donc extrait les données de l'axe 1, ce qui nous a permis de créer notre indice de connectivité. Cette opération a été réalisée deux fois afin de créer l'indice de connectivité pour les deux buffers.

2.1.3. Création des variables de végétalisation

Pour la création des variables de végétalisation, nous avons utilisé une carte développée par l'IPR se servant de la technique du NDVI (Normalized Vegetation Index). Cette méthode utilise la mesure de la réflectance (ou facteur de réflexion) des canaux rouges et proche infrarouge par des capteurs satellitaires. La bande de la lumière rouge étant celle absorbée par les plantes et celle du proche infrarouge étant celle réfléchiée par ces dernières, la soustraction de la réflectance de ces deux bandes permet de déduire la présence de végétaux. Cette méthode est également 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 davantage le proche infrarouge. Ce moyen permet ainsi de représenter la couverture végétale et la taille de la végétation du couvert (herbes, arbustes ou arbres). Nous utilisons donc cette technique pour (1) définir un pourcentage de végétation et un pourcentage de minéral de chaque cimetière (1 - % de végétation) et (2) déterminer la hauteur de la végétation dans le cimetière.

À l'aide du logiciel ArcGIS, nous avons extrait les données de cette carte dans les polygones correspondant à nos cimetières. Notre volonté étant de créer deux indices, un de végétalisation et un de hauteur de végétation, nous avons encore une fois utilisé l'ACP pour les créer. La première ACP consistait à projeter le pourcentage de végétation et le pourcentage de minéral sur 2 axes afin d'obtenir un gradient végétalisation/minéralisation. L'axe 1 de la projection de l'ACP nous a montré une corrélation négative logique entre les deux pourcentages, ce qui nous a permis, en extrayant les données de l'axe 1, de créer notre indice de végétalisation. La deuxième ACP consistait à projeter le pourcentage d'herbes, d'arbustes et d'arbres sur 2 axes afin d'obtenir un gradient de hauteur de végétation. La projection de cette deuxième ACP nous a montré un agencement sur l'axe 1 de ce gradient en mettant de part et d'autre du cercle de corrélation les pourcentages d'arbres et d'arbustes d'une part et d'herbes d'autre part. Nous avons donc extrait les données de l'axe 1, ce qui nous a permis de créer notre indice de hauteur de végétation.

2.1.4. Création de la variable de pollution lumineuse

Pour la création de la variable de pollution lumineuse, nous avons utilisé la carte VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) de 2020 présente sur le site lightpollutionmap.info. Comme pour le NDVI, cette méthode utilise des capteurs satellitaires, mais cette fois-ci pour collecter les bandes de la lumière visible et de l'infrarouge émis par la Terre. Grâce à cette technologie, nous pouvons donc connaître la puissance de la lumière émise (ou luminance) par une zone sur Terre. Cette carte

nous a donc permis de récupérer pour chaque cimetière la luminance moyenne émise dans un buffer circulaire d'1km autour de ceux-ci. Cette longueur de rayon est jugée comme pertinente pour prendre en compte les déplacements des chiroptères selon les dires d'experts.

2.1.5. Création de la variable d'entomogamie

Pour la création de la variable d'entomogamie, nous avons exploité les données VF et SDMR collectées dans les cimetières ainsi que la base de données des traits floraux du CBNBP. Nous avons donc pu déterminer un pourcentage de plantes qui se reproduisent par entomogamie dans les cimetières. Cette variable correspond donc au pourcentage de plantes entomogames de chaque cimetière.

2.1.6. Création des autres variables

Pour les autres variables telles que l'ancienneté, la surface, la pression d'entretien et la rémanence d'herbicides, elles ont été élaborées à partir de formulaires remplis par les gestionnaires. Pour l'ancienneté, nous avons demandé la date exacte de création du cimetière à chaque gestionnaire pour ainsi déterminer son ancienneté (2021 - date de création). Pour la surface et la pression d'entretien, nous avons procédé de la même manière en demandant la taille en hectares du cimetière et le nombre d'heures dédiées à l'entretien aux gestionnaires. Le volume horaire dédié à l'entretien est ensuite pondéré par la surface pour obtenir une variable comparable entre cimetières. Enfin, pour la rémanence d'herbicides, nous avons demandé l'année d'arrêt d'utilisation des herbicides dans les cimetières à chaque gestionnaire afin de déterminer la possible persistance du produit dans le sol en nombre d'années (2021 - date d'arrêt des herbicides). Nous avons estimé qu'un cimetière ayant arrêté récemment l'utilisation d'herbicides avait plus de chance de conserver dans son sol des traces de ces produits qu'un cimetière ayant arrêté il y a plus longtemps. À la suite du premier calcul, nous avons inversé le tout pour obtenir la rémanence : $V_{\max} + 1 - \text{nombre d'années sans herbicides}$ (avec V_{\max} = Valeur maximale du nombre d'années sans herbicides). Les cimetières obtenant une valeur forte de rémanence sont ainsi ceux ayant arrêté récemment ou utilisant encore des herbicides. Ceux obtenant une valeur faible sont ceux n'ayant jamais utilisé ou ayant arrêté il y a longtemps leur utilisation.

2.1.7. Perfectionnement et étude des variables

Afin de pouvoir pleinement exploiter l'ensemble de ces variables, nous avons procédé à plusieurs étapes de perfectionnement. D'abord, nous avons mis à l'échelle l'ensemble des variables par des transformations logarithmiques afin d'avoir des variables qui se ressemblent en termes de valeurs

(Annexe I). Ensuite, nous avons décidé de retirer les valeurs trop extrêmes qui pourraient par la suite nuire à la robustesse de nos modèles statistiques. Enfin, nous avons procédé à des tests de corrélation entre chaque variable par une matrice de corrélation afin d'observer les variables qui ne pourront être incluses dans les mêmes modèles (Annexe II). Le seuil de corrélation fixé correspond à $r = 0.58$. Si la valeur de corrélation dépasse ce seuil, alors les variables sont corrélées et ne peuvent être mises ensemble dans un même modèle. À la suite des tests, les variables corrélées sont : l'urbanisation (500m & 1000m) avec la pollution lumineuse ; l'urbanisation (500m) avec la hauteur de végétation. Lors de la création des modèles, un test de colinéarité sera également réalisé afin de s'assurer de la robustesse de nos modèles même avec des variables légèrement corrélées ($0.3 > r < 0.58$).

2.2. Présentation des protocoles, des données et définition des objectifs

2.2.1. Analyse de la flore vasculaire : Sauvages de ma rue et Vigie-Flore

Le programme SDMR est mis en place pour inventorier la flore dans l'espace inter-tombe tandis que le programme VF sert lui à inventorier la flore des prairies. Le premier consiste à réaliser un transect de 100 m de long en circulant entre les rangées de tombes et en notant la flore spontanée et subspontanée se développant dans les allées, entre les tombes et dans les fleurissements des tombes. Le second consiste lui à noter toutes les espèces retrouvées dans une placette de 10 m² disposée dans une zone enherbée du cimetière. Ces deux protocoles sont réalisés par le CBNBP et ont été adaptés pour l'étude. Les botanistes du CBNBP ne se 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 à partir du 15 mai.

Les objectifs ici sont : (2.2.1.a.) de calculer les indicateurs de base tels que la richesse totale, celle par cimetière ; (2.2.1.b.) d'étudier les effets des variables explicatives sur l'ensemble de la flore retrouvée dans les cimetières ; (2.2.1.c.) d'étudier les effets des variables explicatives sur la flore de l'inter-tombe (Sauvages de ma rue) ; (2.2.1.d.) d'étudier les effets des variables explicatives sur la flore des prairies (Vigie-Flore) ; (2.2.1.e.) d'étudier les effets des variables explicatives sur les traits floraux des espèces retrouvées dans les cimetières ; (2.2.1.f.) de comparer les données de la flore présente dans les prairies des cimetières avec celle retrouvée dans d'autres milieux ; (2.2.1.g.) de comparer les données de la flore des prairies (VF) avec celles de l'espace 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 (Cettia) 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 l'année 2020, nous avons un total de 2 705 observations dont 1864 pour le protocole SDMR et 841 pour le protocole VF. Étant donné qu'il y a qu'un seul passage par an par cimetière, nous aurons un total de 45 collections (soit le nombre de sessions). Nous avons également récupéré la base de données nationale de VF, soit 110 294 observations (10 127 collections) pour la comparer au jeu de données VF des cimetières. Nous n'avons pas réalisé la même opération pour la flore de l'inter-tombe, car le protocole adapté pour l'étude des cimetières ne se limite pas aux espèces du protocole national SDMR. La comparaison n'étant pas robuste, nous effectuerons donc notre comparaison uniquement pour les prairies. Enfin, nous utilisons également une base de données de traits floraux fournis par le CBNBP. Celle-ci nous permet d'attribuer à chaque espèce retrouvée les traits de son écologie. Dans le cadre de notre étude, nous avons choisis d'étudier 5 traits floraux : l'héliophilie, la thermophilie, l'hygrophilie (atmosphérique et édaphique) et la nitrophilie.

2.2.2. Analyse des insectes pollinisateurs : SPIPOLL

Le programme SPIPOLL est mis en place pour inventorier les insectes pollinisateurs dans l'espace inter-tombe et dans les prairies. Ce protocole consiste à photographier et identifier tous les insectes visitant un massif floral d'une même espèce de plante pendant une durée de 20 minutes. Les conditions préalables à la réalisation du SPIPOLL sont la température (plein soleil ou $> 16^{\circ}\text{C}$) et le vent (faible ou nul). De plus, les plantes sur lesquelles sont réalisés les protocoles doivent correspondre à un certain morphotype floral afin d'améliorer la comparabilité des données. En effet, l'attractivité des plantes vis-à-vis des pollinisateurs est régie par un ensemble de caractéristiques dont certaines sont morphologiques, notamment la profondeur et la largeur de la corolle. Ainsi, pour chaque morphotype floral, un ensemble de pollinisateurs défini existe et est susceptible d'être attiré (Desaegher et al., 2019). Si nous ne prenions pas en compte cet élément-ci, nous pourrions rencontrer un biais en comparant des données récoltées sur des plantes peu attractives avec d'autres récoltées sur des plantes très attractives. Les morphotypes floraux sélectionnés sont PN et Pn+ car ils regroupent le plus de plantes retrouvables dans les cimetières (classification présentée en Annexe III). Deux sessions de quatre collections sont effectuées dont deux dans l'espace inter-tombe et deux dans les prairies. Le premier passage est réalisé entre le 20 mars et le 20 avril et le second entre le 20 juin et le 20 juillet. Le protocole est réalisé par le personnel de l'ARB îdF ou par des bénévoles associés au projet.

Les objectifs ici sont : (2.2.2.a.) de calculer les indicateurs de base tels que la richesse totale et celle par cimetière ; (2.2.2.b.) d'étudier les effets des variables explicatives sur les insectes pollinisateurs retrouvés dans les cimetières ; (2.2.2.c.) de comparer les données des insectes pollinisateurs des cimetières avec celles des autres milieux ; (2.2.2.d.) de comparer les données des pollinisateurs de l'espace inter-tombe avec celles des prairies.

Les données collectées utilisées correspondent aux morphogroupes (ensemble d'espèces cryptiques, difficilement discernables par photo) retrouvés pendant la réalisation des protocoles ainsi que leurs abondances («1», «entre 2 et 5», «plus de 5», «Je n'ai pas l'information»). Pour l'année 2020, nous avons un total de 3 347 observations, soit 346 collections (14 collections manquantes liées au confinement dû à la Covid-19 ou à l'absence de plantes dans les cimetières). S'agissant de la première année d'échantillonnage, la prise en compte des morphotypes floraux n'a pas été rigoureusement respectée. Les collections correspondant au type PN - que l'on nommera Classe 2 (C2) - sont au nombre de 77 et celles correspondant au type Pn+ - que l'on nommera Classe 4 (C4) - sont au nombre de 119. Pour ne pas gaspiller les 150 collections restantes (autres que C2 et C4), nous les ajouterons parfois à nos analyses malgré le risque de biais. Nous avons également récupéré la base de données nationale du SPIPOLL soit 475 157 observations (52 488 collections) pour la comparer à celle des cimetières.

2.2.3. Analyse des chiroptères : Vigie-Chiro

Le programme VC est mis en place pour détecter les chiroptères en utilisant une technique d'enregistrement ultrasonore. Les enregistreurs utilisés dans le cadre de l'étude sont des Audiomoths. Ils sont posés dans chaque cimetière pendant une nuit deux fois par an. La première session se déroule entre le 15 juin et 31 juillet et la seconde entre le 15 août et le 30 septembre. En 2020 toutefois, il n'y a eu qu'une session réalisée entre le 25 août et le 22 septembre en raison des conditions sanitaires liées à la Covid-19. Ces sessions sont réalisées par le personnel de l'ARB îdF en collaboration avec les gestionnaires des cimetières. Les chiroptères enregistrés sont par la suite identifiés par un logiciel d'identification automatique nommé Tadarida. Ces identifications sont validées en aval par un chiroptérologue spécialisé.

Les objectifs ici sont : (2.2.3.a.) de calculer les indicateurs de base tels que la richesse totale et celle par cimetière ; (2.2.3.b.) d'étudier les effets des variables explicatives sur les chiroptères retrouvés ainsi que sur certaines espèces préalablement sélectionnées ; (2.2.3.c.) de comparer les données des chiroptères des cimetières avec celles des autres milieux.

Les données collectées utilisées correspondent aux espèces retrouvées pendant la réalisation des protocoles ainsi que leurs nombres de contacts enregistrés. Ces nombres de contacts sont ajustés par une approche statistique pour s’émanciper des erreurs liées au logiciel Tadarida. Pour l’année 2020, nous avons un total de 189 observations, soit 36 collections. Les neuf collections manquantes sont liées soit à la non-réception des cartes microSD envoyées par les gestionnaires, soit à un problème de récupération des données dans la base VC. Nous avons également récupéré la base de données francilienne de VC, soit 12 681 observations (2 710 collections) pour la comparer à celle des cimetières. Nous avons aussi récupéré un travail d’analyse fait sur les données à l’aide du logiciel Galaxy par la chiroptérologue en charge du projet. Ce travail nous renseigne sur les heures, l’intensité et le type d’activité des chiroptères détectés dans les cimetières.

2.2.4. Analyse des mammifères terrestres : Mission Hérisson

Le programme MH est mis en place pour inventorier les mammifères terrestres - en l’occurrence les espèces de petite taille - en utilisant un tunnel à empreintes. Les tunnels développés et fournis par la LPO permettent de capter les empreintes d’animaux et ainsi de détecter leur présence dans les cimetières. Ils sont posés dans chaque cimetière pendant cinq nuits deux fois par an. La première session se déroule entre le 15 juin et 31 juillet et la seconde entre le 15 août et le 30 septembre. Ces sessions sont entièrement réalisées par les gestionnaires des cimetières qui posent et contrôlent les pièges en totale autonomie. Les feuilles où se trouvent les empreintes sont par la suite envoyées au personnel de l’ARB îdF qui se charge d’identifier les espèces.

Les objectifs ici sont : (2.2.4.a.) de calculer les indicateurs de base tels que les morphogroupes contactés, l’abondance totale et celle par cimetière ; (2.2.4.b.) d’étudier les effets des variables explicatives sur les mammifères terrestres retrouvés dans les cimetières et sur les hérissons plus précisément.

Les données collectées utilisées correspondent aux morphogroupes retrouvés pendant la réalisation des protocoles ainsi que leurs abondances. Pour l’année 2020, nous avons un total de 410 observations, soit 81 collections (9 collections manquantes liées à la non-réalisation des protocoles par les gestionnaires ou à la non-réception des relevés). Une observation correspond à deux feuilles posées pendant une nuit d’échantillonnage. Elle peut soit être vierge (richesse et abondance nulles) soit maculée d’empreintes. Nous n’avons par contre pas réussi à avoir à temps les données nationales de MH pour faire notre analyse comparative comme cela est réalisé sur les autres études.

2.3. Travail des données et création des indicateurs

2.3.1. Création des indicateurs

Pour réaliser nos analyses comparatives de milieux ainsi que l'étude des effets de nos variables explicatives sur nos jeux de données, nous avons utilisé ces différents indicateurs de biodiversité :

- *Richesse* (2.2.1 ; 2.2.2 ; 2.2.3) : Nombre total d'espèces (ou morphogroupes) retrouvées par collection. Les richesses ont été calculées en additionnant le nombre d'espèces uniques observées à chaque collection.
- *Indice de Shannon* (2.2.3) : Richesse spécifique pondérée par l'abondance de chaque espèce.
- *Originalité* (2.2.1 ; 2.2.2 ; 2.2.3) : Originalité moyenne des espèces (ou morphogroupes) retrouvées par collection. Les originalités ont été calculées en faisant la moyenne des indices d'originalité attribués à chaque espèce. Ces indices ont été définis manuellement en attribuant un rang à chaque espèce retrouvée en fonction de sa fréquence d'apparition. Plus le rang est faible, plus l'espèce apparaît fréquemment dans le jeu de données, et inversement. Ainsi, plus l'originalité moyenne est élevée, plus la collection est originale. Il s'agit d'un proxy de la rareté.
- *Originalité pondérée* (2.2.3) : Originalité pondérée par l'abondance de chaque espèce.
- *Abondance* (2.2.2 ; 2.2.4) : Nombre total d'individus observés par espèce (ou morphogroupe) 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.
- *Taux d'activité* (2.2.3) : Taux d'activité moyen des chiroptères retrouvés par collection. Les taux d'activité par collection ont été calculées en faisant la moyenne des taux d'activité de chaque espèce retrouvée. Les taux d'activité de chaque espèce, compris en 0 et 1, ont été créés en effectuant le calcul : n_i / N_i (i = espèce ; n = nombre de contacts ; N = nombre de contacts maximal retrouvé dans le jeu de données national). Il s'agit d'un proxy de l'abondance.
- *Occurrence* (2.2.3) : Nombre de cris enregistrés par une espèce de chiroptère pendant une nuit.
- *Rareté* (2.2.1) : Rareté moyenne des espèces (ou morphogroupes) retrouvées 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 Cettia.
- *Traits floraux* (2.2.1) : Pour obtenir une valeur de trait par collection, nous avons simplement fait une moyenne des indices du trait en question attribués à chaque espèce (données du CBNBP).

2.3.2. Travail des données nationales

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

- *Filtre phénologique* (2.2.1.f; 2.2.2.b; 2.2.3.b) : 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* (2.2.1.f; 2.2.2.b; 2.2.3.b) : nous conservons uniquement les collections comprises dans un buffer de 200km autour de Paris. Elles sont ainsi représentatives du climat francilien (Climat océanique dégradé). Pour VC, l'extraction est déjà faite à l'échelle francilienne.
- *Filtre de l'habitat* (2.2.1.f; 2.2.2.b; 2.2.3.b) : nous ne gardons que les collections correspondant aux habitats présents dans le jeu de données «cimetière» 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 VC, nous n'effectuerons pas de comparaison pour le milieu «Forêts et milieux semi-naturels» car ce milieu ne concerne que 3 données dans le jeu de données «cimetière» donc trop peu robuste.
- *Filtre protocolaire* (2.2.2.b) : Pour le SPIPOLL, nous conservons uniquement les données correspondant au même protocole soit le protocole flash durant exactement 20 minutes.
- *Filtre spécifique* (2.2.2.b) : Pour le SPIPOLL, nous retenons seulement les données collectées sur les morphotypes floraux C2 et C4. Néanmoins, comme expliqué en 2.2.2 p.22, 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 «cimetières» sont similaires.

2.4. Calculs, tests et modèles statistiques

2.4.1. Méthodologie pour les calculs basiques

(2.2.1.a; 2.2.2.a; 2.2.3.a; 2.2.4.a) La richesse totale et celle par cimetière sont obtenues en faisant la somme de toutes les espèces (ou morphogroupes) rencontrées dans les cimetières et par cimetière. Il s'agit du même calcul pour l'abondance totale et par cimetière sauf que l'espèce est supplantée par l'individu.

2.4.2. Méthodologie pour les analyses comparatives de milieux

(2.2.1.f; 2.2.1.g; 2.2.2.c; 2.2.2.d; 2.2.3.c) Pour les analyses comparatives entre les données nationales et les données «cimetières», nous utilisons un test de comparaison de moyenne non-paramétrique : le test de Wilcoxon. Notre hypothèse H0 ($p.value < 0.05$) démontrera qu'il n'y a pas de différence significative entre la biodiversité présente dans les cimetières et celles des autres milieux, tandis que l'hypothèse H1 ($p.value > 0.05$) démontrera l'inverse. Les tests peuvent se réaliser sur l'ensemble des données, par type de milieu (CLC) ou/et par type de classe (pour le SPIOLL). Cette méthodologie s'applique également pour les tests de comparaison entre l'inter-tombe et la prairie.

2.4.3. Méthodologie pour les modèles statistiques

(2.2.1.b ; 2.2.1.c ; 2.2.1.d ; 2.2.1.e ; 2.2.2.b ; 2.2.3.b ; 2.2.4.b) Pour analyser les effets de variables explicatives sur nos indicateurs de biodiversité, nous réalisons des modèles linéaires généralisés (GLM) avec une sélection descendante jusqu'à obtenir l'AIC (Akaike information criterion) le plus faible. Nous essayons en général d'inclure l'ensemble de nos variables explicatives dans les modèles. Lorsque le nombre de données n'est pas assez important, nous déterminons les variables explicatives à inclure avec un partitionnement hiérarchique pour éviter les problèmes liés au surparamétrage (maximum 10 données pour une 1 variable explicative). Nous n'incluons ni des variables corrélées ($r > 0.58$) comme celles évoquées en 2.1.7 page 20, ni des variables qui s'avéraient être colinéaires après un test VIF (Variance inflation factor). Les lois de nos modèles sont déterminées en fonction de la répartition des données (loi gaussienne ou loi de Poisson). Les soucis de sur-dispersion sont corrigés en effectuant une glm de type Negative Binomiale. S'il n'y a pas de soucis de sous-dispersion, nous ajustons les modèles avec des Anova de type II. Pour chaque modèle final, nous calculons son pourcentage explicatif (r^2) et nous comparons son AIC à celui d'un modèle nul. Si le modèle le plus parcimonieux possède un pourcentage explicatif supérieur à 20% et un AIC inférieur au modèle nul, alors celui-ci est retenu. Les p.values inférieures ou proches de 0.05 permettront de démontrer qu'une ou plusieurs variables jouent un rôle significatif sur l'un des indicateurs de biodiversité testés.

La construction des modèles, le choix des variables explicatives et des variables à expliquer ont toutefois pu différer en fonction des taxons étudiés. Voici une synthèse des modèles développés :

- *Flore vasculaire* : nous testons l'effet de l'ensemble des variables explicatives (à l'exception de la pollution lumineuse et de l'entomogamie) sur les indicateurs suivants : originalité, rareté, richesse et traits floraux (héliophilie, thermophilie, hygrophilie atmosphérique, hygrophilie

édaphique, nitrophilie). Ces indicateurs sont créés pour trois jeux de données : l'ensemble de la flore (SDMR + VF), la flore de l'inter-tombe (SDMR) et la flore des prairies (VF). Les indicateurs des traits floraux sont créés à partir de l'ensemble de la flore présente dans les cimetières indépendamment du type d'habitat. Les données des protocoles complémentaires ne sont pas prises en compte, car n'appartiennent pas à une méthode d'inventaire standardisée entre cimetières (effort et temps d'échantillonnage inégaux, choix non-aléatoire des espèces, etc.).

- *Insectes pollinisateurs* : nous testons l'effet de l'ensemble des variables explicatives (sauf la pollution lumineuse) sur les indicateurs suivants : richesse, abondance, originalité. Ces indicateurs sont créés pour trois jeux de données : l'ensemble des insectes pollinisateurs, les insectes pollinisateurs collectés sur les plantes C2 et les insectes pollinisateurs collectés sur les plantes C4. Nous avons en effet choisi de réaliser un test sur l'ensemble des insectes pollinisateurs indépendamment des classes de plante afin d'exploiter pleinement les 346 collections réalisées en 2020 comme expliqué en 2.2.2 p.22.
- *Chiroptères* : nous testons l'effet de l'ensemble des variables explicatives (sauf l'entomogamie) sur les indicateurs suivants : richesse, originalité, originalité pondérée, richesse de Shannon et taux d'activité. Ces indicateurs se basent sur l'ensemble des collections réalisées dans les cimetières. Nous réalisons également des tests sur des espèces sélectionnées à dire d'experts afin d'étudier plus précisément l'impact de l'environnement espèce par espèce. Les espèces choisies sont la Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*), la Pipistrelle de Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*), la Sérotine commune (*Eptesicus serotinus*) et la Noctule commune (*Nyctalus noctula*). Elles ont été choisies en fonction du nombre de données qu'elles représentaient et de leur écologie qui pouvaient varier (surtout *N. noctula* par rapport aux autres). Les indicateurs pour ces tests par espèce sont : occurrence et taux d'activité. Pour l'ensemble des modèles, nous souhaitions initialement utiliser l'approche du Model Averaging afin d'inclure la pollution lumineuse et l'urbanisation dans les mêmes modèles, mais cela fût impossible. En effet, le Model Averaging ne fonctionne pas s'il y a des données manquantes et nous en avons parfois. Nous avons donc procédé à chaque fois à la réalisation de deux modèles (un incluant la pollution lumineuse, l'autre l'urbanisation) et nous comparons les AIC pour déterminer lequel des deux étaient le plus parcimonieux.
- *Mammifères terrestres* : nous testons l'effet de l'ensemble des variables explicatives (sauf la pollution lumineuse et l'entomogamie) sur l'indicateur d'abondance. Cet indicateur est créé pour deux jeux de données : l'ensemble des mammifères terrestres et les hérissons seulement.

III. RÉSULTATS

3.1. 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 421 espèces pour l'année 2020. Si l'analyse s'effectue à l'échelle du cimetière lui-même, une grande disparité existe : le cimetière d'Arcueil héberge 117 espèces tandis que le cimetière de Bondoufle en accueille 49. La moyenne d'espèces par cimetière est d'environ 85 espèces. Une synthèse graphique de ces résultats se trouve en Annexe IV.

3.1.1. Analyses comparatives de milieux

Les cimetières semblent avoir une flore plus riche (agr. : $p = 0.0003$; urb. $p = 4.4e-10$) et originale (agr. : $p = 0.009$; urb. $p = 4.5e-16$) que le reste des milieux franciliens qu'ils soient agricoles ou urbains. En raison du trop faible nombre de données comme expliqué en 2.3.2 p.25, 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, ils semblent montrer que la richesse des collections est plus importante dans l'inter-tombe que dans la prairie ($p = 4.636e-15$), pareil pour la rareté ($p = 7.206e-05$) ainsi que l'originalité ($p = 6.699e-10$). La représentation graphique de ces résultats se trouve en Annexe V.

3.1.2. Études de l'effet des variables explicatives

Le Tableau 1 permet de synthétiser tous les résultats significatifs obtenus à la suite des GLM. Le détail des modèles et de leurs représentations graphiques se trouvent en Annexe VI. La hauteur de la végétation est la variable ressortant le plus (10 fois) : elle joue un effet négatif sur la rareté et l'originalité des prairies ainsi que sur l'héliophilie des plantes ; elle joue en revanche un effet positif sur la richesse de la flore globale, la richesse, la rareté et l'originalité de la flore de l'inter-tombe, sur l'hygrophilie atmosphérique, édaphique et la nitrophilie des plantes. Viennent ensuite la végétalisation, l'urbanisation et la connectivité de la trame verte ressortant 4 fois, puis plus rarement la rémanence d'herbicides (2 fois) et l'ancienneté (1 fois). Seul le modèle de la richesse de la flore des prairies ne possédait pas un pourcentage explicatif assez élevé pour exploiter ses résultats.

A. Flore globale - SDMR + VF :

1. *Richesse* : Connectivité TV (+) ; Hauteur de végétation (+) ; Urbanisation (-)
2. *Rareté* : Hauteur de la végétation (-) ; Urbanisation (+)
3. *Originalité* : Végétalisation (+) ; Connectivité TV (+) ; Rémanence d'herbicides (+)

B. Flore de l'inter-tombe - SDMR :

1. *Richesse* : Connectivité TV (+) ; Végétalisation (+) ; Hauteur de la végétation (+)
2. *Rareté* : Urbanisation (+) ; Hauteur de la végétation (+) ; Ancienneté (+)
3. *Originalité* : Hauteur de la végétation (+) ; Végétalisation (+) ; Rémanence d'herbicides (-) ;
Connectivité TV (+)

C. Flore des prairies - VF :

1. *Richesse* : Aucune ($r^2 < 20\%$)
2. *Rareté* : Hauteur de la végétation (-)
3. *Originalité* : Hauteur de la végétation (-)

D. Traits floraux - SDMR + VF :

1. *Héliophilie* : Hauteur de la végétation (-) ; Végétalisation (-)
2. *Thermophilie* : Urbanisation (+)
3. *Hygrophilie atm.* : Hauteur de la végétation (+)
4. *Hygrophilie éda.* : Hauteur de la végétation (+)
5. *Nitrophilie* : Hauteur de la végétation (+)

Tableau 1 : Synthèse des modèles linéaires généralisés testant l'effet des variables explicatives sur la flore globale des cimetières (A), l'inter-tombe à partir du protocole SDMR (B), les prairies à partir du protocole VF (C) et les traits floraux (D)

3.2. Résultats des analyses pour les insectes pollinisateurs

Pour l'année 2020, 175 morphogroupes d'insectes pollinisateurs ont été retrouvés dans les cimetières. Le morphogroupe le plus commun est représenté par le groupe des Mouches difficiles à déterminer puis des Halictes femelles, les plus rares par les Lomaties ou encore les Stratiomes verts. La richesse maximale obtenue est de 53 morphogroupes à Fontainebleau et la minimale de 15 morphogroupes à Pantin. Une synthèse graphique de ces résultats se trouve en Annexe VII.

3.2.1. Analyses comparatives de milieux

Après avoir réalisé des tests sur l'ensemble des données, par milieu (CLC & Prairie/Inter-tombe) et/ou par classe, les tendances suivantes se dessinent (détails et graphiques en Annexe VIII) :

- Global : Les cimetières, de manière générale, ont des cortèges moins originaux (1/3 tests), parfois plus originaux (1/3), plus abondants (1/3), que dans les espaces autres que les cimetières.
- CLC : Les cimetières de zone agricole semblent moins originaux (2/3), moins abondants (1/3) que les autres milieux agricoles. Les cimetières urbains semblent plus riches (2/3), plus originaux (1/3), plus abondants (2/3) que les autres milieux urbains. Pas de différence pour le milieu naturel.
- Prairie/Inter-tombe : Les zones prairiales semblent être plus riches (1/3), plus originales (1/3) et plus abondantes (1/3) que les inter-tombes.

3.2.2. Études de l'effet des variables explicatives

Le Tableau 2 permet de synthétiser tous les résultats significatifs obtenus à la suite des GLM. Le détail des modèles et de leurs représentations graphiques se trouvent en Annexe IX. Quatre des neuf modèles ne possédaient pas un r^2 assez élevé pour exploiter leurs résultats. Les variables ressortant le plus sont l'urbanisation, la pression d'entretien, l'ancienneté et la rémanence d'herbicides. La connectivité de la trame verte et la végétalisation jouent un rôle dans une moindre mesure.

A. Général - 346 collections :

1. Richesse : Aucune ($r^2 < 20\%$)
2. Abondance : Aucune ($r^2 < 20\%$)
3. Originalité : Aucune ($r^2 < 20\%$)

B. C2 - 77 collections :

1. Richesse : Aucune ($r^2 < 20\%$)
2. Abondance : Végétalisation (-) ; Ancienneté (-) ; Pression d'entretien (+)
3. Originalité : Urbanisation (-)

C. C4 - 119 collections :

1. Richesse : Rémanence d'herbicides (+) ; Connectivité TV (-) ; Hauteur de la végétation (-)
2. Abondance : Pression d'entretien (+) ; Rémanence d'herbicides (+)
3. Originalité : Ancienneté (-) ; Pression d'entretien (-) ; Urbanisation (+)

Tableau 2 : Synthèse des modèles linéaires généralisés testant l'effet des variables explicatives sur l'ensemble des pollinisateurs (A), les pollinisateurs collectés sur les plantes C2 (B) et les pollinisateurs collectés sur les plantes C4 (C)

3.3. Résultats des analyses pour les chiroptères

Pour l'année 2020, 15 espèces ont été retrouvées dans les cimetières : Barbastelle d'Europe (*Barbastella barbastellus*), Grand Murin (*Myotis myotis*), Murin à oreilles échanquées (*Myotis emarginatus*), Murin à moustaches (*Myotis mystacinus*), Murin de Daubenton (*Myotis daubentonii*), Murin de Natterer (*Barbastella barbastellus*), Noctule commune (*N. noctula*), Noctule de Leisler, (*Nyctalus leisleri*), Oreillard gris (*Plecotus austriacus*), Oreillard roux (*Plecotus auritus*), Pipistrelle commune (*P. pipistrellus*), Pipistrelle de Kuhl (*P. kuhlii*), Pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*), Pipistrelle soprane (*Pipistrellus pygmaeus*) et Sérotine commune (*E. serotinus*). La richesse maximale obtenue est de 14 espèces à Nonville et la minimale d'une espèce au cimetière parisien de Montparnasse. Une synthèse graphique de ces résultats se trouve en Annexe X.

3.3.1. Analyses comparatives de milieux

L'originalité des chiroptères présents dans les cimetières est significativement supérieure ($p = 0.005$) au reste des milieux franciliens tandis que l'originalité pondérée est meilleure cette fois dans les données franciliennes ($p = 0.090$). En comparant les données des cimetières urbains avec les données VC des zones urbaines d'Île-de-France, l'originalité reste supérieure dans les cimetières ($p = 0.001$) ainsi que le taux d'activité ($p = 0.051$). En ce qui concerne le territoire agricole, aucune différence significative n'existe entre les cimetières et les autres milieux appartenant à cet espace. La représentation graphique de ces résultats se trouve en Annexe XI.

3.2.2. Études de l'effet des variables explicatives

Le Tableau 3 permet de synthétiser tous les résultats significatifs obtenus à la suite des GLM. Le détail des modèles et de leurs représentations graphiques se trouvent en Annexe XII. En ce qui concerne les indicateurs globaux, les modèles contenant la pollution lumineuse sont les plus parcimonieux lorsqu'ils s'appliquent sur la richesse et la richesse de Shannon des chiroptères. Cette variable impacte négativement ces indicateurs. Les modèles contenant l'urbanisation (avec souvent la connectivité de la trame verte liée) sont par contre les plus parcimonieux lorsqu'ils s'appliquent sur l'originalité et le taux d'activité des chiroptères. Ces deux variables impactent également de manière négative ces indicateurs. Lorsqu'ils ne sont pas les plus parcimonieux, les modèles avec la pollution lumineuse ou l'urbanisation restent toutefois très proches. Les différences d'AIC n'excèdent jamais un delta de ~ 2 à l'exception de la richesse de Shannon où le modèle avec la pollution lumineuse reste bien

plus vraisemblable que celui avec l'urbanisation (AIC avec pollution lumineuse = 18.683 ; AIC avec urbanisation = 23.279). Les résultats par espèce montrent que les espèces réagissent différemment aux variables explicatives.

A. Indicateurs globaux - Dans l'ordre de parcimonie :

- 1. *Richesse* : 1 / Pollution lumineuse (-) ; 2 / Urbanisation (-) et Connectivité TV (-)
- 2. *Originalité* : 1 / Urbanisation (-) et Connectivité TV (-) ; 2 / Pollution lumineuse (-)
- 3. *Originalité pond.* : Ancienneté (-) et Connectivité TV (-)
- 4. *Indice de Shannon* : 1 / Pollution lumineuse (-) ; 2 / Urbanisation (-)
- 5. *Taux d'activité* : 1 / Urbanisation (-) et Connectivité TV (-) ; 2 / Pollution lumineuse (-)

B. Activité par espèce - Taux d'activité (A) et Occurrence (O) :

- 1. *P. pipistrellus* : A / Ancienneté (-) ; O / Ancienneté (-) et Connectivité TV (-)
- 2. *P. kuhlii* : A / Rémanence d'herbicides (+) ; O / Pression d'entretien (-)
- 3. *E. serotinus* : A / Pression d'entretien (-)
- 4. *N. noctula* : A / Pollution lumineuse (-) ; O / Pollution lumineuse (-)

Tableau 3 : Synthèse des modèles linéaires généralisés testant l'effet des variables explicatives sur les indicateurs globaux (A) et sur l'activité par espèce de chiroptère (B)

3.4. Résultats des analyses pour les mammifères terrestres

Le protocole MH a permis de détecter en 2020 la présence de hérissons, de micro-mammifères regroupant mulots, musaraignes et campagnols, de rats et de belette/hermine dans les cimetières. La présence de chats domestiques est également notable dans les cimetières. Ces mammifères ont été détectés sur 29 des 43 cimetières étudiés. Le cimetière de Mitry-Mory est celui ayant répertorié le plus de passage d'individus. Une synthèse graphique de ces résultats se trouve en Annexe XIII.

Les résultats des modèles montrent que (1) la hauteur de végétation impacte positivement l'abondance de mammifères terrestres dans les cimetières et (2) que l'urbanisation impacte positivement et la végétalisation négativement l'abondance des hérissons dans les cimetières. Le détail des modèles et de leurs représentations graphiques se trouvent en Annexe XIV. Une analyse complémentaire a également été réalisée pour étudier l'impact des chats sur les autres mammifères des cimetières (Annexe XV).

IV. DISCUSSION

Dans un premier temps, avant de discuter des résultats obtenus, il est bon de commenter directement notre méthodologie basée sur des programmes de sciences participatives. En effet, utiliser ces programmes standardisés pour inventorier un taxon lorsque nous sommes des professionnels qualifiés n'est pas un problème. En revanche, comparer nos données collectées avec celles du grand public pourrait présenter un risque de fiabilité si l'on prend en compte les biais relatifs à un observateur «amateur» et son manque potentiel de rigueur (Law et al., 2017). Les sciences participatives étant ouvertes à tout public, il se pourrait ainsi qu'en dépit des problèmes précités, de nombreuses données faussées, comme par exemple une mauvaise identification d'espèce, se retrouvent dans le lot de données utilisées pour nos comparaisons. Seulement, ici, cela ne pose pas de réels problèmes, car les jeux de données sont tellement conséquents (SPIPOLL - 475 157 observations ; VF - 110 294 obs. ; VC - 12 681 obs. franciliennes) que ceux-ci absorbent largement ce biais pour mettre en évidence les tendances globales observées. Dans tous les cas, les observateurs sont aidés dans leurs identifications à l'aide de guides ou de logiciels directement intégrés aux programmes. Plus encore, pour ce qui est des identifications des insectes pollinisateurs comme avec le SPIPOLL, elles sont contrôlées et validées par au moins trois personnes issues de la communauté d'experts et de bénévoles du programme pour qu'elles soient enregistrées dans la base nationale. En ce qui concerne VC et VF, le risque de retrouver des données faussées est encore plus rare, car ces programmes sont en général utilisés par des naturalistes aguerris. Enfin, pour ce qui est de tous les autres problèmes caractéristiques des jeux de données provenant des sciences participatives, ils sont pris en compte lors de l'établissement des programmes et sont, dans tous les cas, corrigés après de longues étapes de normalisation de données. Après toutes ces étapes, les données issues des programmes de sciences participatives deviennent fiables et robustes et nous permettent de répondre à des questions, qu'il aurait été plus complexe d'élucider, sans l'implication du grand public (Peter et al., 2019 ; Chandler et al., 2016 ; Donnelly et al., 2014).

En dehors de notre méthodologie, il est aussi important de préciser que la partie Discussion se base sur les résultats de la seule année 2020. Aucune interprétation ne doit alors être comprise comme une conclusion de l'étude. Les réelles conclusions apparaîtront en 2023 et seront, grâce au nombre de données collectées, bien plus robustes. Ainsi, de nombreuses propositions et perspectives d'amélioration jalonnent cette partie et serviront de pistes aux trois prochaines années d'analyse.

4.1. L'écosystème «cimetière»

4.1.1. Biodiversité du cimetière

En 2020, on recense dans les 45 cimetières étudiés : 175 morphogroupes d'insectes pollinisateurs, 421 espèces de plantes vasculaires, 15 espèces de chiroptères et 4 morphogroupes de mammifères terrestres. Ces milieux sont donc capables d'abriter un nombre important d'espèces. En comparaison avec les autres milieux adjacents, qu'ils soient agricoles ou urbains, les cimetières semblent avoir une flore prairiale plus riche et originale. Il se pourrait que le fleurissement des cimetières par les gestionnaires entraîne une diversité et une originalité plus importantes que celles retrouvées dans les autres milieux possédant quant à eux une composition peut-être plus homogène. Concernant les insectes pollinisateurs : en zone agricole, les cimetières accueillent moins d'espèces en termes d'abondance et d'originalité que dans les autres milieux ; en zone urbaine, ils accueillent plus d'espèces, souvent plus originales et plus abondantes. Le premier résultat semble donc montrer que les milieux de zone agricole restent plus intéressants pour les pollinisateurs en termes d'habitat. En revanche, le second semble montrer que les cimetières urbains leur sont des espaces favorables. L'association entre le minéral pour nicher et la flore pour se nourrir permettraient ainsi aux insectes des cimetières de s'épanouir dans les cimetières urbains. Enfin, les chiroptères des cimetières sont globalement équivalents à ceux retrouvés ailleurs. En revanche, en ville, on observe une abondance plus importante dans les cimetières que dans les autres espaces urbains. Le fait que les cimetières soient éteints et fermés la nuit pourrait être une piste de réponse.

4.1.2. Inter-tombes et prairies

D'abord, il semblerait que la richesse, la rareté et l'originalité des plantes soient plus importantes dans l'inter-tombe que dans la prairie. Ce résultat pourrait soit être lié à la méthodologie d'échantillonnage (le protocole SDMR permet peut-être de capter plus d'espèces que VF), soit à l'hétérogénéité spatiale et la minéralité de l'inter-tombe qui permettrait le développement de plus d'espèces dont certaines plus rares (voir 4.2.1 p.36). Pour les pollinisateurs, il semble que les prairies favorisent leur richesse, leur abondance et leur originalité. Cette tendance pourrait s'expliquer par l'offre floricole plus importante apportée par ce milieu. Pour compléter ces analyses, il serait intéressant de réaliser dans le futur des analyses de dissimilarité (Bray-Curtis par ex.) pour observer les différences de composition entre ces deux milieux. Enfin, comparer les traits floraux de ces deux habitats permettrait d'observer leurs différences sur le plan abiotique (température, lumière, hygrométrie, etc.). Cette analyse pourrait se réaliser par des tests de comparaison de moyenne de traits ou par des analyses canoniques des correspondances (ACC).

4.2. Géographie des cimetières et biodiversité

4.2.1. Urbanisation et biodiversité

En vertu des résultats obtenus sur l'urbanisation, nous observons que cette variable touche l'ensemble des taxons, mais de différentes manières. D'abord, nous observons que les cimetières situés en milieu urbain disposent de densités moins importantes de chiroptères et d'espèces moins rares. En effet, l'urbanisation semble jouer un rôle négatif sur l'originalité (proxy de la rareté) et le taux d'activité (proxy de l'abondance) des collections VC réalisées dans les cimetières. Plusieurs raisons peuvent expliquer ce phénomène. D'abord, les milieux urbains se caractérisent par une réduction des habitats favorables à la biodiversité et une diminution de la connectivité entre habitats (Wilcove et al., 1986 ; Fischer & Lindenmayer, 2007). Cela entraîne *de facto* une entrave à la dispersion et au mouvement des espèces ainsi qu'une attractivité moindre en raison de la faible quantité de ressources disponibles et de la difficulté à se reproduire et s'implanter. Il s'agit d'un des principaux mécanismes conduisant au déclin global de la biodiversité (McKinney, 2002) et notamment celui des chauves-souris (Russo & Ancillotto, 2015). En effet, ces dernières sont particulièrement touchées par l'ensemble des problèmes précités ainsi que par la faible quantité de linéaires arborés qu'elles utilisent pour leur déplacement par écholocation (Hale et al., 2012 ; Bontadina et al. 2008 ; Fuentes-Montemayor et al., 2013 ; Fukui et al. 2006). Cet aspect est davantage développé à la partie 4.2.2 (p. 37). Il existe toutefois des disparités entre espèces : certaines espèces comme *P. pipistrellus* arrivent bien mieux à s'adapter aux milieux urbains que les autres espèces malgré les contraintes qu'ils imposent (Arthur & Lemaire, 2015 ; Catto et al., 1996). Nous retrouvons d'ailleurs cette tendance dans nos résultats, car l'originalité pondérée (prenant en compte le taux d'activité des espèces) de nos collections n'est pas impactée par l'urbanisation en raison des plus fortes densités de *P. pipistrellus* qui élèvent le niveau d'originalité pondérée des collections. Nos résultats, démontrant les impacts de l'urbanisation sur les chiroptères des cimetières, sont donc cohérents et rejoignent ceux d'autres études comme celle réalisée en Tchéquie dans le centre-ville de Brno (Gaisler et al., 1998) ou celle réalisée dans le centre-ville de Lille (Laforge et al., 2018). La pollution lumineuse, corrélée bien évidemment à l'urbanisation, est aussi un des problèmes pouvant impacter les chiroptères des cimetières (voir partie 4.2.3, p. 38).

Pour la flore, nous observons dans nos résultats que le milieu urbain engendre une flore plus rare dans les cimetières et notamment dans l'inter-tombe. Après l'analyse des traits floraux, ce milieu favorise davantage les plantes thermophiles (plus le milieu est urbain, plus la flore supporte la chaleur). Ce pattern

est typique des milieux urbains, qui présentent généralement une température plus élevée que dans les milieux ruraux (Oke, 1967). Ce phénomène microclimatique, lié à l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU), varie en fonction de plusieurs paramètres : matériaux et densité des infrastructures (accumulation de la chaleur, albédo), agencement du bâti (circulation de l'air), activités humaines (chauffage, climatisation, industries, circulation automobile, éclairage...), présence d'eau et de végétation (évaporation et évapotranspiration, ombrage). En corollaire, cela entraîne des espèces de plantes adaptées à de plus fortes températures (Williams et al., 2015 ; Pyšek, 1998 ; Desaegher et al., 2019). C'est certainement pour cette raison que nous retrouvons dans nos résultats une flore plus rare dans les cimetières urbains, car présentant une écologie typique de zones plus méridionales. La forte minéralité de l'inter-tombe, entraînant forcément une hausse encore plus importante des températures dans ce micro-habitat, figure également comme un argument pour expliquer la rareté des plantes présentes dans ce milieu. En revanche, même si le cortège floristique est plus original en ville, il demeure moins riche. En effet, les difficultés sont multiples pour s'adapter à ce milieu : imperméabilisation des sols, altération des processus de dissémination des graines et de pollinisation (Aguilar et al., 2006), élévation locale des températures.

En ce qui concerne les études faites à partir du protocole MH, nous obtenons une corrélation positive entre l'abondance de hérissons et l'indice d'urbanisation des cimetières. Ainsi, plus un cimetière est en milieu urbain, plus il y a de hérissons détectés. Ces résultats sont cohérents avec le bilan national de 2020-2021 du programme MH : 71% des tunnels placés en zone urbaine ont détecté la présence du hérisson contre moins de 50% en zone agricole, prairiale et forestière (LPO, 2021). Plusieurs études ayant observé les mêmes tendances expliquent principalement ce phénomène par la température plus élevée en ville pouvant favoriser le succès de l'hibernation des hérissons (Jackson, 2007 ; Kristiansson, 1990 ; Cherel et al., 1995 ; Hubert et al., 2011) ainsi que par l'apport de ressources en ville grâce aux déchets et aux propriétaires d'animaux de compagnie (Morris, 1985 ; Hubert et al., 2011). D'autres expliquent également cette tendance par une diminution de la prédation en raison de l'absence de prédateurs en ville tels que les blaireaux (Hof & Bright, 2009 ; Poel et al., 2015) et par la présence plus conséquente de gîtes d'hibernation potentiels en ville (arbustes denses, sous-sols, hangars, ...) que dans les paysages ruraux homogènes (Wania et al., 2006 ; Hubert et al., 2011).

Au niveau des résultats sur les insectes pollinisateurs, nous obtenons un effet positif de l'urbanisation sur l'originalité des collections faites sur les plantes C4, mais négatif sur l'originalité des collections faites sur les plantes C2. Cet antagonisme nous empêche ainsi d'inférer une tendance.

Dans la bibliographie, il est prouvé que les milieux urbains peuvent accueillir des espèces d'abeilles rares, car thermophiles, en raison du phénomène d'ICU ([Banaszak-Cibicka, 2013](#)). Pour comprendre pourquoi les classes de plantes créent une différence de résultats, il faudrait produire des réseaux d'interaction entre ces dernières et les insectes pollinisateurs. En analysant par la suite les traits écologiques des pollinisateurs, il serait ainsi possible de déterminer si une classe de plante attire davantage d'insectes thermophiles (et donc plus rares) qu'une autre.

4.2.2. Connectivité du paysage et biodiversité

Même si l'effet de la fragmentation du paysage sur la biodiversité des cimetières est abordé en 4.2.1 (p. 35) car inclus dans l'impact global de l'urbanisation, nous avons voulu isoler son effet à l'aide de notre indice de connectivité de la trame verte basé sur la cartographie Ecoline. Mais devant l'incohérence et l'hétérogénéité de certains résultats (la connectivité de la trame verte impacte négativement l'originalité et l'abondance des chiroptères, positivement la richesse et l'originalité de la flore globale et de l'inter-tombe et négativement la richesse des insectes pollinisateurs collectés sur les plantes C4), nous remettons en question la robustesse de notre variable. En effet, l'indice de connectivité de la trame verte créé présente notamment deux problèmes : (1) il ne se base que sur des milieux de taille inférieure ou égale à 25m (de longueur et largeur), édulant de fait les milieux plus importants pouvant aussi servir de connectivité aux espèces (bosquets, forêts, prairies...) ; (2) il indique la présence d'une trame verte sans faire de distinction de typologies ni de strates, ce qui ne permet pas de créer un indicateur de connectivité adapté à chaque taxon (les chiroptères sont plus sensibles aux linéaires arborés tandis que les insectes pollinisateurs aux milieux prairiaux par exemple). Nous estimons alors que les résultats obtenus sont des artefacts qui ne permettent pas d'ajouter des conclusions autres que celles obtenues en 4.1.1. Il faut alors recréer l'indice de connectivité de la trame verte en (1) développant un indice adapté par taxon en étudiant les types de milieux favorables à la circulation de chaque taxon et (2) en ajoutant les données du Mos et de l'Ecomos (cartographie détaillée des milieux naturels en IDF) pour prendre en compte chaque corridor potentiel indépendamment de leurs tailles autour des cimetières. Il serait également intéressant de réaliser des indices de connectivité de la trame bleue en utilisant la même méthodologie. En effet, certaines études démontrent que les corridors aquatiques sont très importants pour les chiroptères, notamment certaines espèces comme *Pipistrellus nathusii* et *Myotis daubentonii* ([Laforge et al., 2018](#) ; [Bellamy et al., 2013](#) ; [Gaisler et al., 1998](#) ; [Fukui et al., 2006](#) ; [Flaquer et al., 2009](#) ; [Fonderflick et al., 2015](#) ; [Dietz et al., 2009](#)). Nous pourrions alors évaluer si les éléments de la trame bleue jouent également un effet sur les chiroptères retrouvés dans les cimetières.

4.2.3. Pollution lumineuse et biodiversité

Nos résultats obtenus permettent de prouver que les chiroptères présents dans les cimetières répondent négativement à la pollution lumineuse, et ce, parfois davantage que l'urbanisation. En effet, la richesse (richesse et richesse de Shannon) des collections chute lorsque la pollution lumineuse autour des cimetières augmente. Cette tendance est expliquée dans la bibliographie par l'existence d'espèces lucifuges comme celles des genres *Myotis* spp., *Rhinolophus* spp. et *Plecotus* spp. qui cherchent systématiquement à fuir les zones éclairées (Stone et al., 2009, 2012 ; Boldogh et al., 2007 ; Kuijper et al., 2008). Ces espèces, adaptées pour se nourrir dans une végétation dense disposent d'un vol lent les exposant ainsi, lorsqu'il y a de l'éclairage, à un risque accru de prédation par les hiboux ou les autres rapaces (Jones & Rydell, 1994 ; Rydell et al., 1996). La pollution lumineuse crée également un phénomène d'entrave au déplacement de ces espèces (Hale et al., 2015) ainsi que des perturbations négatives sur leur rythme d'alimentation (Downs et al., 2003 ; Boldogh et al., 2007). Nos résultats par espèce ont d'ailleurs montré que l'abondance de *N. noctula*, ne faisant toutefois pas parti des genres précités, est sensible à la pollution lumineuse. Cette espèce, normalement connue pour être tolérante à la lumière (Lacoeuilhe et al., 2014), pourrait selon les dernières études y être sensible (Voigt et al., 2020), ce qui rendrait nos résultats cohérents. Nos résultats montrent également que le reste de nos espèces étudiées à savoir *P. pipistrellus*, *P. kuhlii* et *E. serotinus* ne sont pas sensibles à la pollution lumineuse. Ces résultats sont également cohérents, car ces espèces, à la différence des précédentes, sont connues pour aimer chasser en milieu éclairé et profiter des concentrations d'insectes autour des spots lumineux (Laforge et al., 2018 ; Rydell, 1992 ; Blake et al., 1994 ; Lacoeuilhe et al., 2014).

4.3. Végétalisation des cimetières et biodiversité

4.3.1. Végétalisation des cimetières et biodiversité

Concernant la végétalisation des cimetières, elle semble d'abord jouer un rôle évident sur la flore des cimetières. En effet, nos résultats indiquent que la flore globale des cimetières est plus originale lorsque le milieu est plus végétalisé. Ils informent aussi que l'inter-tombe est bien plus sensible à la végétalisation que les prairies. Ce résultat est totalement cohérent et n'a pas besoin d'être corroboré par d'autres études : plus on laisse la végétation se développer, plus il y a de chance de trouver de nouvelles espèces, dont certaines plus originales. Par rapport aux traits floraux, les résultats semblent montrer que la végétalisation des cimetières impacte négativement les plantes nitrophiles

(orties, ronces, pissenlits, etc.) et héliophiles. En général, il s'agit des milieux riches en azote (dépôts de polluants atmosphériques, nitrates et engrais) qui sélectionnent davantage les végétaux nitrophiles (Pellissier et al., 2008). C'est souvent pour cette raison que l'on retrouve plus de plantes nitrophiles en milieu urbain que dans les autres milieux (Matthies et al., 2015 ; Huwer & Wittig, 2013). Nous proposons donc deux explications pour interpréter ce résultat : (1) les cimetières les plus végétalisés limitent l'existence de plantes nitrophiles car il y a moins de gestion, moins d'engrais et la forte végétation en place filtre déjà l'azote présent, ou à l'inverse (2), les cimetières les plus végétalisés sont plus entretenus et les gestionnaires se chargent de détruire systématiquement les plantes nitrophiles, souvent non désirées. En ce qui concerne l'héliophilie, l'interprétation peut-être la suivante : plus il y a de la végétation, plus les plantes s'engagent dans une compétition pour la lumière (Aschehoug et al., 2016), ce qui peut amener certaines plantes à privilégier des techniques pour devenir tolérante à l'ombre (Gommers et al., 2013). Il en résulterait une diminution progressive de l'héliophilie. Des investigations supplémentaires seraient toutefois utiles pour mieux comprendre ces résultats.

Vis-à-vis des autres taxons, nous observons d'abord que les chiroptères ne semblent pas sensibles à la végétalisation des cimetières. Nous trouvons aussi que les insectes pollinisateurs collectés sur les plantes C2 semblent impactés négativement en termes d'abondance par la végétalisation. Ce résultat, qui nous semble incohérent sur le plan écologique (la végétalisation apporte des ressources et donc favoriserait les pollinisateurs), est en réalité un artefact de la modélisation car la représentation graphique de cette corrélation montre une relation nulle (voir Annexe IX). Enfin, les hérissons semblent être plus abondants dans les cimetières moins végétalisés, et donc, plus minéralisés. Ce résultat peut paraître assez surprenant, car les hérissons trouvent leur nourriture dans la litière du sol (Hubert et al., 2011). La forte minéralité des cimetières devrait donc les empêcher de trouver des ressources. Un rapprochement entre ce résultat et les études présentées en 4.1.1 p.36 pourrait alors être la clef de l'explication. Par exemple, il se pourrait que 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 discussion de ce résultat devra donc être approfondie dans les futures années.

4.3.2. Hauteur de végétation des cimetières et biodiversité

La hauteur de végétation semble également jouer un rôle important sur la flore des cimetières. Elle semble d'abord défavoriser la rareté de l'ensemble de la flore des cimetières ainsi que la rareté et l'originalité de la flore des prairies. En effet, certaines 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., 2004). En revanche, la hauteur de végétation semble jouer un rôle positif sur la richesse de la flore globale et la richesse, la rareté et l'originalité de la flore de l'inter-tombe. Après analyse des représentations graphiques (Annexe VI), seul le graphique sur l'originalité de la flore de l'inter-tombe corrobore ces résultats, les autres présentant des relations nulles et donc des artefacts des modélisations. Seule l'originalité de la flore de l'inter-tombe est donc influencée réellement par la hauteur de végétation. Étant donné qu'il ne peut y avoir de végétation haute dans l'inter-tombe (grands ligneux), l'interprétation est plus complexe à réaliser, car le lien de causalité est confus. Des investigations supplémentaires doivent donc être réalisées. Ensuite, vis-à-vis des traits floraux, nous obtenons la tendance suivante : plus la végétation du cimetière est haute, plus elle est hygrophile (sur le plan atmosphérique et édaphique) et nitrophile et moins elle est héliophile. D'abord, le résultat sur l'hygrométrie est totalement cohérent avec la bibliographie, qui explique que la végétation élevée transpire davantage et ainsi, humidifie le milieu dans lequel elle se trouve (Lee et al., 2016 ; Bowler et al., 2010 ; Coutts et al., 2015 ; Klemm et al., 2015 ; Mullaney et al., 2015 ; Shashua-Bar et al., 2011). Cette fonction d'évapotranspiration est proportionnelle à la surface foliaire de la plante et donc sa hauteur. En ce qui concerne la nitrophilie, l'apport conséquent de matière organique morte par une végétation plus haute augmente forcément la quantité d'azote présente dans le sol grâce au processus de nitrification (Tirard et al., 2016). Ceci, enrichissant un sol - potentiellement déjà riche - peut être la raison pour laquelle une végétation haute attire davantage d'espèces nitrophiles. Enfin, pour l'héliophilie, notre raisonnement est exactement le même qu'avec la végétalisation : une végétation élevée autour des prairies et de l'inter-tombe devrait favoriser davantage les espèces herbacées tolérantes à l'ombre plutôt que celles héliophiles.

Nous observons également une corrélation positive entre la hauteur de végétation et l'abondance de l'ensemble des mammifères terrestres étudiés. Il se pourrait alors qu'une végétation haute garantisse à ces espèces un meilleur camouflage et donc une meilleure protection vis-à-vis des prédateurs. Cet effet de protection lié à la couverture d'une végétation haute a déjà été prouvé pour certaines espèces de mammifères comme le hamster d'Europe (*Cricetus cricetus*) ou encore le cobaye du Brésil (*Cavia aperea*) voire d'autres espèces (Villemey et al., 2013 ; Cassini & Galante, 1992 ; Zungu et al., 2020 ; Waser, 1975). Enfin, la richesse des insectes pollinisateurs collectés sur les plantes C4 semble être affectée négativement par une végétation haute. Ce résultat est également cohérent car les pollinisateurs préfèrent, en général, les milieux ouverts aux milieux fermés (Le Féon, 2010).

4.4. Autres résultats discutables et perspectives d'amélioration

Au vu des résultats anarchiques de la pression d'entretien et de la rémanence d'herbicides, nous pensons que nos variables ne sont actuellement pas assez robustes pour répondre à nos hypothèses. Même si nous obtenons parfois des résultats cohérents, nous estimons qu'il serait utile d'améliorer ces variables pour faire davantage confiance aux résultats. D'abord pour la rémanence, il serait plus judicieux de procéder à une étude toxicologique des sols des cimetières pour évaluer les concentrations d'herbicides plutôt que d'estimer simplement la rémanence en fonction du temps de non-utilisation de ces produits. Plusieurs études estiment les concentrations de ces produits par ce type d'analyse du sol ([Monard et al., 2008, 2013](#) ; [Givaudan et al., 2014](#)). En ce qui concerne la pression d'entretien, la variable actuelle n'est pas assez fine, car celle-ci prend en compte l'ensemble du temps passé à gérer le cimetière, ce qui comprend la taille des arbres, le ramassage des déchets, etc. Le mieux serait de réussir à obtenir le volume horaire dédié seulement au désherbage. Seulement, étant donné que le nombre d'heures précis de chaque type d'entretien est très difficile à obtenir par les gestionnaires, il serait alors plus simple de supplanter notre variable quantitative par une variable catégorielle. Nous aurons certainement assez de données à la fin de l'étude pour exploiter ce type de variable et ainsi déterminer si un type de désherbage employé dans le cimetière favorise ou non la biodiversité. Il faudra également prendre en compte que les pratiques de gestion évolueront pendant le temps de l'étude en raison de la mise en vigueur de l'interdiction de l'utilisation des herbicides dans les cimetières dès juillet 2022 ([JORF n° 0018 - Legifrance, 2021](#)).

Les autres résultats montrent que la surface et l'entomogamie ne jouent pas de rôle significatif sur la biodiversité des cimetières tandis que l'ancienneté, oui. Par exemple, plus un cimetière est ancien, plus il accueille une flore rare dans son inter-tombe. En effet, un cimetière ancien aurait pu laisser plus de temps à une végétation rare de se développer ou prospérer malgré sa disparition ailleurs dans le territoire. Les cimetières anciens sont également ceux les plus détériorés et les moins entretenus, ce qui favorise l'accumulation de matière organique sur le minéral et ainsi le développement d'une flore thermophile rare. Nous trouvons aussi que les nouveaux cimetières attirent davantage de *P. pipistrellus*, ce qui peut être logique en raison de la forte capacité de cette espèce à investir de nouveaux lieux ([Stebbins and Griffiths, 1986](#)). Nous avons également obtenu d'autres résultats plus compliqués à interpréter : les cimetières anciens défavorisaient l'abondance et l'originalité de certains pollinisateurs. Ce résultat nous permet de garder à l'esprit que l'ancienneté reste une variable complexe à utiliser en raison des nombreuses extensions et modifications de gestion que connaissent les cimetières au fil de leur histoire.

4.5. Synthèse et réponses aux hypothèses formulées

(1) Influence de la géographie et de l'habitat urbain sur la biodiversité :

- a. Même si les cimetières urbains abritent une faune et une flore très commune, ils semblent héberger également des espèces végétales thermophiles.
- b. Nous avons prouvé que les cimetières urbains abritent une flore prairiale plus riche et abondante que dans les autres milieux, qu'ils soient agricoles ou urbains. La richesse, l'originalité et l'abondance des pollinisateurs sont aussi plus importantes dans les cimetières que dans les autres milieux urbains. En revanche, en zone agricole, ils sont moins intéressants pour les pollinisateurs. Enfin, les cimetières urbains sont aussi plus abondants en chiroptères que le reste des espaces urbains.
- c. L'urbanisation semble impacter notamment les chiroptères : nous retrouvons moins d'individus et moins d'espèces originales lorsque nous sommes en milieu urbain. En revanche, elle semble favoriser la rareté de certaines espèces végétales thermophiles et l'abondance des hérissons.
- d. Notre variable de connectivité n'a pas été assez robuste pour répondre à cette hypothèse.
- e. La pollution lumineuse semble impacter principalement la richesse des chiroptères présents dans les cimetières. Sur les 4 espèces étudiées, *N. noctula* semble être davantage sensible à cette pollution.

(2) Influence de la végétalisation et de ses caractéristiques sur la biodiversité :

- a. De manière générale, les cimetières les plus végétalisés semblent posséder une végétation plus riche, originale et moins nitrophile et héliophile. Ceux présentant une hauteur de végétation élevée semblent posséder davantage de plantes originales dans l'inter-tombe, mais moins de plantes rares et originales dans les prairies. Ces plantes sont par ailleurs plus hygrophiles, nitrophiles et moins héliophiles. Pour les insectes pollinisateurs, leur richesse semble être impactée négativement par la hauteur de végétation. Pour les mammifères terrestres, la hauteur de végétation semble jouer un effet positif sur leur abondance, tandis que l'abondance de hérissons est défavorisée par la végétalisation.
- b. Le taux de plantes entomogames ne semble pas influencer les pollinisateurs dans les cimetières.

(3) Influence des stratégies d'entretien sur la biodiversité :

- a. Notre variable de rémanence d'herbicides n'a pas été assez robuste pour répondre à cette hypothèse.
- b. Notre variable de pression d'entretien n'a pas été assez robuste pour répondre à cette hypothèse.

(4) Autres influences possibles sur la biodiversité :

- a. L'ancienneté des cimetières favorise la flore rare dans l'inter-tombe des cimetières.
- b. La surface des cimetières ne semble pas jouer d'effets sur la biodiversité des cimetières.
- c. L'inter-tombe semble favoriser la richesse, la rareté et l'originalité des plantes tandis que la prairie semble favoriser la richesse, l'abondance et l'originalité des insectes pollinisateurs.

Tableau 4 : Tableau synthétique des réponses aux hypothèses formulées dans les pages 10 à 12

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aguilar, Ramiro, Lorena Ashworth, Leonardo Galetto, et Marcelo Adrian Aizen. « *Plant Reproductive Susceptibility to Habitat Fragmentation: Review and Synthesis through a Meta-Analysis* ». *Ecology Letters* 9, n°8 (août 2006): 968 80. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00927.x>.
- Arthur, Laurent, et Michèle Lemaire. *Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse*. Deuxième édition. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris. Mèze. Biotope, 2015.
- Aschehoug, Erik T., Rob Brooker, Daniel Z. Atwater, John L. Maron, et Ragan M. Callaway. « *The Mechanisms and Consequences of Interspecific Competition Among Plants* ». *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 47, n°1 (novembre 2016): 263 81. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-121415-032123>.
- Azam, Clémentine, Christian Kerbiriou, Arthur Vernet, Jean-François Julien, Yves Bas, Laura Plichard, Julie Maratrat, et Isabelle Le Viol. « *Is Part-Night Lighting an Effective Measure to Limit the Impacts of Artificial Lighting on Bats?* » *Global Change Biology* 21, n°12 (décembre 2015): 4333 41. <https://doi.org/10.1111/gcb.13036>.
- Balmford, A. « *Why Conservationists Should Heed Pokemon* ». *Science* 295, n°5564 (29 mars 2002): 2367b 22367. <https://doi.org/10.1126/science.295.5564.2367b>.
- 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>.
- Barnosky, Anthony D., Nicholas Matzke, Susumu Tomiya, Guinevere O. U. Wogan, Brian Swartz, Tiago B. Quental, Charles Marshall, et al. « *Has the Earth's Sixth Mass Extinction Already Arrived?* » *Nature* 471, n°7336 (mars 2011): 51 57. <https://doi.org/10.1038/nature09678>.
- Bellamy, Chloe, Christopher Scott, et John Altringham. « *Multiscale, Presence-Only Habitat Suitability Models: Fine-Resolution Maps for Eight Bat Species* ». Édité par Jeroen Minderman. *Journal of Applied Ecology* 50, n°4 (août 2013): 892 901. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12117>.
- Biesmeijer, J. C. « *Parallel Declines in Pollinators and Insect-Pollinated Plants in Britain and the Netherlands* ». *Science* 313, no 5785 (21 juillet 2006): 351 54. <https://doi.org/10.1126/science.1127863>.
- Blake, D., A. M. Hutson, P. A. Racey, J. Rydell, et J. R. Speakman. « *Use of Lamplit Roads by Foraging Bats in Southern England* ». *Journal of Zoology* 234, n°3 (novembre 1994): 453 62. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1994.tb04859.x>.
- Boldogh, Sándor, Dénes Dobrosi, et Péter Samu. « *The Effects of the Illumination of Buildings on House-Dwelling Bats and Its Conservation Consequences* », 2007, 9.
- Bolund, Per, et Sven Hunhammar. « *Ecosystem Services in Urban Areas* ». *Ecological Economics* 29, n°2 (mai 1999): 293 301. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00013-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00013-0).
- Bontadina, Fabio, Sebastian F. Schmied, Andres Beck, et Raphaël Arlettaz. « *Changes in Prey Abundance Unlikely to Explain the Demography of a Critically Endangered Central European Bat* ». *Journal of Applied Ecology* 45, n°2 (avril 2008): 641 48. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01417.x>.
- Bowler, Diana E., Lisette Buyung-Ali, Teri M. Knight, et Andrew S. Pullin. « *Urban Greening to Cool Towns and Cities: A Systematic Review of the Empirical Evidence* ». *Landscape and Urban Planning* 97, no 3 (septembre 2010): 147 55. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>.
- Butchart, Stuart H. M., Jörn P. W. Scharlemann, Mike I. Evans, Suhel Quader, Salvatore Aricò, Julius Arinaitwe, Mark Balman, et al. « *Protecting Important Sites for Biodiversity Contributes to Meeting Global Conservation Targets* ». Édité par Peter M. Bennett. *PLoS ONE* 7, n°3 (21 mars 2012): e32529. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032529>.
- Čanádý, Alexander, et Ladislav Mošanský. « *Public Cemetery as a Biodiversity Hotspot for Birds and Mammals in the Urban Environment of Kosice City (Slovakia)* ». *Zoology and Ecology* 27, no 3 4 (2 octobre 2017): 185 95. <https://doi.org/10.1080/21658005.2017.1366024>.
- Cassini, M. H., et M. L. Galante. « *Foraging under predation risk in the wild guinea pig: the effect of vegetation height on habitat utilization* ». *Finnish Zoological and Botanical Publishing Board* 29, n°4 (1992): 3.
- Catto, C. M. C., A. M. Hutson, P. A. Racey, et P. J. Stephenson. « *Foraging Behaviour and Habitat Use of the Serotine Bat (Eptesicus Serotinus) in Southern England* ». *Journal of Zoology* 238, n°4 (avril 1996): 623 33. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1996.tb05419.x>.
- Ceballos, Gerardo, et Paul R Ehrlich. « *The Sixth Extinction Crisis Loss of Animal Populations and Species* », 17. 2010.
- Chandler, Mark, Linda See, Kyle Copas, Astrid M.Z. Bonde, Bernat Claramunt López, Finn Danielsen, Jan Kristoffer Legind, et al. « *Contribution of Citizen Science towards International Biodiversity Monitoring* ». *Biological Conservation* 213 (septembre 2017): 280 94. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.09.004>.
- Cherel, Y., B. El Omari, Y. Le Maho, et M. Saboureau. « *Protein and Lipid Utilization during Fasting with Shallow and Deep Hypothermia in the European Hedgehog (Erinaceus Europaeus)* ». *Journal of Comparative Physiology B* 164, n°8 (mars 1995): 653 58. <https://doi.org/10.1007/BF00389807>.
- Clanché, François, et Odile Rascol. « *La découpe en unités urbaines de 2010* » Insee, Département de la Démographie, n°1364

(août 2011).

Coutts, Andrew M., Emma C. White, Nigel J. Tapper, Jason Beringer, et Stephen J. Livesley. « *Temperature and Human Thermal Comfort Effects of Street Trees across Three Contrasting Street Canyon Environments* ». *Theoretical and Applied Climatology* 124, no 1 2 (avril 2016): 55 68. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1409-y>.

Dearborn, Donald C., et Salit Kark. « *Motivations for Conserving Urban Biodiversity* ». *Conservation Biology* 24, n°2 (avril 2010): 432 40. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01328.x>.

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>.

Dietz, Markus, Jacques B. Pir, et Jessica Hillen. « *Does the Survival of Greater Horseshoe Bats and Geoffroy's Bats in Western Europe Depend on Traditional Cultural Landscapes?* » *Biodiversity and Conservation* 22, n°13 14 (décembre 2013): 3007 25. <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0567-4>.

Dirzo, R., H. S. Young, M. Galetti, G. Ceballos, N. J. B. Isaac, et B. Collen. « *Defaunation in the Anthropocene* ». *Science* 345, n°6195 (25 juillet 2014): 401 6. <https://doi.org/10.1126/science.1251817>.

Donnelly, Alison, Olivia Crowe, Eugenie Regan, Sinead Begley, et Amelia Caffarra. « *The Role of Citizen Science in Monitoring Biodiversity in Ireland* ». *International Journal of Biometeorology* 58, n°6 (août 2014): 1237 49. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0717-0>.

Downs, N.C., V. Beaton, J. Guest, J. Polanski, S.L. Robinson, et P.A. Racey. « *The Effects of Illuminating the Roost Entrance on the Emergence Behaviour of Pipistrellus Pygmaeus* ». *Biological Conservation* 111, n°2 (juin 2003): 247 52. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00298-7](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00298-7).

Elmqvist, T, H Setälä, Sn Handel, S van der Ploeg, J Aronson, Jn Blignaut, E Gómez-Baggethun, Dj Nowak, J Kronenberg, et R de Groot. « *Benefits of Restoring Ecosystem Services in Urban Areas* ». *Current Opinion in Environmental Sustainability* 14 (juin 2015): 101 8. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.05.001>.

Faeth, Stanley H., Christofer Bang, et Susanna Saari. « *Urban Biodiversity: Patterns and Mechanisms: Urban Biodiversity* ». *Annals of the New York Academy of Sciences* 1223, no 1 (mars 2011): 69 81. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05925.x>.

Fischer, Joern, et David B. Lindenmayer. « *Landscape Modification and Habitat Fragmentation: A Synthesis* ». *Global Ecology and Biogeography* 16, n°3 (mai 2007): 265 80. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00287.x>.

Flandin, Jonathan. *Guide de conception et gestion écologique des cimetières*. Natureparif, 2015.

Flaquer, Carles, Xavier Puig-Montserrat, Urtzi Goiti, Francesc Vidal, Antoni Curcó, et Danilo Russo. « *Habitat Selection in*

Nathusius' Pipistrelle (Pipistrellus Nathusii): The Importance of Wetlands ». *Acta Chiropterologica* 11, n°1 (juin 2009): 149 55. <https://doi.org/10.3161/150811009X465767>.

Fonderflick, Jocelyn, Clémentine Azam, Clarisse Brochier, Emmanuel Cosson, et Delphine Quékenborn. « *Testing the Relevance of Using Spatial Modeling to Predict Foraging Habitat Suitability around Bat Maternity: A Case Study in Mediterranean Landscape* ». *Biological Conservation* 192 (décembre 2015): 120 29. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.09.012>.

Fuentes-Montemayor, Elisa, Dave Goulson, Liam Cavin, Jenny M. Wallace, et Kirsty J. Park. « *Fragmented Woodlands in Agricultural Landscapes: The Influence of Woodland Character and Landscape Context on Bats and Their Insect Prey* ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 172 (juin 2013): 6 15. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.03.019>.

Fukui, Dai, Masashi Murakami, Shigeru Nakano, et Toshiki Aoi. « *Effect of Emergent Aquatic Insects on Bat Foraging in a Riparian Forest* ». *Journal of Animal Ecology* 75, n°6 (novembre 2006): 1252 58. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2006.01146.x>.

Gaisler, J., J. Zukal, Z. Rehak, et M. Homolka. « *Habitat Preference and Flight Activity of Bats in a City* ». *Journal of Zoology* 244, n°3 (mars 1998): 439 45. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1998.tb00048.x>.

Geoffroy, David, Benoît Fontaine, et Aurélien Besnard. « *Quelle biodiversité urbaine est observée sur les espaces verts, les friches et les cimetières ? Une illustration à Grenoble* ». *Naturae*, no 10 (16 octobre 2020). <https://doi.org/10.5852/naturae2020a10>.

Givaudan, Nicolas, Françoise Binet, Barbara Le Bot, et Claudia Wiegand. « *Earthworm Tolerance to Residual Agricultural Pesticide Contamination: Field and Experimental Assessment of Detoxification Capabilities* ». *Environmental Pollution* 192 (septembre 2014): 9 18. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.05.001>.

Gommers, Charlotte M.M., Eric J.W. Visser, Kate R. St Onge, Laurentius A.C.J. Voeselek, et Ronald Pierik. « *Shade Tolerance: When Growing Tall Is Not an Option* ». *Trends in Plant Science* 18, n°2 (février 2013): 65 71. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.09.008>.

Grimm, Nancy B., J. Morgan Grove, et Steward T.A. Pickett. « *Integrated approaches to long-term studies of urban ecological systems* ». *BioScience* 50, n°7 (2000): 571.

Gupta, Pawan K. « *Toxicity of Herbicides* ». In *Veterinary Toxicology*, 553-67. Elsevier, 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811410-0.00044-1>.

Hale, James D., Alison J. Fairbrass, Thomas J. Matthews, Gemma Davies, et Jon P. Sadler. « *The Ecological Impact of City Lighting Scenarios: Exploring Gap Crossing Thresholds for Urban Bats* ». *Global Change Biology* 21, n°7 (juillet 2015): 2467 78. <https://doi.org/10.1111/gcb.12884>.

Hale, James D., Alison J. Fairbrass, Tom J. Matthews, et Jon P. Sadler. « *Habitat Composition and Connectivity Predicts Bat Presence and Activity at Foraging Sites in a Large UK Conurbation* ». Édité par Brock Fenton. *PLoS ONE* 7, n°3 (12 mars 2012): e33300. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033300>.

Hof, Anouschka R, et Paul W Bright. « *The Value of Green-Spaces in Built-up Areas for western Hedgehogs* », 2009, 14.

Hubert, Pauline, Romain Julliard, Sylvie Biagiatti, et Marie-Lazarine Poulle. « *Ecological Factors Driving the Higher Hedgehog (*Erinaceus Europeus*) Density in an Urban Area Compared to the Adjacent Rural Area* ». *Landscape and Urban Planning* 103, n°1 (octobre 2011): 34 43. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.05.010>.

Huwer, Andreas, et Rüdiger Wittig. « *Evidence for Increasing Homogenization and De-Ruralization of the Central European Village Flora* », 20.

Ikin, Karen, Darren S. Le Roux, Laura Rayner, Nelida R. Villaseñor, Kathy Eyles, Philip Gibbons, Adrian D. Manning, et David B. Lindenmayer. « *Key Lessons for Achieving Biodiversity-Sensitive Cities and Towns* ». *Ecological Management & Restoration* 16, n°3 (septembre 2015): 206 14. <https://doi.org/10.1111/emr.12180>.

IUCN Red List. *The IUCN Red list of threatened species*. 2017.

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* ». *Journal of Zoology* 271, n°2 (février 2007): 210 17. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2006.00204.x>.

Kaiser, L., P. Ode, S. van Nouhuys, P.-A. Calatayud, S. Colazza, A.-M. Cortesero, A. Thiel, et J. van Baaren. « *The Plant as a Habitat for Entomophagous Insects* ». In *Advances in Botanical Research*, 81:179 223. Elsevier, 2017. <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2016.09.006>.

Kerbiriou, Christian, Clémentine Azam, Julien Touroult, Julie Marmet, Jean-François Julien, et Vincent Pellissier. « *Common Bats Are More Abundant within Natura 2000 Areas* ». *Biological Conservation* 217 (janvier 2018): 66 74. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.10.029>.

Klemm, Wiebke. « *Street Greenery and Its Physical and Psychological Impact on Thermal Comfort* ». *Landscape and Urban Planning*, 2015, 12.

Kowarik, Ingo, Sascha Buchholz, Moritz von der Lippe, et Birgit Seitz. « *Biodiversity Functions of Urban Cemeteries: Evidence from One of the Largest Jewish Cemeteries in Europe* ». *Urban Forestry & Urban Greening* 19 (septembre 2016): 68 78. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.06.023>.

Kristiansson, Hans. « *Population Variables and Causes of Mortality in a Hedgehog (*Erinaceus Europaeus*) Population in Southern Sweden* ». *Journal of Zoology* 220, n°3 (mars 1990): 391 404. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1990.tb04314.x>.

Kuijper, Dries P.J, Jasper Schut, Diederik van Dulleman, Hanne Toorman, Noreen Goossens, et Janne Ouwehand. « *Experimental Evidence of Light Disturbance along the Commuting Routes of Pond Bats (*Myotis Dasycneme*)* », 2008, 13.

Lacoëuilhe, Aurelie, Nathalie Machon, Jean-François Julien, Agathe Le Bocq, et Christian Kerbiriou. « *The Influence of Low*

Intensities of Light Pollution on Bat Communities in a Semi-Natural Context ». Édité par John Morgan Ratcliffe. *PLoS ONE* 9, n°10 (31 octobre 2014): e103042. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103042>.

Laforge, Alexis, Jocelyn Fonderflick, et Aurélien Besnard. « *Projet « Trame noire » : connectivité écologique nocturne et Chiroptères* », 2018, 6.

Larramendy, Sandrine, Caroline Gutleben, et Pauline Laille. *Paysages et entretien des cimetières: recueil de fiches repères et actions pour la réhabilitation écologique et paysagère des cimetières*. Angers: Plante & Cité, 2017.

Law, Edith, Alex C. Williams, Andrea Wiggins, Jonathan Brier, Jenny Preece, Jennifer Shirk, et Greg Newman. « *The Science of Citizen Science: Theories, Methodologies and Platforms* ». In *Companion of the 2017 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing*, 395 400. Portland Oregon USA: ACM, 2017. <https://doi.org/10.1145/3022198.3022652>.

Le Féon, Violette. « *Insectes pollinisateurs dans les paysages agricoles: approche pluri-échelle du rôle des habitats semi-naturels, des pratiques agricoles et des cultures entomophiles* », 258. 2010.

Lee, Hyunjung, Helmut Mayer, et Liang Chen. « *Contribution of Trees and Grasslands to the Mitigation of Human Heat Stress in a Residential District of Freiburg, Southwest Germany* ». *Landscape and Urban Planning* 148 (avril 2016): 37 50. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.12.004>.

Lightfoot, T L. « *Clinical examination of chinchillas, hedgehogs, prairie dogs, and sugar gliders* ». *The veterinary clinics of North America. Exotic animal practice*, 1999.

Ligue de protection des oiseaux. « *Enquête Mission Hérisson - Premiers résultats (entre juillet 2020 et janvier 2021)* ». 2021.

Löki, Viktor, Balázs Deák, András Balázs Lukács, et Attila Molnár V. « *Biodiversity Potential of Burial Places – a Review on the Flora and Fauna of Cemeteries and Churchyards* ». *Global Ecology and Conservation* 18 (avril 2019): e00614. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00614>.

Löki, Viktor, András Schmotzer, Attila Takács, Kristóf Süveges, Ádám Lovas-Kiss, Balázs András Lukács, Jácint Tökölyi, et Attila Molnár V. « *The Protected Flora of Long-established Cemeteries in Hungary: Using Historical Maps in Biodiversity Conservation* ». *Ecology and Evolution* 10, n°14 (juillet 2020): 7497 7508. <https://doi.org/10.1002/ece3.6476>.

Matthies, Sarah A., Stefan Rüter, Rüdiger Prasse, et Frank Schaarschmidt. « *Factors Driving the Vascular Plant Species Richness in Urban Green Spaces: Using a Multivariable Approach* ». *Landscape and Urban Planning* 134 (février 2015): 177 87. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.014>.

Maxwell, Sean L., Richard A. Fuller, Thomas M. Brooks, et James E. M. Watson. « *Biodiversity: The Ravages of Guns, Nets and Bulldozers* ». *Nature* 536, n°7615 (août 2016): 143 45. <https://doi.org/10.1038/536143a>.

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).

Miller, James R., et Richard J. Hobbs. « *Conservation Where People Live and Work* ». *Conservation Biology* 16, n°2 (avril 2002): 330-37. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2002.00420.x>.

Monard, C., F. Martin-Laurent, C. Vecchiato, A.J. Francez, P. Vandenkoornhuysse, et F. Binet. « *Combined Effect of Bioaugmentation and Bioturbation on Atrazine Degradation in Soil* ». *Soil Biology and Biochemistry* 40, n°9 (septembre 2008): 2253-59. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.04.022>.

Monard, Cécile, Fabrice Martin-Laurent, Oscar Lima, Marion Devers-Lamrani, et Françoise Binet. « *Estimating the Biodegradation of Pesticide in Soils by Monitoring Pesticide-Degrading Gene Expression* ». *Biodegradation* 24, n°2 (avril 2013): 203-13. <https://doi.org/10.1007/s10532-012-9574-5>.

Mullaney, Jennifer, Terry Lucke, et Stephen J. Trueman. « *A Review of Benefits and Challenges in Growing Street Trees in Paved Urban Environments* ». *Landscape and Urban Planning* 134 (février 2015): 157-66. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.013>.

Oke, T.R. « *City Size and the Urban Heat Island* », 1967, 11.

Pellissier, Vincent, Françoise Rozé, Rahim Aguejdad, Hervé Quéno, et Philippe Clergeau. « *Relationships between Soil Seed Bank, Vegetation and Soil Fertility along an Urbanisation Gradient* ». *Applied Vegetation Science* 11, n°3 (août 2008): 325-34. <https://doi.org/10.3170/2008-7-18448>.

Peter, Maria, Tim Diekötter, et Kerstin Kremer. « *Participant Outcomes of Biodiversity Citizen Science Projects: A Systematic Literature Review* ». *Sustainability* 11, n°10 (15 mai 2019): 2780. <https://doi.org/10.3390/su11102780>.

Plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques (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.

Poel, Jeike L. van de, Jasja Dekker, et Frank van Langevelde. « *Dutch Hedgehogs *Erinaceus Europaeus* Are Nowadays Mainly Found in Urban Areas, Possibly Due to the Negative Effects of Badgers *Meles Meles** ». *Wildlife Biology* 21, n°1 (janvier 2015): 51-55. <https://doi.org/10.2981/wlb.00072>.

Pykälä, Juha, Miska Luoto, Risto K. Heikkinen, et Tytti Kontula. « *Plant Species Richness and Persistence of Rare Plants in Abandoned Semi-Natural Grasslands in Northern Europe* ». *Basic and Applied Ecology* 6, n°1 (janvier 2005): 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2004.10.002>.

Pysek, Petr. « *Alien and Native Species in Central European Urban Floras: A Quantitative Comparison* ». *Journal of Biogeography* 25, n°1 (janvier 1998): 155-63. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.1998.251177.x>.

Reeve, N.J., et P.A. Morris. « *Construction and Use of Summer Nests by the Hedgehog (*Erinaceus Europaeus*)* ». *Mammalia* 49, n°2 (1985). <https://doi.org/10.1515/mamm.1985.49.2.187>.

République Française. Journal Officiel n° 18 - Lois et décrets

(2021).

Russo, Danilo, et Leonardo Ancillotto. « *Sensitivity of Bats to Urbanization: A Review* ». *Mammalian Biology* 80, n°3 (mai 2015): 205-12. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2014.10.003>.

Rydell, J. « *Exploitation of Insects around Streetlamps by Bats in Sweden* ». *Functional Ecology* 6, n°6 (1992): 744. <https://doi.org/10.2307/2389972>.

Rydell, Jens. « *Seasonal Use of Illuminated Areas by Foraging Northern Bats *Eptesicus Nilssonii** ». *Ecography* 14, n°3 (juillet 1991): 203-7. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.1991.tb00653.x>.

Rydell, Jens, Abigail Entwistle, et Paul A. Racey. « *Timing of Foraging Flights of Three Species of Bats in Relation to Insect Activity and Predation Risk* ». *Oikos* 76, n°2 (juin 1996): 243. <https://doi.org/10.2307/3546196>.

Rydell, Jens, et Gareth Jones. « *Foraging Strategy and Predation Risk as Factors Influencing Emergence Time in Echolocating Bats* ». *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 346, n°1318 (29 décembre 1994): 445-55. <https://doi.org/10.1098/rstb.1994.0161>.

Shashua-Bar, Limor, David Pearlmutter, et Evyatar Erell. « *The Influence of Trees and Grass on Outdoor Thermal Comfort in a Hot-Arid Environment: INFLUENCE OF TREES AND GRASS ON OUTDOOR THERMAL COMFORT* ». *International Journal of Climatology* 31, no 10 (août 2011): 1498-1506. <https://doi.org/10.1002/joc.2177>.

Shwartz, Assaf, Anne Turbé, Romain Julliard, Laurent Simon, et Anne-Caroline Prévot. « *Outstanding Challenges for Urban Conservation Research and Action* ». *Global Environmental Change* 28 (septembre 2014): 39-49. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.002>.

Singh, J.S. « *The biodiversity crisis : A multifaceted review* ». *Current science*, Vol.82, No.6 Department of Botany, Banaras Hindu University, Varanasi 221 005, India (25 mars 2002).

Stebbing, R. E., et Francesca Griffith. *Distribution and Status of Bats in Europe*. Abbots Ripton, Huntingdon, Cambs: Institute of Terrestrial Ecology, 1986.

Stone, Emma L., Gareth Jones, et Stephen Harris. « *Conserving Energy at a Cost to Biodiversity? Impacts of LED Lighting on Bats* ». *Global Change Biology* 18, n°8 (août 2012): 2458-65. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02705.x>.

Stone, Emma Louise, Gareth Jones, et Stephen Harris. « *Street Lighting Disturbs Commuting Bats* ». *Current Biology* 19, n°13 (juillet 2009): 1123-27. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.05.058>.

Streit, B. « *Bioaccumulation Processes in Ecosystems* ». *Experientia* 48, n° 10 (octobre 1992): 955-70. <https://doi.org/10.1007/BF01919142>.

Tirard, Claire, David Laloi, Philippe Koubbi, et Luc Abbadie. *Ecologie - Fiches de cours, exemples appliqués et QCM*. Dunod, 2016.

Trouwborst, Arie, Phillipa C. McCormack, et Elvira Martínez Camacho. « *Domestic Cats and Their Impacts on Biodiversity: A Blind Spot in the Application of Nature Conservation Law* ». Édité par Juliette Young. *People and Nature* 2, n°1 (mars 2020): 235-50. <https://doi.org/10.1002/pan3.10073>.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, et Population Division. *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*, 2019.

Uslu, Aysel. « *An Ecological Approach for the Evaluation of an Abandoned Cemetery as a Green Area: The Case of Ankara / Karakusunlar Cemetery* », 13. 2010.

Villaseñor, Nélida R., et Martín A. H. Escobar. « *Cemeteries and Biodiversity Conservation in Cities: How Do Landscape and Patch-Level Attributes Influence Bird Diversity in Urban Park Cemeteries?* » *Urban Ecosystems* 22, n°6 (décembre 2019): 1037-46. <https://doi.org/10.1007/s11252-019-00877-3>.

Villemeij, Anne, Aurélien Besnard, Jimmy Grandadam, et Julien Eidschenck. « *Testing Restocking Methods for an Endangered Species: Effects of Predator Exclusion and Vegetation Cover on Common Hamster (*Cricetus cricetus*) Survival and Reproduction* ». *Biological Conservation* 158 (février 2013): 147-54. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.08.007>.

Voigt, Christian C., Julia M. Scholl, Juliane Bauer, Tobias Teige, Yossi Yovel, Stephanie Kramer-Schadt, et P. Gras. « *Movement Responses of Common Noctule Bats to the Illuminated Urban Landscape* ». *Landscape Ecology* 35, n°1 (janvier 2020): 189-201. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00942-4>.

Wania, Annett, Ingolf Kühn, et Stefan Klotz. « *Plant Richness Patterns in Agricultural and Urban Landscapes in Central Germany—Spatial Gradients of Species Richness* ». *Landscape and Urban Planning* 75, n°1-2 (février 2006): 97-110. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.12.006>.

Waser, Peter. « *Diurnal and Nocturnal Strategies of the Bushbuck *Tragelaphus scriptus* (Pallas)* ». *African Journal of Ecology* 13, n°1 (mars 1975): 49-63. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.1975.tb00123.x>.

Wilcove, DS, CH McLellan, et AP Dobson. « *Habitat fragmentation in the temperate zone* ». *Conservation Biology*, 1986.

Williams, John W., et Stephen T. Jackson. « *Novel Climates, No-Analog Communities, and Ecological Surprises* ». *Frontiers in Ecology and the Environment* 5, n°9 (novembre 2007): 475-82. <https://doi.org/10.1890/070037>.

Williams, Nicholas S.G., Amy K. Hahs, et Peter A. Vesk. « *Urbanisation, Plant Traits and the Composition of Urban Floras* ». *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 17, n°1 (février 2015): 78-86. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2014.10.002>.

Zungu, Manqoba M., Mfundo S.T. Maseko, Riddhika Kalle, Tharmalingam Ramesh, et Colleen T. Downs. « *Factors Affecting the Occupancy of Forest Mammals in an Urban-Forest Mosaic in EThekweni Municipality, Durban, South Africa* ». *Urban Forestry & Urban Greening* 48 (février 2020): 126562. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126562>.

PETIT GLOSSAIRE

Albédo	<i>Fraction de l'énergie solaire réfléchi par une surface.</i>
Artefact	<i>Ici, un artefact correspond à une altération du résultat d'un modèle dû au procédé technique utilisé.</i>
Bioaccumulation	<i>Accumulation d'une substance toxique (métaux lourds par exemple) dans une chaîne alimentaire.</i>
Chiroptère	<i>Chauve-souris, mammifère adapté au vol grâce à sa membrane alaire.</i>
Collection	<i>Ici, une collection correspond à une session d'échantillonnage réalisée dans le cadre d'un inventaire protocolé d'un taxon.</i>
Édaphique	<i>Relatif au sol en tant que milieu biologique.</i>
Entomogamie	<i>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.</i>
Espace cinéraire	<i>Espace aménagé pour la dispersion des cendres des défunts (plus communément appelé « jardin du souvenir »).</i>
Espèce cryptique	<i>Une espèce cryptique correspond à un ensemble d'espèces référencées comme une seule et même espèce car très semblables morphologiquement.</i>
Évapotranspiration	<i>Quantité d'eau qui s'évapore par le sol, les nappes liquides et la transpiration des végétaux.</i>
Héliophilie	<i>Se dit d'une plante ayant d'importants besoins en lumière pour se développer.</i>
Hygrophilie	<i>Se dit d'un organisme se développant dans des milieux humides ou ayant des besoins élevés en eau.</i>
Îlot de chaleur urbain	<i>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.</i>
Lucifuge	<i>Se dit des animaux qui fuient la lumière.</i>
Luminance	<i>Puissance de la lumière visible passant ou étant émise en un élément de surface dans une direction donnée, par unité de surface et par unité d'angle solide.</i>

Morphotype	<i>Ensemble des caractéristiques morphologiques qui définissent une espèce ou un groupe d'espèces.</i>
Nitrification	<i>Processus biologique par lequel les nitrates, éléments nutritifs des végétaux, sont produits dans l'environnement. Ce processus se réalise en deux étapes distinctes, chacune sous l'action de différents micro-organismes. Étape 1 : l'ammoniac est oxydé en nitrite, c'est la nitritation ou nitritation. Étape 2 : le nitrite est oxydé en nitrate, c'est la nitratisation.</i>
Nitrophilie	<i>Se dit d'une plante qui pousse sur les sols les plus riches en nitrates.</i>
Pattern	<i>Structure, organisation, modèle, motif ou adaptation répétitifs.</i>
Phénologie	<i>Étude des variations des phénomènes périodiques de la vie animale et végétale, en fonction du climat.</i>
Plante vasculaire	<i>Une plante vasculaire est un végétal qui possède des vaisseaux servant à la circulation de l'eau (angiospermes, gymnospermes, ptéridophytes).</i>
Proxy	<i>Un proxy ou une variable proxy est une variable qui n'est pas significative en soi, mais qui substitue une variable utile mais non-observable ou non-mesurable. Pour qu'une variable soit un bon proxy (par exemple, le taux d'activité de chiroptères), elle doit avoir une bonne corrélation avec la variable utile (par exemple, l'abondance de chiroptères).</i>
Réflectance	<i>La réflectance, également nommée facteur de réflexion, est la proportion de lumière réfléchiée par la surface d'un matériau.</i>
Rémanence	<i>Durée pendant laquelle un herbicide, ou tout autre produit de traitement épandu ou incorporé au sol, continue à exercer son action.</i>
Trait écologique	<i>Les traits écologiques sont décrits par des variables caractérisant les affinités d'un taxon (sensibilité/tolérance) pour certaines caractéristiques de l'habitat, comme sa distribution spatiale (à plusieurs échelles d'observation), ses préférences en matière d'habitat ou encore à des paramètres physico-chimiques : nutriments, matière organique, salinité, oxygénation, etc.</i>
Trame bleue	<i>Réseau écologique et écopaysager constitué par les cours d'eau (dont le continuum fluvial) et les zones humides adjacentes ou en dépendant.</i>
Trame verte	<i>Réseau écologique et écopaysager constitué par les milieux végétalisés (forêts, prairies, parcs, haies, alignements d'arbres, etc.)</i>
Thermophilie	<i>Se dit d'un organisme se développant dans des températures élevées.</i>
Xérophilie	<i>Se dit d'un organisme se développant dans des milieux très pauvres en eau.</i>

TABLE DES ACRONYMES

ACC	<i>Analyse canonique des correspondances</i>
AIC	<i>Akaike information criterion (Critère d'information d'Akaike)</i>
ARB îdF	<i>Agence régionale de la biodiversité en Île-de-France</i>
CBNBP	<i>Conservatoire Botanique National du Bassin Parisien</i>
CLC	<i>Corine Land Cover</i>
COOL	<i>Cimeteries : Observation of Life (étude Cimetières Vivants)</i>
EPOC	<i>Estimation des populations d'oiseaux communs</i>
GLM	<i>Generalized linear model (Modèle linéaire généralisé)</i>
ICU	<i>Îlot de chaleur urbain</i>
IPR	<i>Institut Paris Région</i>
LPO	<i>Ligue pour la protection des oiseaux</i>
MH	<i>Mission Hérisson</i>
MNHN	<i>Muséum national d'Histoire naturelle</i>
MOS	<i>Mode d'occupation des sols (cartographie de l'IPR)</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index (Indice de végétation par différence normalisée)</i>
OFB	<i>Office français de la biodiversité</i>
SDMR	<i>Sauvages de ma rue</i>
SPIPOLL	<i>Suivi photographique des insectes pollinisateurs</i>
VC	<i>Vigie-Chiro</i>
VIIRS	<i>Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (Imagerie de radiomètre à balayage dans le visible et l'infrarouge)</i>
VF	<i>Vigie-Flore</i>

TABLE DES ANNEXES

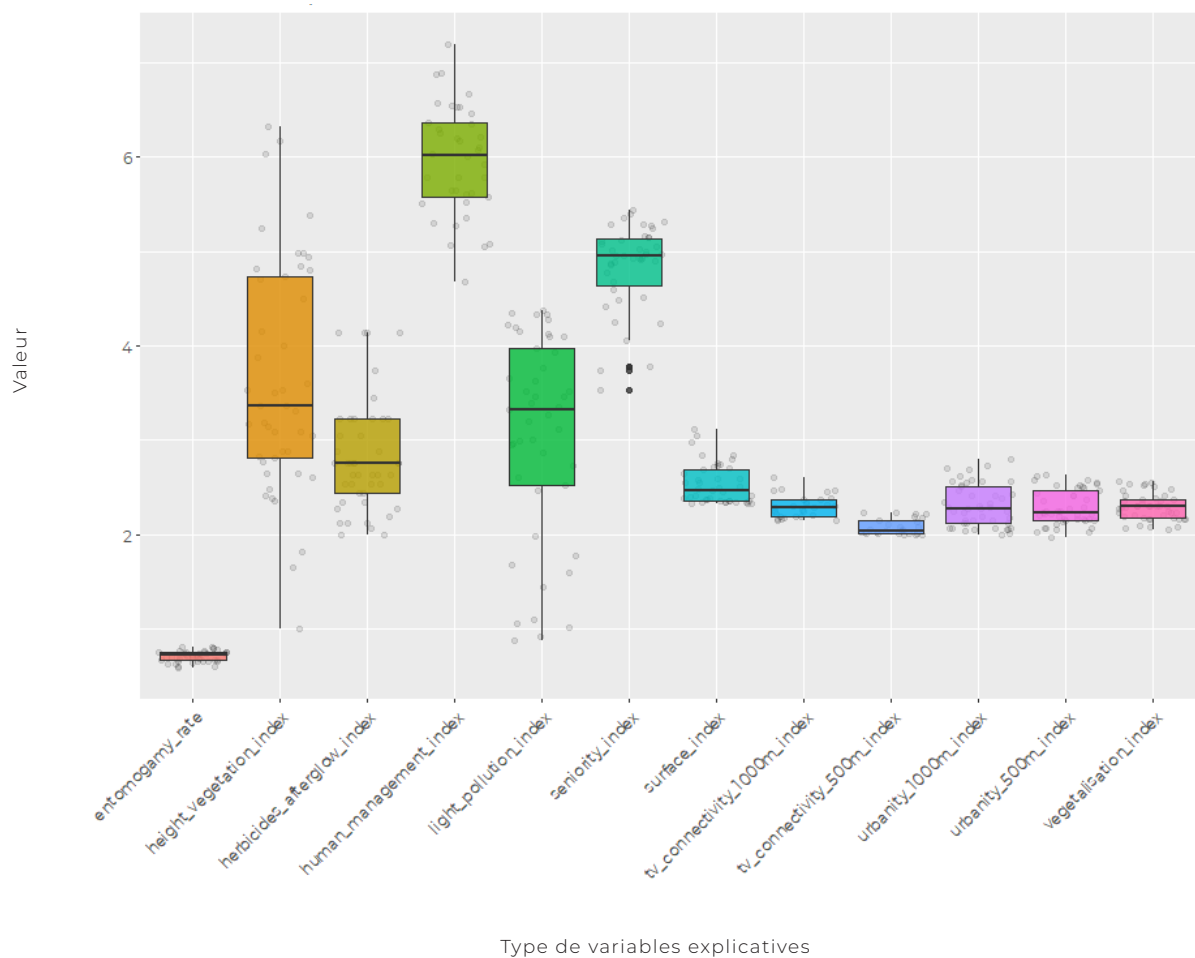
I	Représentation graphique de l'ensemble des variables explicatives	52
II	Représentation graphique des corrélations entre variables explicatives	53
III	Desaegher et al. 2019 - Relation entre morphotypes floraux et insectes pollinisateurs	54
IV	Flore vasculaire - Synthèse graphique de la richesse floristique présente dans les cimetières	55
V	Flore vasculaire - Détails et synthèse graphique des analyses comparatives de milieux	56
VI	Flore vasculaire - Détails et synthèse graphique des GLM	58
VII	Insectes pollinisateurs - Synthèse graphique de la richesse d'insectes pollinisateurs présents dans les cimetières	70
VIII	Insectes pollinisateurs - Détails et synthèse graphique des analyses comparatives de milieux	71
IX	Insectes pollinisateurs - Détails et synthèse graphique des GLM	77
X	Chiroptères - Synthèse graphique de la richesse chiroptérologique présente dans les cimetières	84
XI	Chiroptères - Détails et synthèse graphique des analyses comparatives de milieux	85
XII	Chiroptères - Détails et synthèse graphique des GLM	92
XIII	Mammifères terrestres - Synthèse graphique de l'abondance des mammifères terrestres présents dans les cimetières	101
XIV	Mammifères terrestres - Détails et synthèse graphique des GLM	102
XV	Relation chats/autres mammifères - Résultats, synthèse graphique et discussion	104

ANNEXE I

Représentation graphique de l'ensemble des variables explicatives

Les variables explicatives ont été mises à l'échelle par deux procédés : transformation logarithmique & suppression des valeurs extrêmes.

Boxplot représentant l'ensemble des variables explicatives



ANNEXE II

Représentation graphique des corrélations entre variables explicatives

Matrice de corrélation et représentation graphique des variables corrélées.

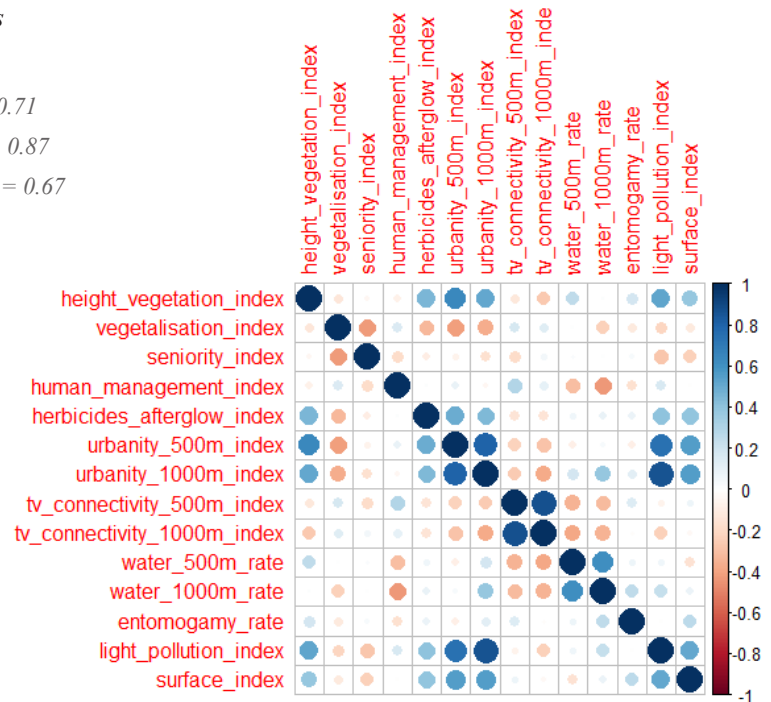
Matrice de corrélation des variables explicatives

Variables corrélées :

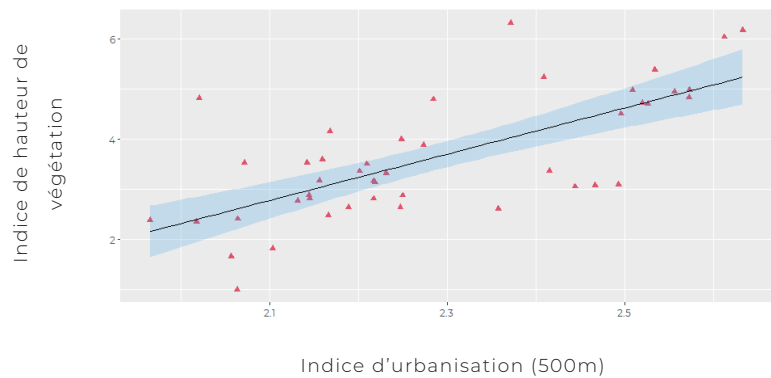
$Light_pollution_index \sim Urbanity_500m_index : p = 0.71$

$Light_pollution_index \sim Urbanity_1000m_index : p = 0.87$

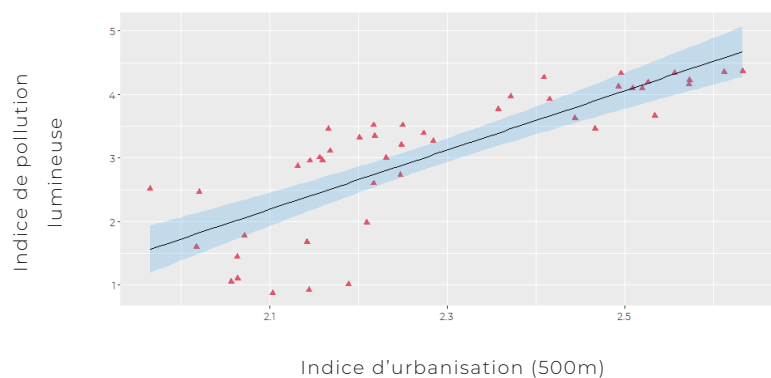
$Height_vegetation_index \sim Urbanity_500m_index : p = 0.67$



Corrélation entre l'indice de hauteur de végétation et l'indice d'urbanisation (500m)



Corrélation entre l'indice de hauteur de pollution lumineuse et l'indice d'urbanisation (500m)

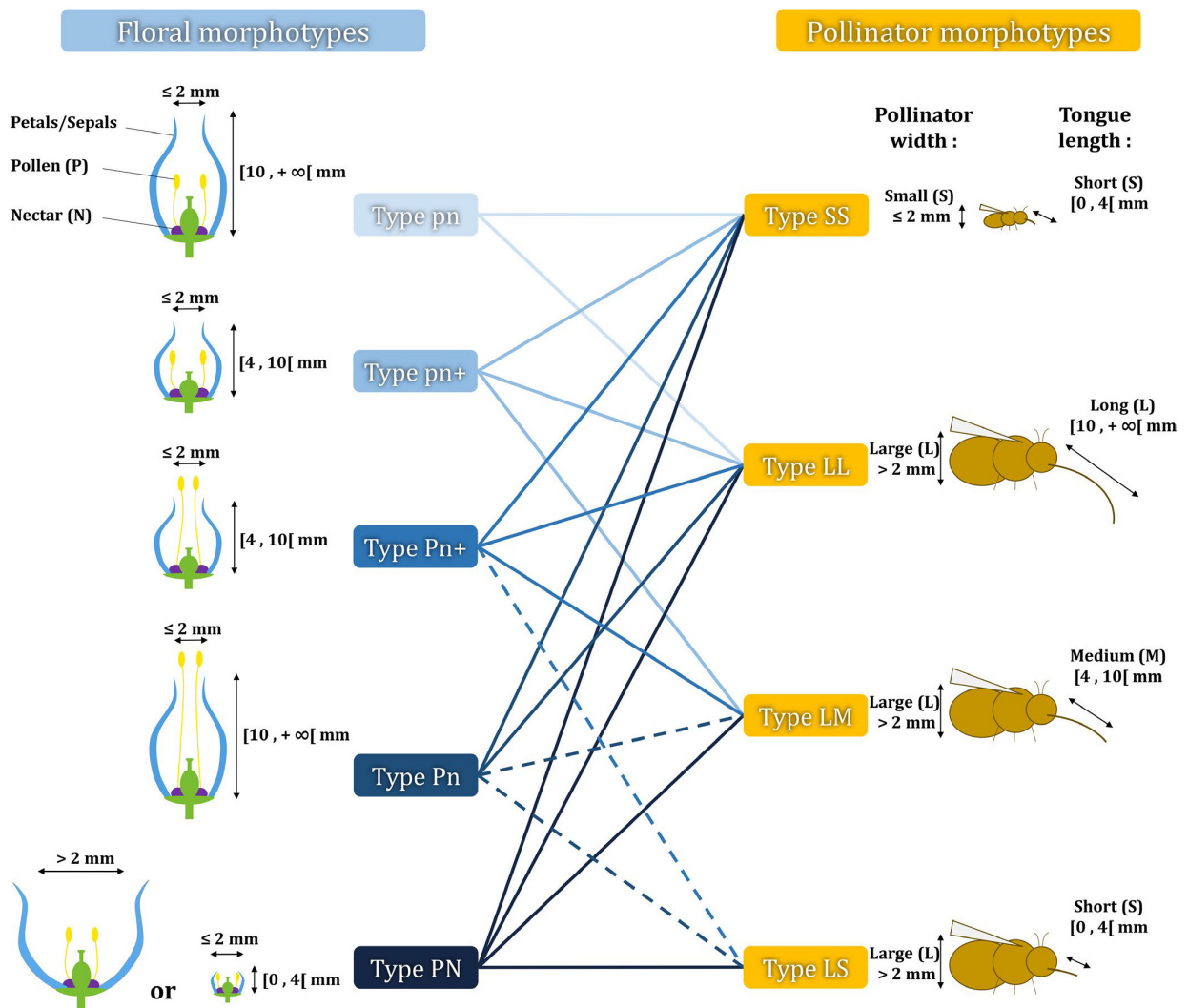


ANNEXE III

Desaegher et al. 2019 - Relation entre morphotypes floraux et insectes 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 pleines 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 morphotypes 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

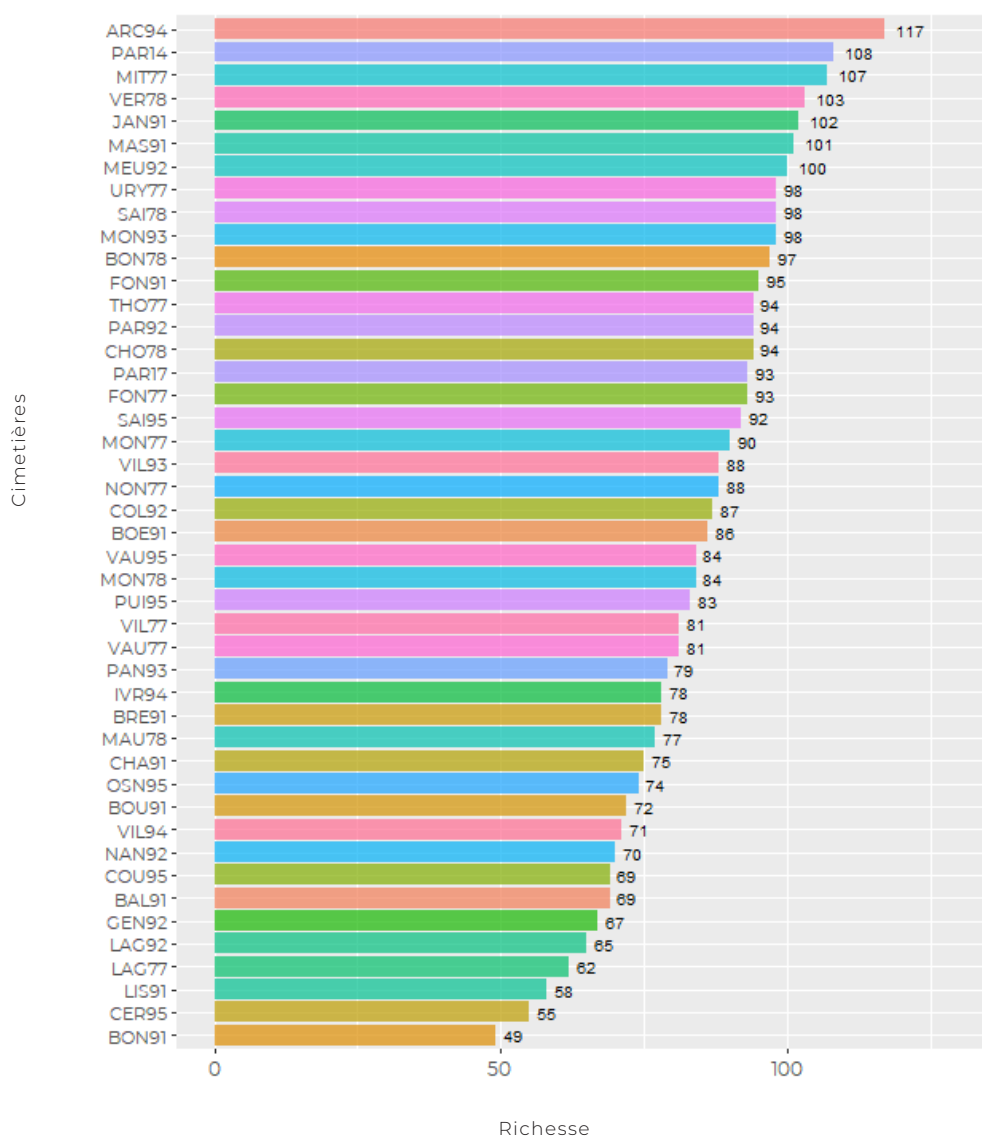


ANNEXE IV

Flore vasculaire - Synthèse graphique de la richesse floristique présente dans les cimetières

Richesse floristique rangée par cimetière dans l'ordre décroissant : Arcueil (117), Paris Montparnasse (108), Mitry-Mory (107), Versailles (103), Janvry (102), Massy (101), Meudon (100), Ury (98), Saint-Germain-en-Laye (98), Montreuil (98), Bonnelles (97), Fontenay-les-Briis (95), Thorigny-sur-Marne (94), Paris Bagneux (94), Choisel (94), Paris Batignolles (93), Fontainebleau (93), Saint-Ouen-Laumone (92), Montge-en-Goële (90), Villetaneuse (88), Nonville (88), Colombes (87), Boutigny-sur-Essonne (86), Vaureal (84), Montesson (84), Puiseux (83), Villiers-sous-Grez (81), Vaux-le-Penil (81), Pantin (79), Ivry-sur-Seine (78), Breuillet (78), Maurecourt (77), Champlan (75), Osny (74), Boussy-Saint-Antoine (72), Villejuif (71), Nanterre (70), Courdimanche (69), Ballancourt-sur-Essonne (69), Gennevilliers (67), La-Garenne-Colombes (65), Lagny-sur-Marne (62), Lisses (58), Cergy (55), Bondoufle (49)

Synthèse du nombre d'espèces végétales retrouvées dans les cimetières pour l'année 2020



ANNEXE V

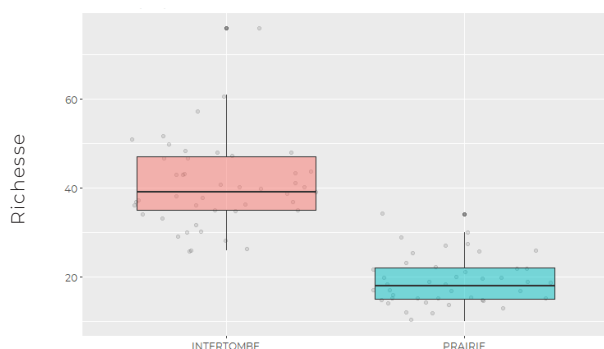
Flore vasculaire - Détails et synthèse graphique des analyses comparatives de milieux

Comparaison des indicateurs de biodiversité de la flore vasculaire en fonction du type de milieu :

Légende des graphiques : VF : Vigie-Flore, données collectées dans les prairies (cimetières ou autres) ; cool : données collectées dans les cimetières ; nat : données collectées dans les autres milieux que les cimetières ; agr : territoire agricole ; art : territoire artificialisé

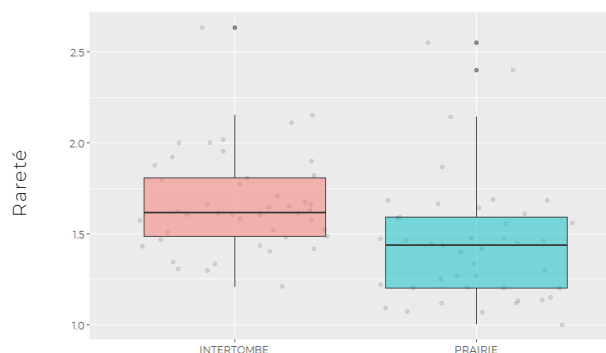
Type de tests (Wilcoxon) :	p.values	Significativité	Milieu favorable
Prairie et inter-tombe : Richesse	4.636e-15	Oui > 95%	inter-tombe
Prairie et inter-tombe : Rareté	7.206e-05	Oui > 95%	inter-tombe
Prairie et inter-tombe : Originalité	6.699e-10	Oui > 95%	inter-tombe
Cimetières et autres milieux (VF) : Richesse	2.2e-16	Oui > 95%	cimetières
Cimetières et autres milieux (VF) : Originalité	3.778e-15	Oui > 95%	cimetières
Cimetières agr. et autres milieux agr. (VF) : Richesse	0.000323	Oui > 95%	cimetières
Cimetières agr. et autres milieux agr. (VF) : Originalité	4.466e-10	Oui > 95%	cimetières
Cimetières art. et autres milieux art. (VF) : Richesse	0.009525	Oui > 95%	cimetières
Cimetières art. et autres milieux art. (VF) : Originalité	4.589e-16	Oui > 95%	cimetières

Richesse de la flore entre les prairies et l'inter-tombe



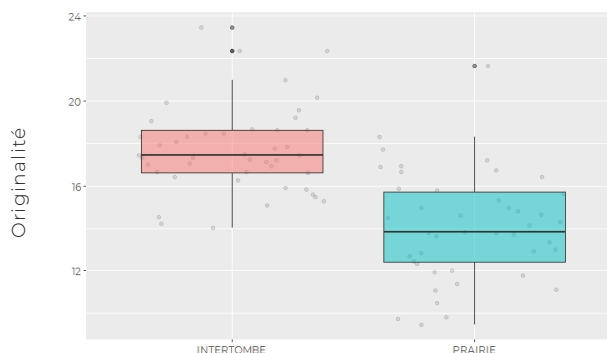
Type de données

Rareté de la flore entre les prairies et l'inter-tombe



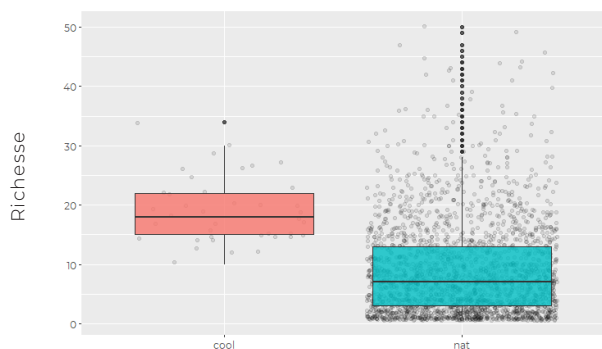
Type de données

Originalité de la flore entre les prairies et l'inter-tombe



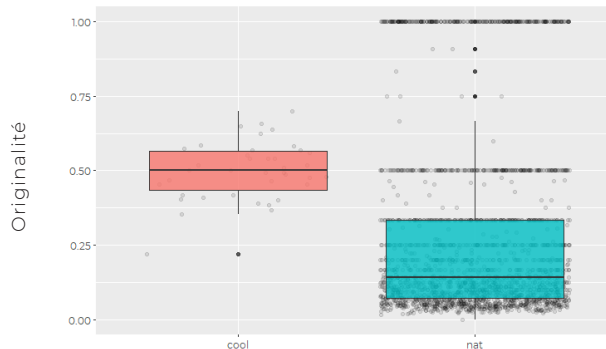
Type de données

Richesse de la flore prairiale (VF) entre les cimetières et les autres milieux



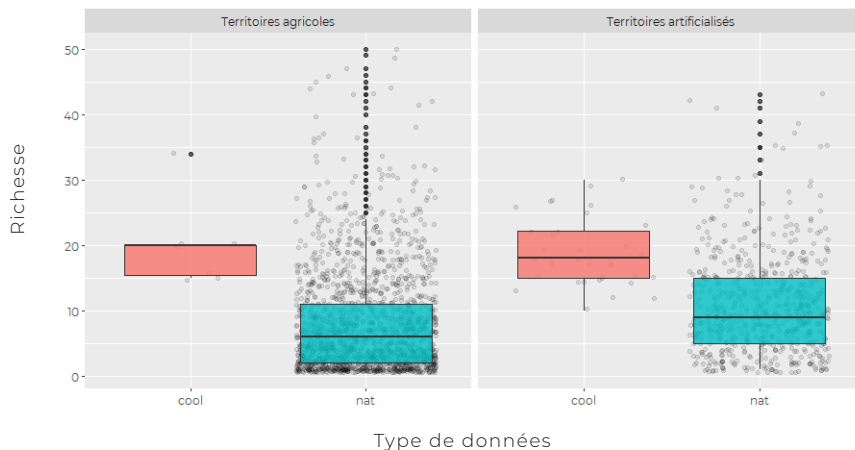
Type de données

Originalité de la flore prairiale (VF) entre les cimetières et les autres milieux



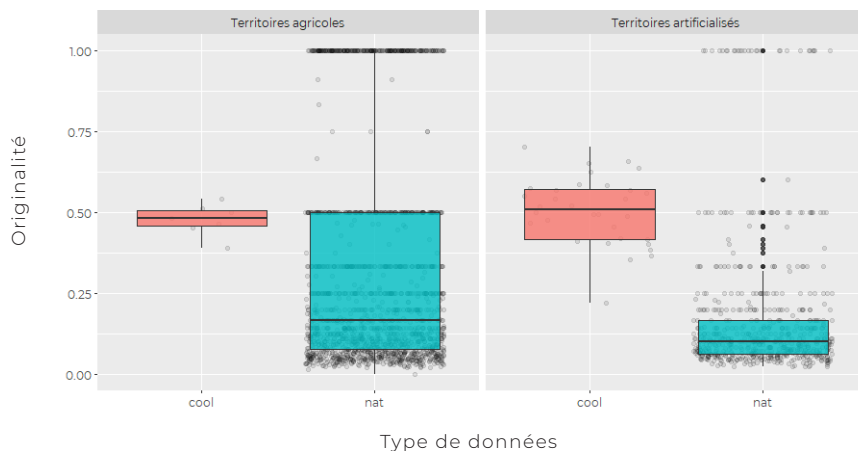
Type de données

Richesse de la flore prairiale (VF) entre les cimetières et les autres milieux (CLC)



Type de données

Originalité de la flore prairiale (VF) entre les cimetières et les autres milieux (CLC)



Type de données

ANNEXE VI

Flore vasculaire - Détails et synthèse graphique des GLM

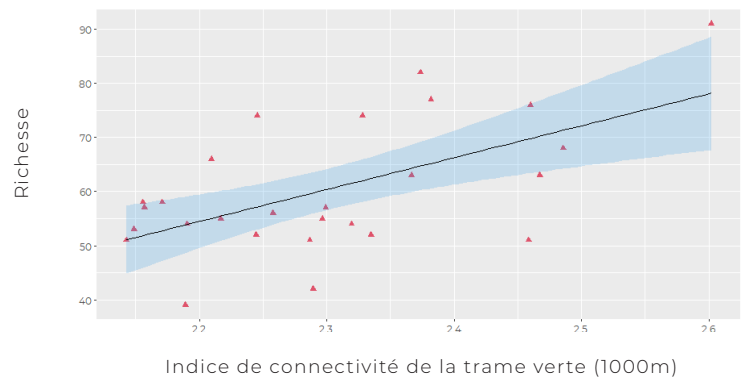
A.1. Résultats du modèle final de la richesse floristique globale :

AIC : 200.88 (null = 332.39)

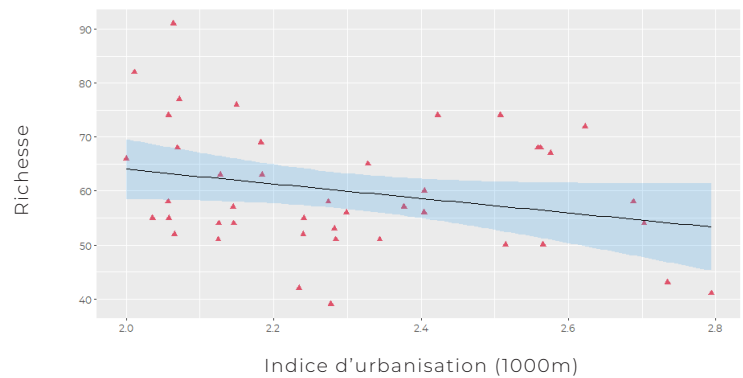
$r^2 = 45.7\%$

Variables explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice de connectivité de la trame verte (1000m)	0.0046 **	Oui > 95%	+
Indice de hauteur de végétation	0.02116 *	Oui > 95%	+
Indice d'urbanisation (1000m)	0.07560 .	Forte > 90%	-

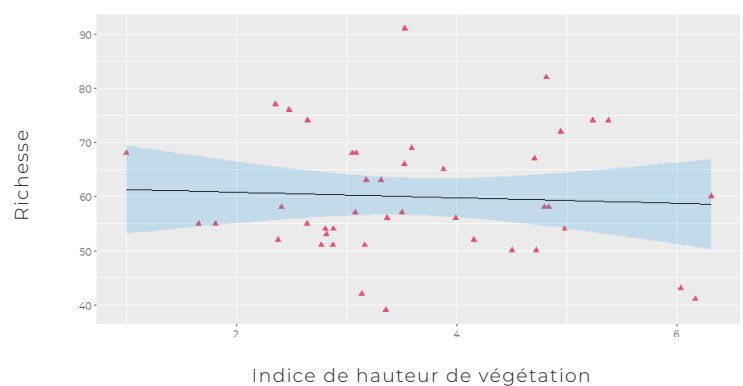
Richesse floristique en fonction de l'indice de connectivité de la trame verte (1000m)



Richesse floristique en fonction de l'indice d'urbanisation (1000m)



Richesse floristique en fonction de l'indice de hauteur de végétation



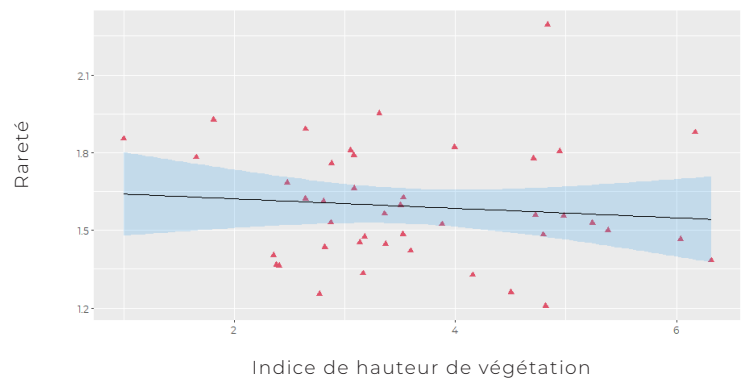
A.2. Résultats du modèle final de la rareté floristique globale :

AIC : 83.62 (null = 151.03)

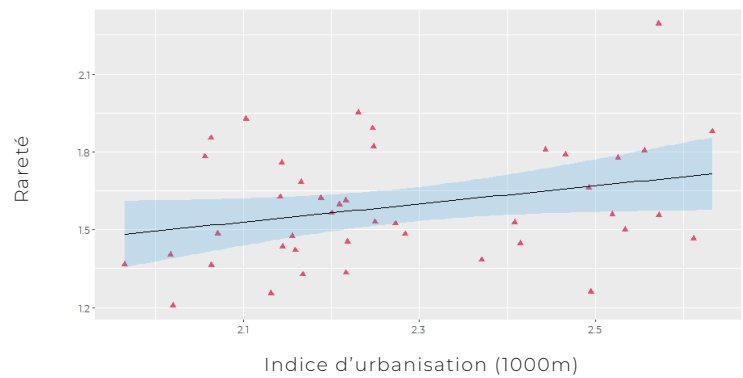
$r^2 = 48\%$

Variables explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice de hauteur de végétation	0.003206 **	Oui > 95%	-
Indice d'urbanisation (1000m)	0.005908 **	Oui > 95%	+
Indice de connectivité de la trame verte (1000m)	0.283176	Non	+

Rareté floristique en fonction de l'indice de hauteur de végétation



Rareté floristique en fonction de l'indice d'urbanisation (1000m)



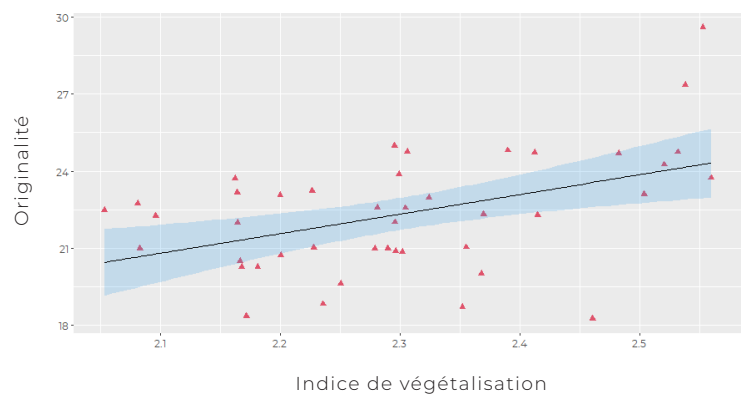
A.3. Résultats du modèle final de la originalité floristique globale :

AIC : 218.47 (null = 391.6)

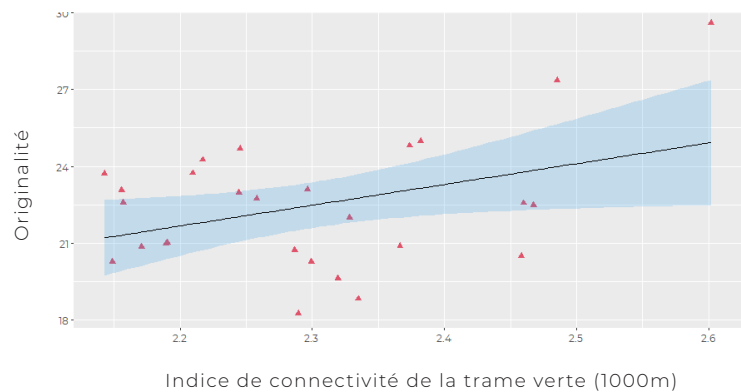
$r^2 = 62.1\%$

Variabes explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice de végétalisation	0.00015 ***	Oui > 95%	+
Indice de rémanence d'herbicides	0.01573 *	Oui > 95%	+
Indice de connectivité de la trame verte (1000m)	0.02949 *	Oui > 95%	+
Indice d'ancienneté	0.3556	Non	-

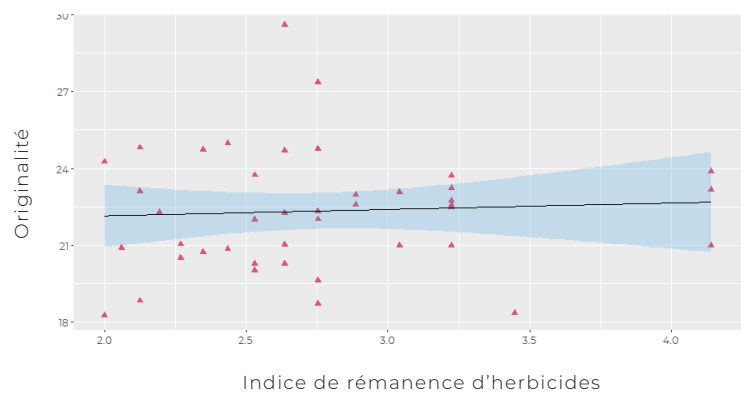
Originalité floristique en fonction de l'indice de végétalisation



Originalité floristique en fonction de l'indice de connectivité de la trame verte (1000m)



Originalité floristique en fonction de l'indice de rémanence d'herbicides



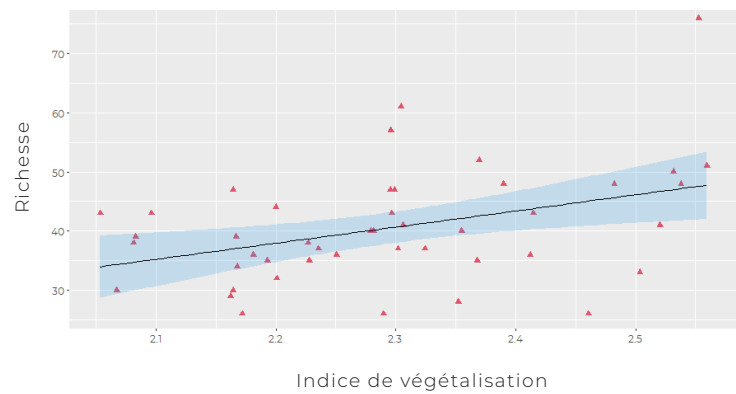
B.1. Résultats du modèle final de la richesse floristique de l'inter-tombe (SDMR) :

AIC : 452.28 (null = 744.03)

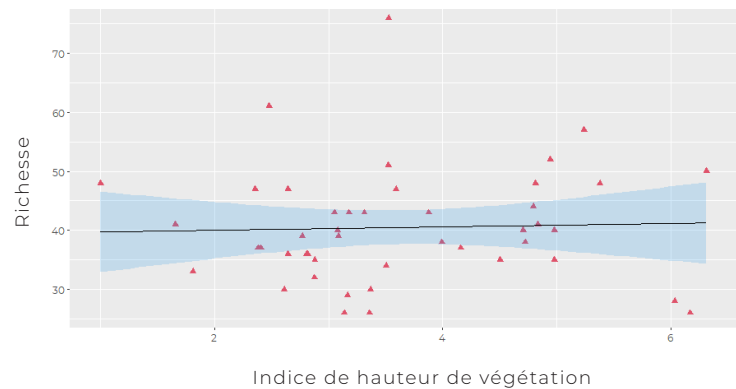
$r^2 = 52.23\%$

Variabiles explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice de connectivité de la trame verte (1000m)	0.00026 ***	Oui > 95%	+
Indice de végétalisation	0.04204 *	Oui > 95%	+
Indice de hauteur de végétation	0.08184 .	Forte > 90%	+

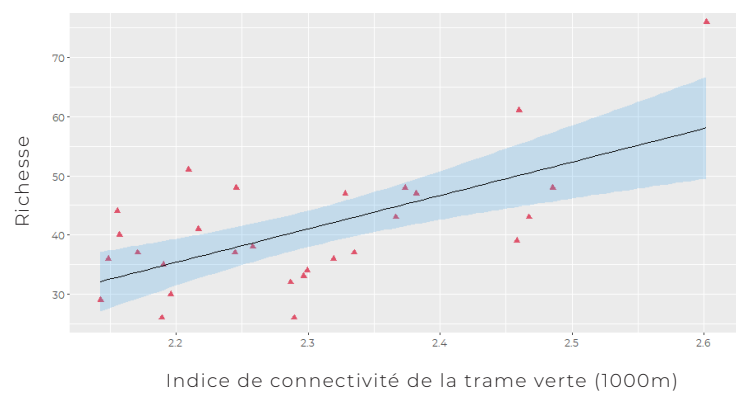
Richesse floristique de l'inter-tombe en fonction de l'indice de végétalisation



Richesse floristique de l'inter-tombe en fonction de l'indice de hauteur de végétation



Richesse floristique de l'inter-tombe en fonction de l'indice de connectivité de la trame verte à 1000m



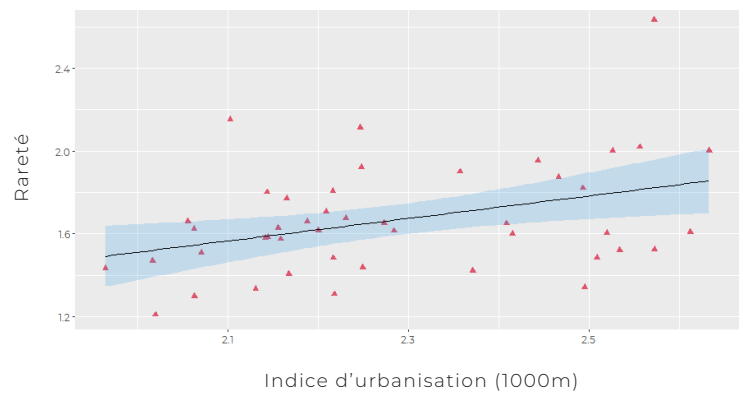
B.2. Résultats du modèle final de la rareté floristique de l'inter-tombe (SDMR) :

AIC : 138.45 (null = 157.27)

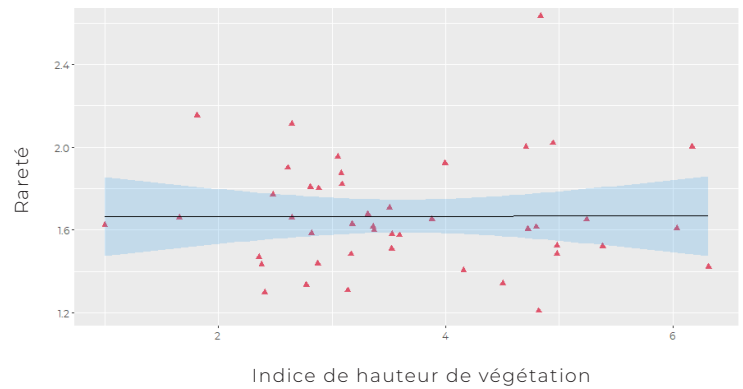
$r^2 = 30.47\%$

Variabes explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice de hauteur de végétation	0.08129 .	Forte > 90%	+
Indice d'ancienneté	0.08234 .	Forte > 90%	+
Indice d'urbanisation (1000m)	0.00224 **	Oui > 95%	+

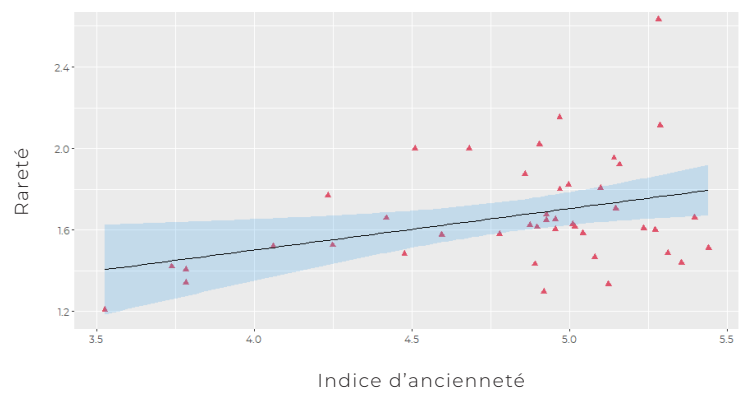
Rareté floristique de l'inter-tombe en fonction de l'indice d'urbanisation (500m)



Rareté floristique de l'inter-tombe en fonction de l'indice de hauteur de végétation



Rareté floristique de l'inter-tombe en fonction de l'indice d'ancienneté



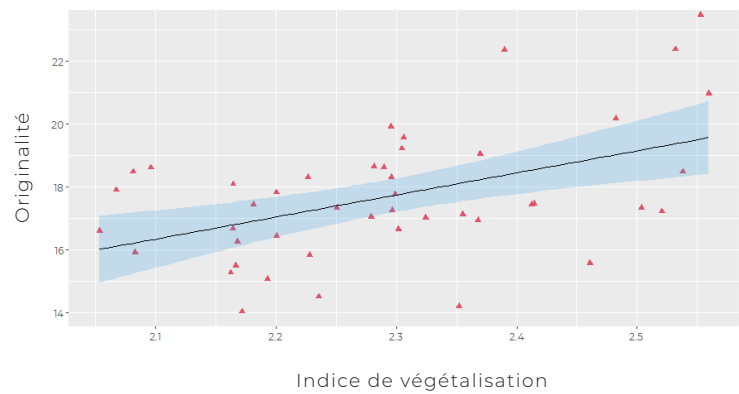
B.3. Résultats du modèle final de l'originalité floristique de l'inter-tombe (SDMR) :

AIC : 235.15 (null = 400.8)

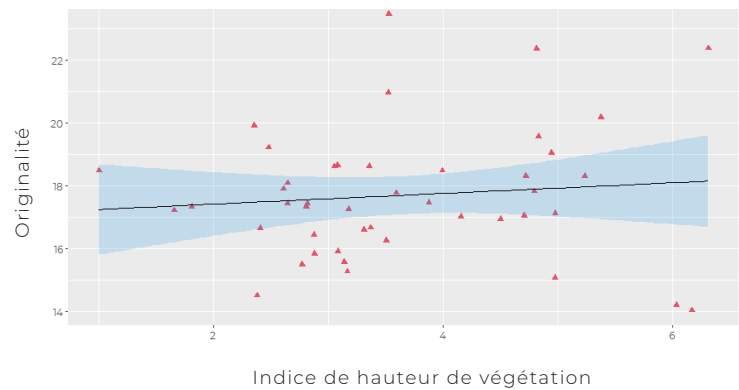
$r^2 = 61.4\%$

Variables explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice de hauteur de végétation	0.00800 **	Oui > 95%	+
Indice de végétalisation	0.00044 ***	Oui > 95%	+
Indice de rémanence d'herbicides	0.02063 *	Oui > 95%	-
Indice de connectivité de la trame verte (1000m)	0.03299 *	Oui > 95%	+

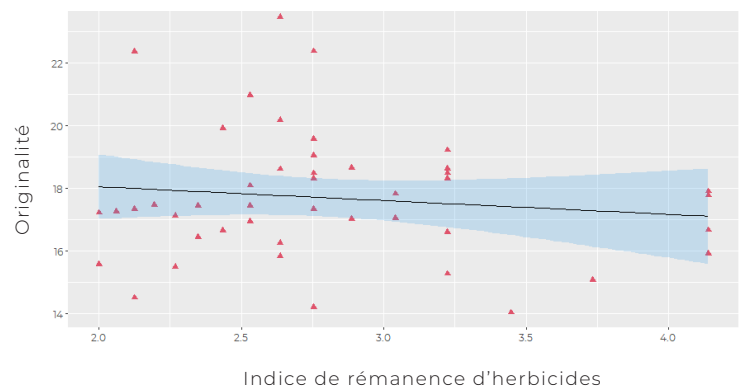
Originalité floristique de l'inter-tombe en fonction de l'indice de végétalisation



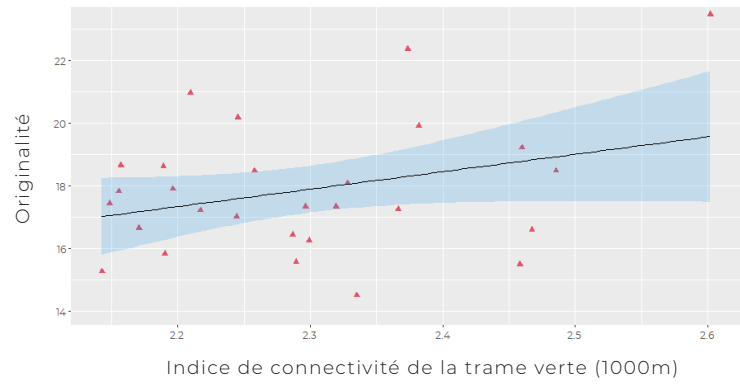
Originalité floristique de l'inter-tombe en fonction de l'indice de hauteur de végétation



Originalité floristique de l'inter-tombe en fonction de l'indice de rémanence d'herbicides



Originalité floristique de l'inter-tombe en fonction de l'indice de connectivité de la trame verte (1000m)



C.1. Résultats du modèle final pour la richesse floristique des zones prairiales (VF) :

AIC : 211.92 (null = 267.82)

$r^2 = 4.4\%$

Variabes explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice de végétalisation	0.81964	Non	-
Indice de pression d'entretien	0.86262	Non	+
Indice de rémanence d'herbicides	0.35680	Non	+
Indice d'urbanisation (1000m)	0.49986	Non	-

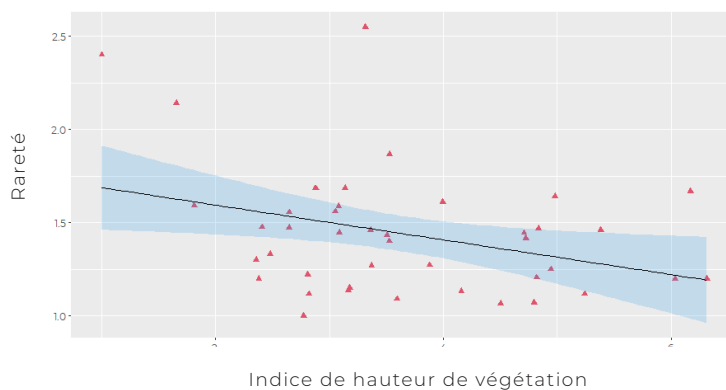
C.2. Résultats du modèle final pour la rareté floristique des zones prairiales (VF) :

AIC : 86.112 (null = 125.13)

r² = 30.73%

Variables explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice de hauteur de végétation	0.06701	Forte > 90%	-
Indice de végétalisation	0.17443	Non	+
Indice de rémanence d'herbicides	0.13305	Non	+
Indice de connectivité de la trame verte (1000m)	0.21340	Non	+

Rareté floristique des zones enherbées en fonction de l'indice de hauteur de végétation



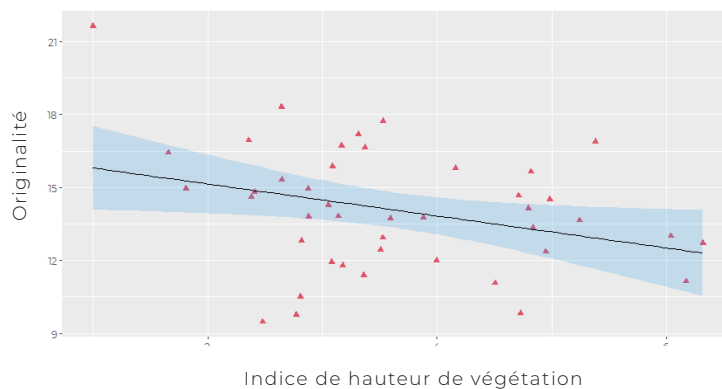
C.3. Résultats du modèle final pour l'originalité floristique des zones prairiales (VF) :

AIC : 245.92 (null = 298.45)

r² = 20%

Variables explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice de hauteur de végétation	0.09977	Forte > 90%	-
Indice de végétalisation	0.11340	Non	+
Indice d'ancienneté	0.45275	Non	-
Indice de pression d'entretien	0.26667	Non	+

Originalité floristique des zones enherbées en fonction de l'indice de hauteur de végétation



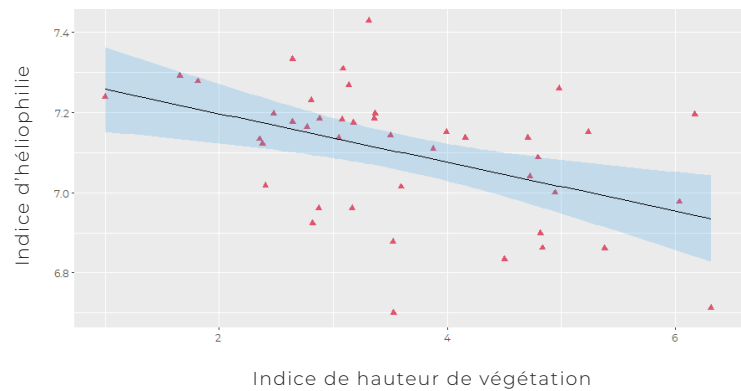
D.1. Résultats du modèle final de l'héliophilie de la flore :

AIC : 134.33 (null = 148.75)

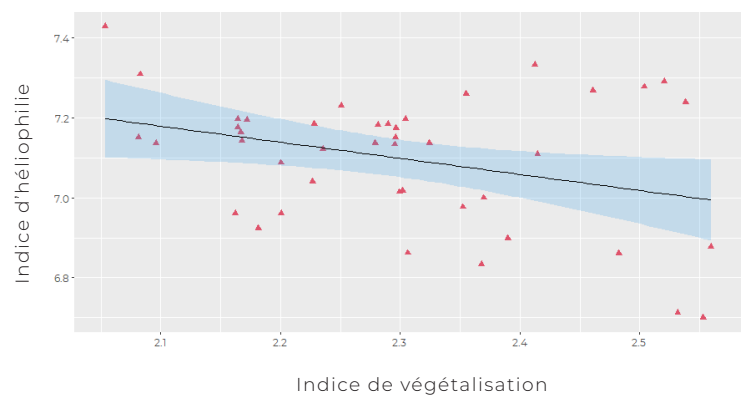
$r^2 = 29.7\%$

Variabiles explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice de hauteur de végétation	0.004214 **	Oui > 95%	-
Indice de végétalisation	0.039957 *	Oui > 95%	-
Indice d'urbanisation (1000m)	0.191429	Non	+
Indice d'ancienneté	0.917725	Non	-

Héliophilie de la flore en fonction de l'indice de hauteur de végétation



Héliophilie de la flore en fonction de l'indice de végétalisation



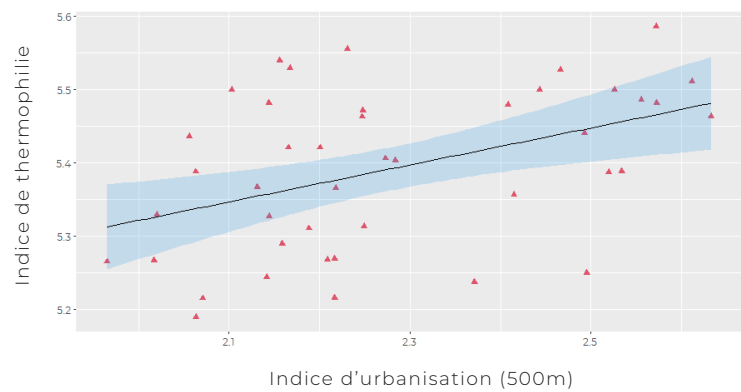
D.2. Résultats du modèle final de la thermophilie de la flore :

AIC : 109.96 (null = 140.14)

$r^2 = 26.1\%$

Variables explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice de pression d'entretien	0.40604	Non	+
Indice d'urbanisation (500m)	0.00442 **	Oui > 95%	+
Indice d'ancienneté	0.37367	Non	-

Thermophilie de la flore en fonction de l'indice d'urbanisation (500m)



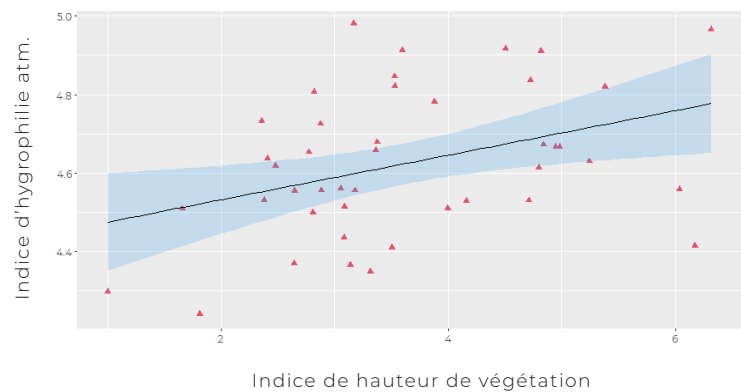
D.3. Résultats du modèle final de l'hygrophilie (atmosphérique) de la flore :

AIC : 85.689 (null = 134.26)

$r^2 = 22.4\%$

Variables explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice de hauteur de végétation	0.02543 *	Oui > 95%	+
Indice d'urbanisation (1000m)	0.46199	Non	-
Indice de connectivité de la trame verte (1000m)	0.55365	Non	-

Hygrophilie atmosphérique de la flore en fonction de l'indice de hauteur de végétation



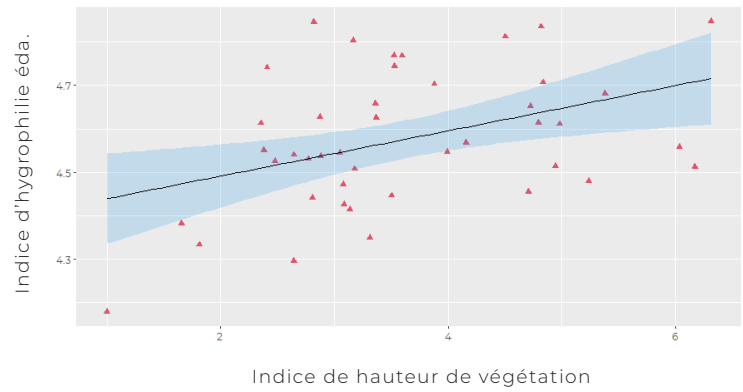
D.4. Résultats du modèle final de l'hygrophilie (édaphique) de la flore :

AIC : 80.823 (null = 133.42)

$r^2 = 27.4\%$

Variabiles explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice de hauteur de végétation	0.01159 *	Oui > 95%	+
Indice de connectivité de la trame verte (1000m)	0.21944	Non	-

Hygrophilie édaphique de la flore en fonction de l'indice de hauteur de végétation



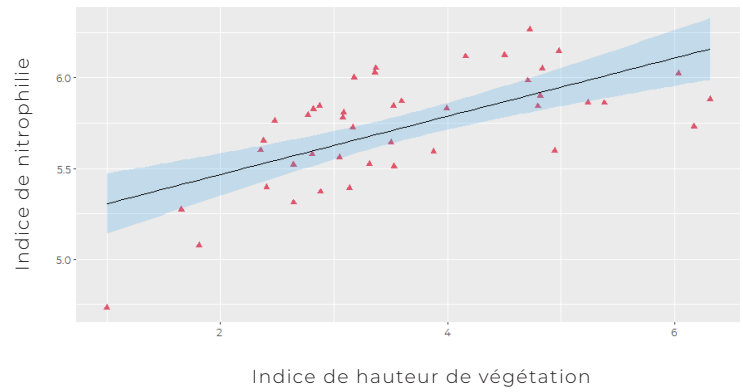
D.5. Résultats du modèle final de la nitrophilie de la flore :

AIC : 92.212 (null = 161.1)

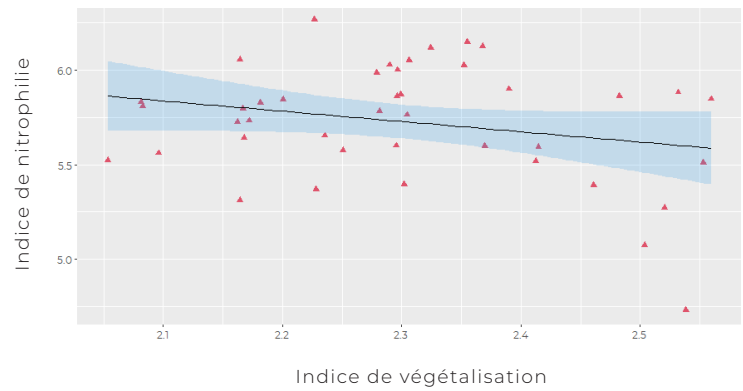
$r^2 = 49.55\%$

Variables explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice de hauteur de végétation	8.46e-07 ***	Oui > 95%	+
Indice de végétalisation	0.0251 *	Oui > 95%	-

Nitrophilie de la flore en fonction de l'indice de hauteur de végétation



Nitrophilie de la flore en fonction de l'indice de végétalisation

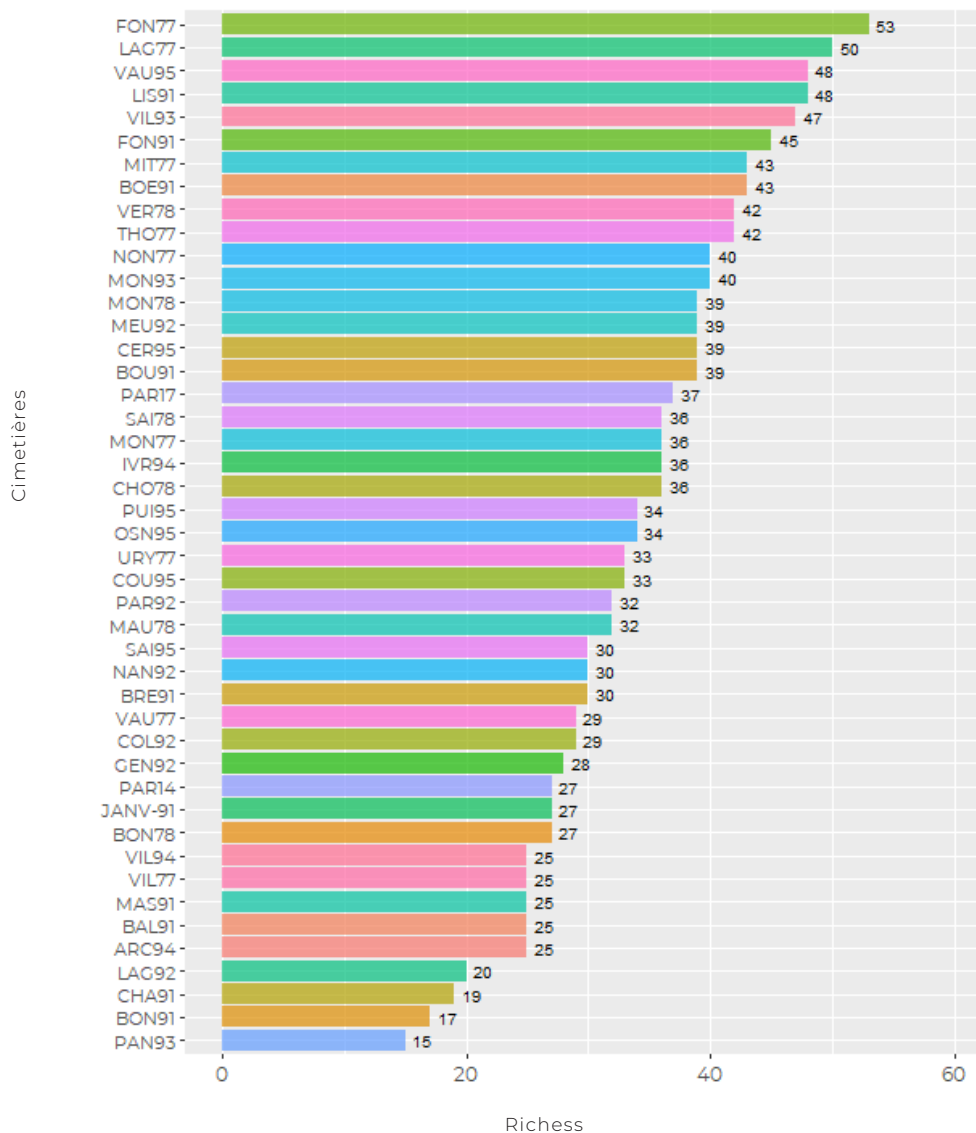


ANNEXE VII

Insectes pollinisateurs - Synthèse graphique de la richesse d'insectes pollinisateurs présents dans les cimetières

Richesse de morphogroupes d'insectes pollinisateurs rangée par cimetière dans l'ordre décroissant : Fontainebleau (53) ; Lagny-sur-Marne (50) ; Vaureal et Lisses (48) ; Villetaneuse (47) ; Fontenay-les-Briis (45) ; Boutigny-sur-Essonne et Mitry-Mory (43) ; Versailles et Thorigny-sur-Marne (42) ; Nonville et Montreuil (40) ; Montesson, Meudon, Cergy et Boussy-Saint-Antoine (39) ; Paris Batignolles (37) ; Saint-Germain-en-Laye, Montge-en-Goele, Ivry-sur-Seine et Choisel (36) ; Puiseux et Osny (34) ; Ury et Courdimanche (33) ; Paris Bagneux et Maurecourt (32) ; Saint-Ouen-Laumone, Nanterre et Breuillet (30) ; Vaux-le-Penil et Colombes (29) ; Gennevilliers (28) ; Paris Montparnasse, Janvry et Bonnelles (27) ; Villiers-sous-Grez, Massy, Ballancourt-sur-Essonne, Arcueil et Villejuif (25) ; La Garenne Colombes (20) ; Champlan (19) ; Bondoufle (17) ; Pantin (16)

Synthèse du nombre de morphogroupes d'insectes pollinisateurs retrouvés dans les cimetières pour l'année 2020



ANNEXE VIII

Insectes pollinisateurs - Détails et synthèse graphique des analyses comparatives de milieux

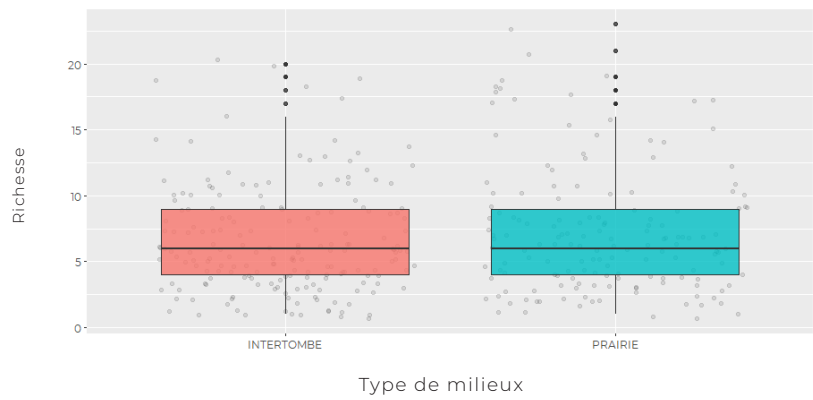
Comparaison des indicateurs de biodiversité des insectes pollinisateurs en fonction du type de milieu :

Légende des graphiques : cool : données collectées dans les cimetières ; «nat» : données collectées dans les autres milieux que les cimetières ; agr. : territoire agricole ; art. : territoire artificialisé ; nat. : territoire naturel ; C2 : données collectées sur les plantes de Classe 2 ; C4 : données collectées sur les plantes de Classe 4 ; gen : données collectées sur l'ensemble des plantes

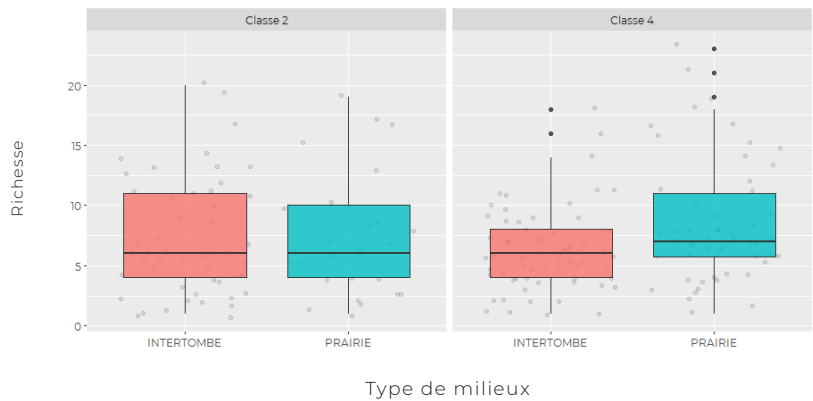
Type de tests (Wilcoxon) :	p.values	Significativité	Milieu favorable
Prairie et inter-tombe (gen) : Richesse	0.28429	Non	/
Prairie et inter-tombe (gen) : Abondance	0.48419	Non	/
Prairie et inter-tombe (gen) : Originalité	0.62304	Non	/
Prairie et inter-tombe (C2) : Richesse	0.95578	Non	/
Prairie et inter-tombe (C2) : Abondance	0.89434	Non	/
Prairie et inter-tombe (C2) : Originalité	0.21153	Non	/
Prairie et inter-tombe (C4) : Richesse	0.01566 *	Oui > 95%	prairie
Prairie et inter-tombe (C4) : Abondance	0.09198 .	Forte > 90%	prairie
Prairie et inter-tombe (C4) : Originalité	0.02281 *	Oui > 95%	prairie
Cimetières et autres milieux (gen) : Richesse	0.17047	Non	/
Cimetières et autres milieux (gen) : Abondance	0.94988	Non	/
Cimetières et autres milieux (gen) : Originalité	0.62427	Non	/
Cimetières et autres milieux (C2) : Richesse	0.20062	Non	/
Cimetières et autres milieux (C2) : Abondance	0.59550	Non	/
Cimetières et autres milieux (C2) : Originalité	0.02981 *	Oui > 95%	autres milieux
Cimetières et autres milieux (C4) : Richesse	0.49865	Non	/
Cimetières et autres milieux (C4) : Abondance	0.09116 .	Forte > 90%	cimetières
Cimetières et autres milieux (C4) : Originalité	0.00296 ***	Oui > 95%	cimetières
Cimetières agr. et autres milieux agr. (gen) : Richesse	0.00007 ***	Oui > 95%	autres milieux
Cimetières agr. et autres milieux agr. (gen) : Abondance	0.07936 .	Forte > 90%	autres milieux
Cimetières agr. et autres milieux agr. (gen) : Originalité	0.70179	Non	/
Cimetières agr. et autres milieux agr. (C2) : Richesse	0.15988	Non	/
Cimetières agr. et autres milieux agr. (C2) : Abondance	0.83232	Non	/
Cimetières agr. et autres milieux agr. (C2) : Originalité	0.81358	Non	/
Cimetières agr. et autres milieux agr. (C4) : Richesse	0.00869 ***	Oui > 95%	autres milieux
Cimetières agr. et autres milieux agr. (C4) : Abondance	0.17027	Non	/
Cimetières agr. et autres milieux agr. (C4) : Originalité	0.81358	Non	/
Cimetières art. et autres milieux art. (gen) : Richesse	0.05718 .	Forte > 90%	cimetières
Cimetières art. et autres milieux art. (gen) : Abondance	0.03491 *	Oui > 95%	cimetières
Cimetières art. et autres milieux art. (gen) : Originalité	0.16026	Non	/
Cimetières art. et autres milieux art. (C2) : Richesse	0.54794	Non	/
Cimetières art. et autres milieux art. (C2) : Abondance	0.46717	Non	/
Cimetières art. et autres milieux art. (C2) : Originalité	0.13195	Non	/
Cimetières art. et autres milieux art. (C4) : Richesse	0.01194 *	Oui > 95%	cimetières
Cimetières art. et autres milieux art. (C4) : Abondance	0.00288 ***	Oui > 95%	cimetières

Type de tests (Wilcoxon) :	p.values	Significativité	Milieu favorable
Cimetières art. et autres milieux art. (C4): Originalité	0.00037 ***	Oui > 95%	cimetières
Cimetières nat. et autres milieux nat. (gen) : Richesse	0.79816	Non	/
Cimetières nat. et autres milieux nat. (gen) : Abondance	0.28464	Non	/
Cimetières nat. et autres milieux nat. (gen) : Originalité	0.16054	Non	/
Cimetières nat. et autres milieux nat. (C2) : Richesse	0.90719	Non	/
Cimetières nat. et autres milieux nat. (C2) : Abondance	0.93041	Non	/
Cimetières nat. et autres milieux nat. (C2) : Originalité	0.22843	Non	/
Cimetières nat. et autres milieux nat. (C4) : Richesse	0.44974	Non	/
Cimetières nat. et autres milieux nat. (C4) : Abondance	0.58055	Non	/
Cimetières nat. et autres milieux nat. (C4) : Originalité	0.67494	Non	/

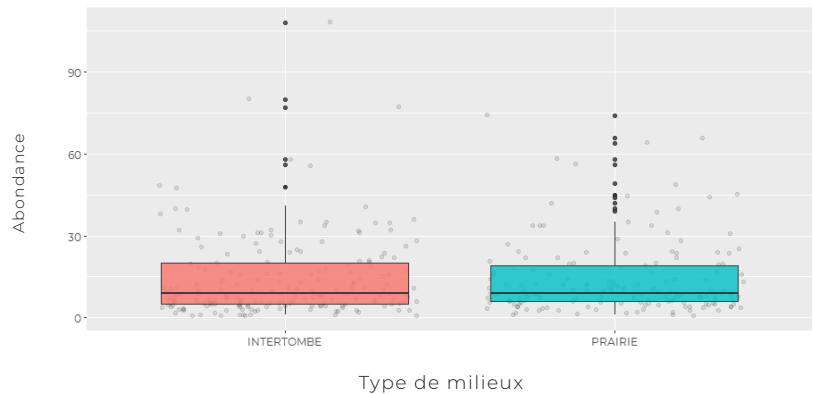
Richesse des morphogroupes d'insectes pollinisateurs entre les prairies et l'inter-tombe (général)



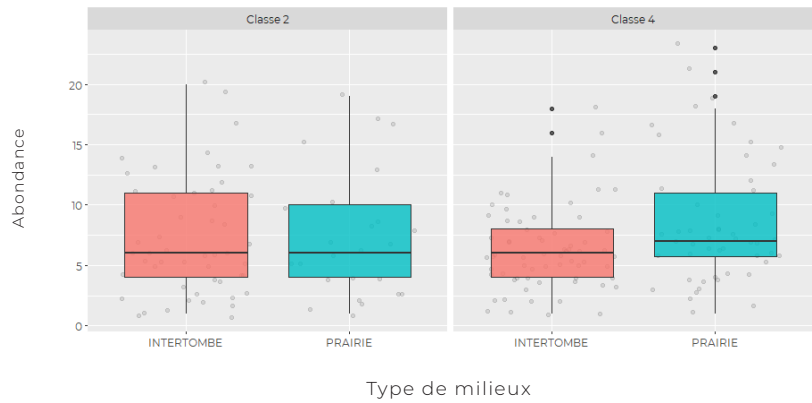
Richesse des morphogroupes d'insectes pollinisateurs entre les prairies et l'inter-tombe (C2 & C4)



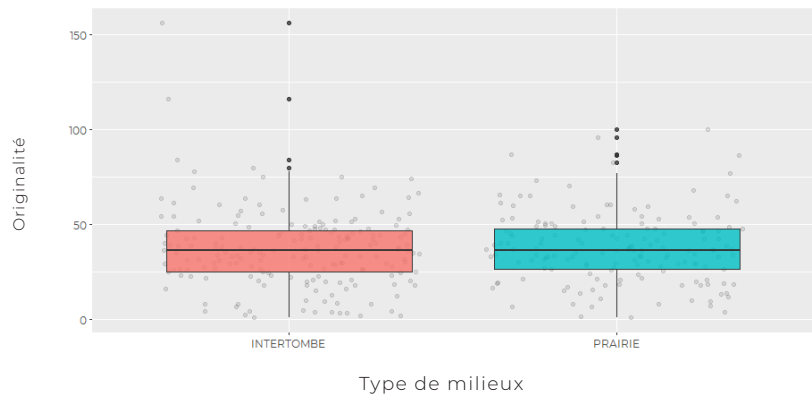
Abondance des morphogroupes d'insectes pollinisateurs entre les prairies et l'inter-tombe (général)



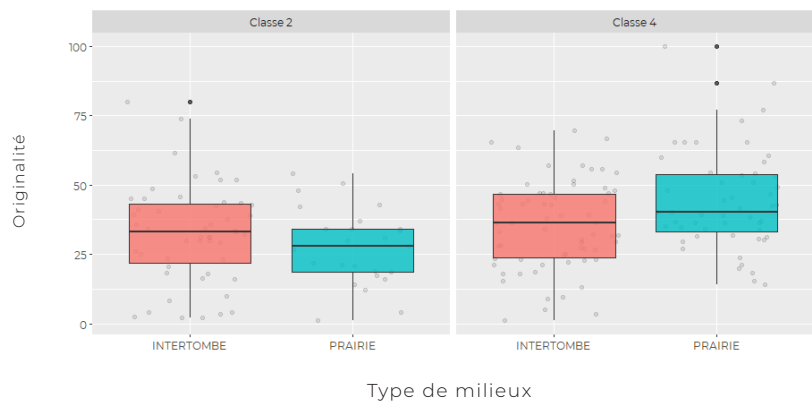
Abondance des morphogroupes d'insectes pollinisateurs entre les prairies et l'inter-tombe (C2 & C4)



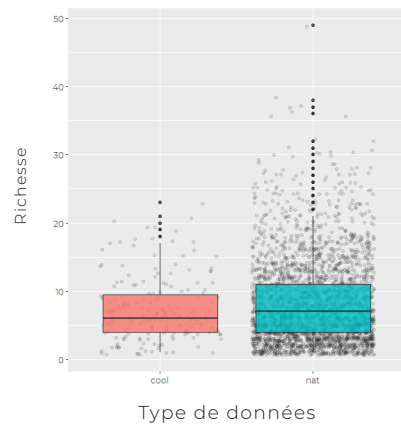
Originalité des morphogroupes d'insectes pollinisateurs entre les prairies et l'inter-tombe (général)



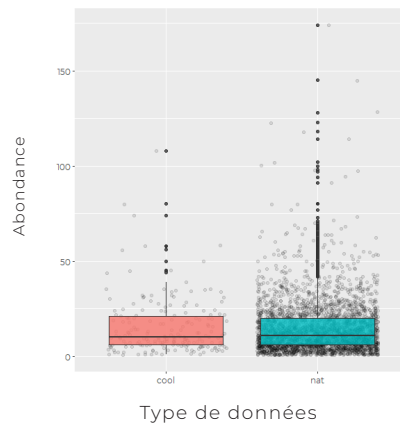
Originalité des morphogroupes d'insectes pollinisateurs entre les prairies et l'inter-tombe (C2 & C4)



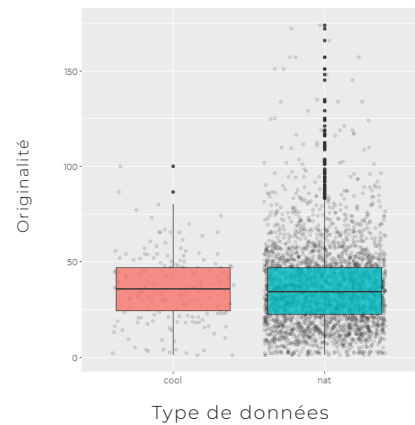
Richesse des morphogroupes d'insectes pollinisateurs entre les cimetières et les autres milieux (gen)



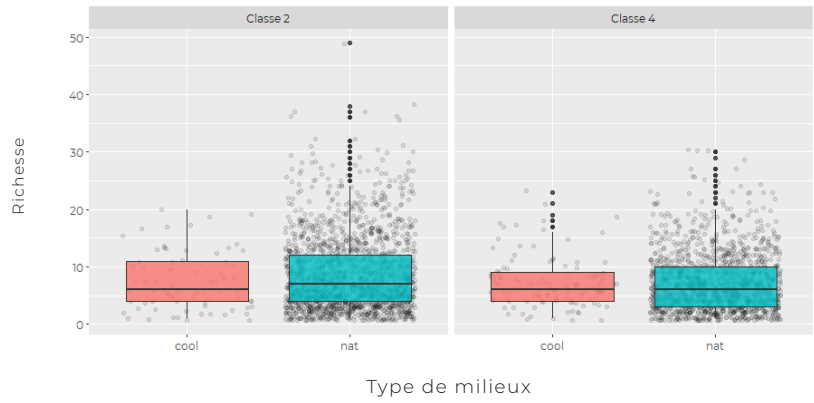
Abondance des morphogroupes d'insectes pollinisateurs entre les cimetières et les autres milieux (gen)



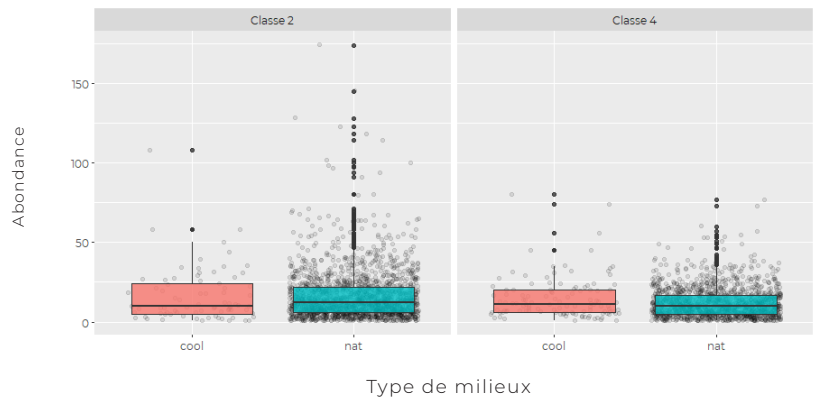
Originalité des morphogroupes d'insectes pollinisateurs entre les cimetières et les autres milieux (gen)



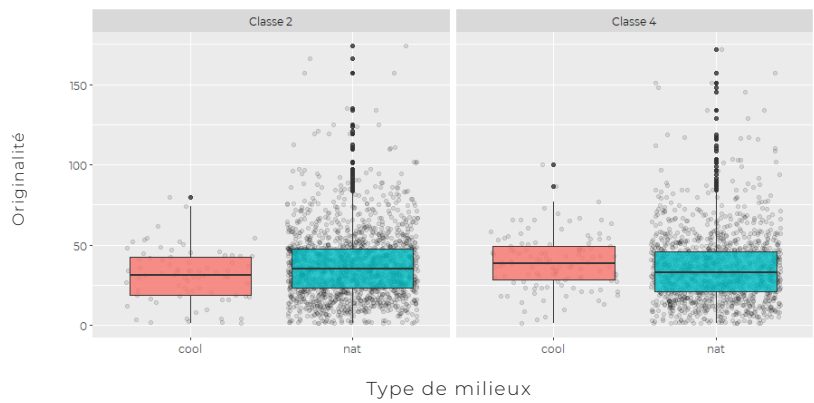
Richesse des morphogroupes d'insectes pollinisateurs entre les cimetières et les autres milieux (C2 & C4)



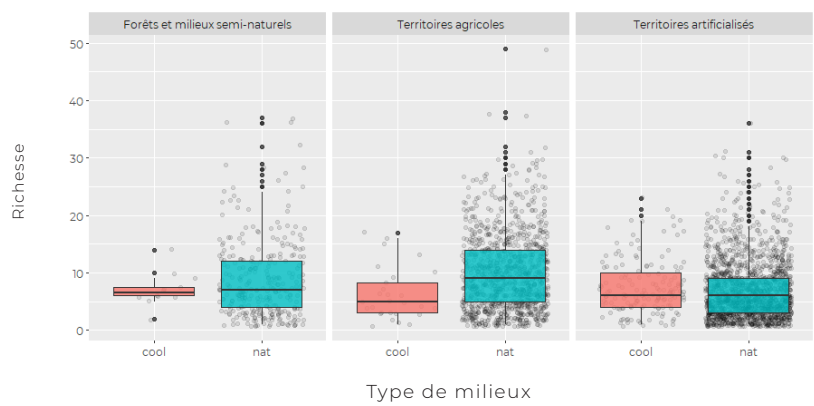
Abondance des morphogroupes d'insectes pollinisateurs entre les cimetières et les autres milieux (C2 & C4)



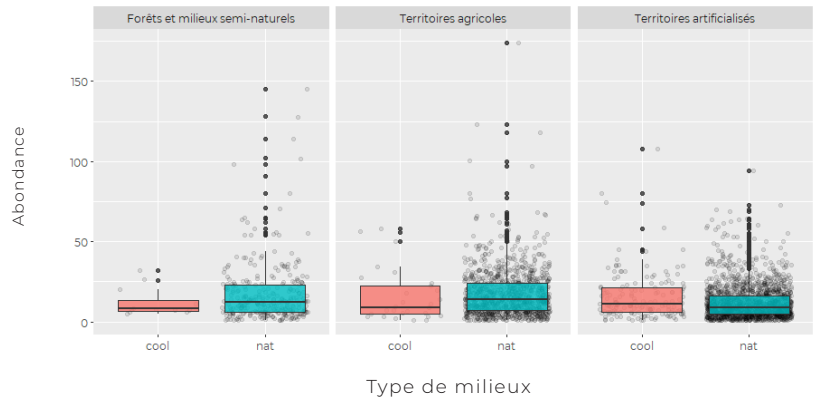
Originalité des morphogroupes d'insectes pollinisateurs entre les cimetières et les autres milieux (C2 & C4)



Richesse des morphogroupes d'insectes pollinisateurs entre les cimetières et les autres milieux (CLC + gen)



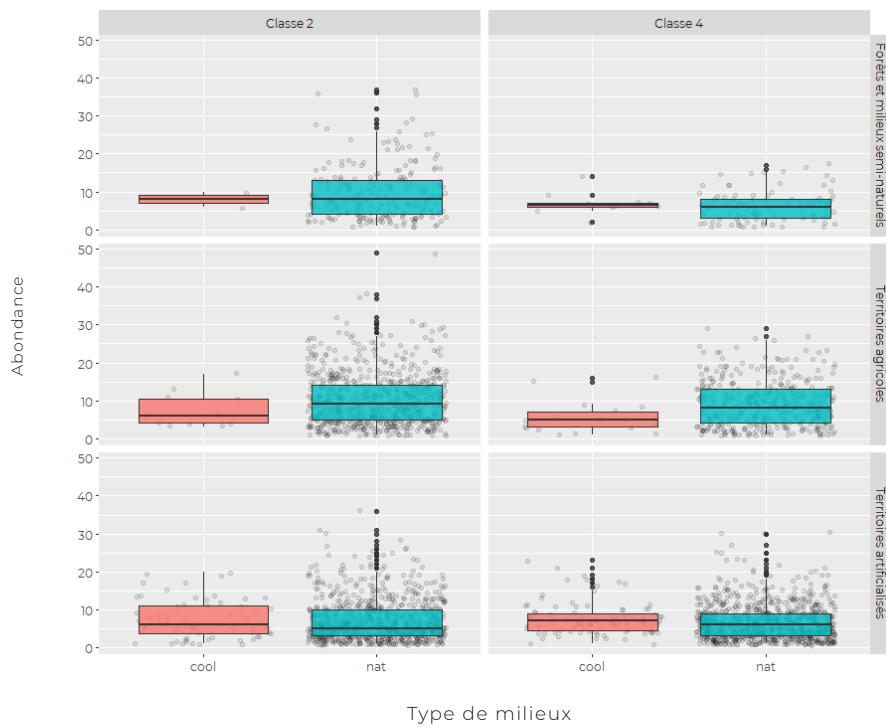
Abondance des morphogroupes d'insectes pollinisateurs entre les cimetières et les autres milieux (CLC + gen)



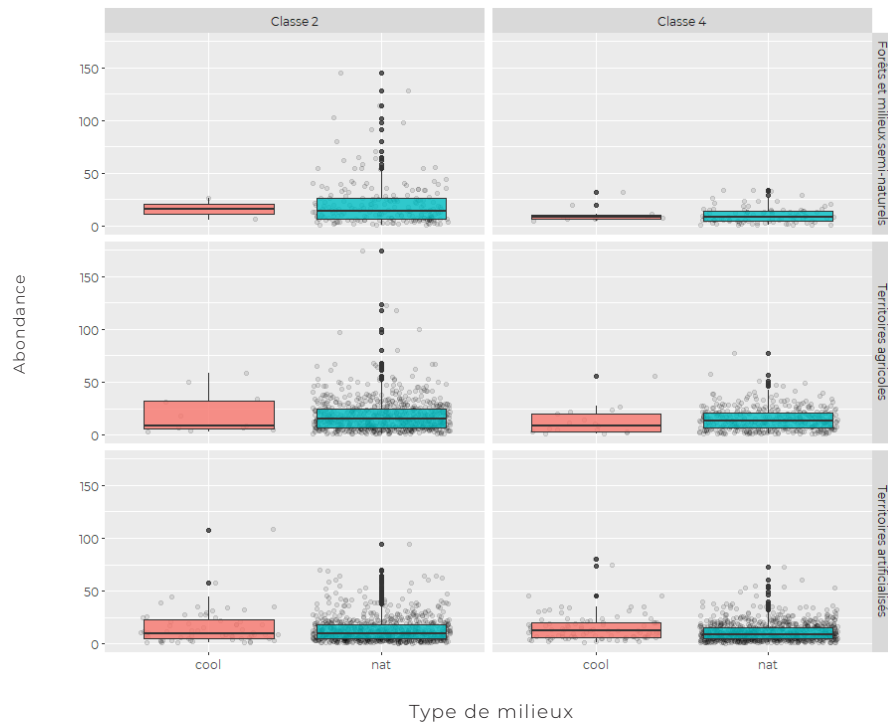
Originalité des morphogroupes d'insectes pollinisateurs entre les cimetières et les autres milieux (CLC + gen)



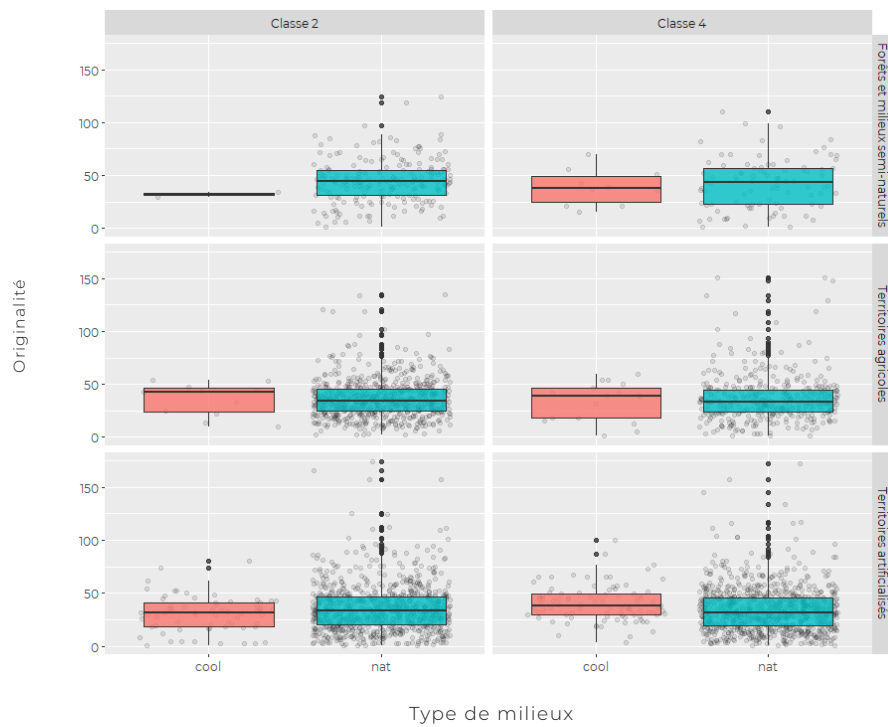
Richesse des morphogroupes d'insectes pollinisateurs entre les cimetières et les autres milieux (CLC + C2 & C4)



Abondance des morphogroupes d'insectes pollinisateurs entre les cimetières et les autres milieux (CLC + C2 & C4)



Originalité des morphogroupes d'insectes pollinisateurs entre les cimetières et les autres milieux (CLC + C2 & C4)



ANNEXE IX

Insectes pollinisateurs - Détails et synthèse graphique des GLM

A.1. Résultats du modèle final de la richesse des morphogroupes d'insectes pollinisateurs (général) :

AIC : 987.82 (null = 1914)

$r^2 = 8.84\%$

Variables explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice de hauteur de végétation	0.54057	Non	-
Indice de végétalisation	0.23292	Non	-
Indice d'ancienneté	0.67616	Non	-
Indice de pression d'entretien	0.04244 *	Oui > 95%	+
Indice de rémanence d'herbicides	0.02842 *	Oui > 95%	+
Indice d'urbanisation (1000m)	0.43056	Non	-
Indice de connectivité de la trame verte (1000m)	0.03315 *	Oui > 95%	-
Taux d'entomogamie	0.65264	Non	+

A.2. Résultats du modèle final de l'abondance des morphogroupes d'insectes pollinisateurs (général) :

AIC : 1287.7 (null = 2548.3)

$r^2 = 14\%$

Variables explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice de végétalisation	0.06107 .	Forte > 90%	-
Indice d'ancienneté	0.33676	Non	-
Indice de pression d'entretien	0.00073 ***	Oui > 95%	+
Indice de rémanence d'herbicides	0.02889 *	Oui > 95%	+
Indice d'urbanisation (500m)	0.01463 *	Oui > 95%	-
Indice de connectivité de la trame verte (1000m)	0.34918	Non	-

A.3. Résultats du modèle final de l'originalité des morphogroupes d'insectes pollinisateurs (général) :

AIC : 1584.9 (null = 3029.7)

$r^2 = 2.92\%$

Variables explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice de hauteur de végétation	0.55633	Non	+
Indice de végétalisation	0.19447	Non	+
Indice d'ancienneté	0.17065	Non	-
Indice de pression d'entretien	0.83942	Non	+
Indice de rémanence d'herbicides	0.48061	Non	+
Indice de connectivité de la trame verte (1000m)	0.66616	Non	-
Taux d'entomogamie	0.48798	Non	+

B.1. Résultats du modèle final de la richesse des morphogroupes d'insectes pollinisateurs (C2) :

AIC : 351.21 (null = 449.9)

$r^2 = 8.21\%$

Variables explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice de végétalisation	0.64870	Non	-
Indice d'ancienneté	0.71008	Non	-
Indice de pression d'entretien	0.04084 *	Oui > 95%	+
Taux d'entomogamie	0.66823	Non	+

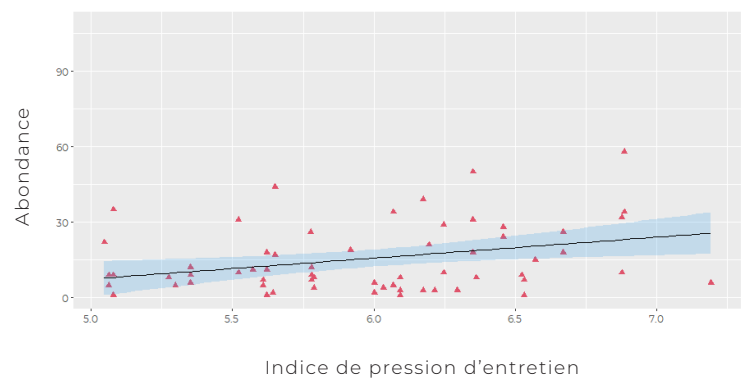
B.2. Résultats du modèle final de l'abondance des morphogroupes d'insectes pollinisateurs (C2) :

AIC : 284.93 (null = 592.82)

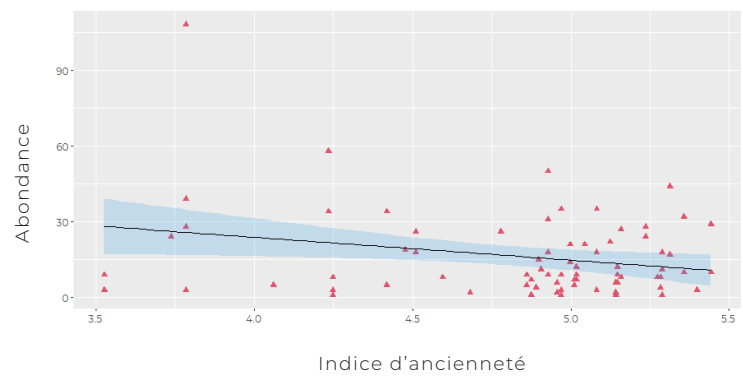
$r^2 = 36.2\%$

Variabiles explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice de végétalisation	0.04446 *	Oui > 95%	-
Indice d'ancienneté	0.07407 .	Forte > 90%	-
Indice de pression d'entretien	0.01438 *	Oui > 95%	+
Indice d'urbanisation (1000m)	0.11780	Non	-
Indice de connectivité de la trame verte (500m)	0.49964	Non	-

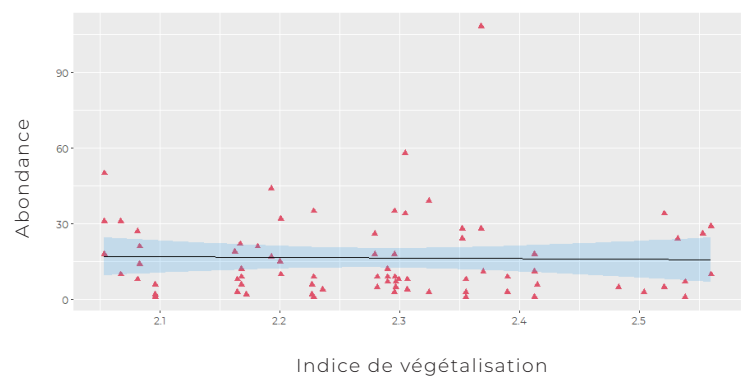
Abondance d'insectes pollinisateurs présents sur les plantes C2 en fonction de l'indice de pression d'entretien



Abondance d'insectes pollinisateurs présents sur les plantes C2 en fonction de l'indice d'ancienneté



Abondance d'insectes pollinisateurs présents sur les plantes C2 en fonction de l'indice de végétalisation



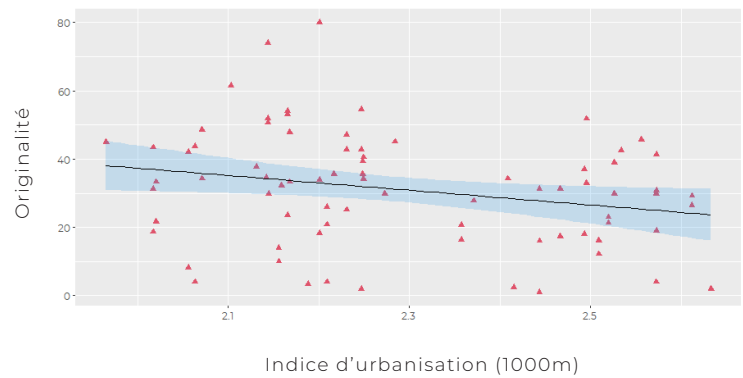
B.3. Résultats du modèle final de l'originalité des morphogroupes d'insectes pollinisateurs (C2) :

AIC : 345.93 (null = 663.43)

$r^2 = 23.47\%$

Variables explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice de hauteur de végétation	0.67850	Non	+
Indice d'ancienneté	0.76417	Non	-
Indice de pression d'entretien	0.49371	Non	-
Indice de rémanence d'herbicides	0.22373	Non	+
Indice d'urbanisation (1000m)	0.08862 *	Forte > 90%	-
Indice de connectivité de la trame verte (1000m)	0.44247	Non	-
Taux d'entomogamie	0.14866	Non	-
Indice de surface	0.41422	Non	+

*Originalité d'insectes pollinisateurs
présents sur les plantes C2 en fonction de
l'indice d'urbanisation*



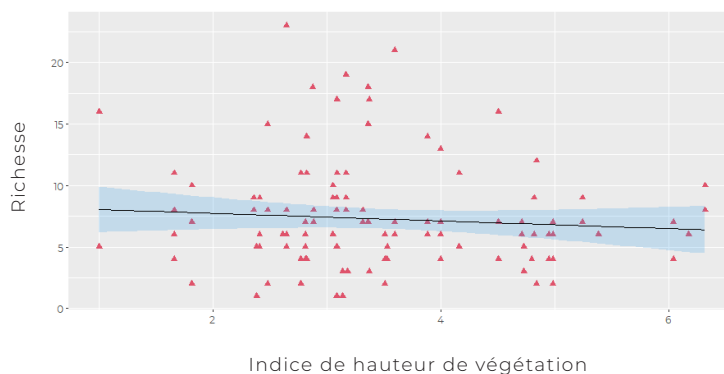
C.1. Résultats du modèle final de la richesse des morphogroupes d'insectes pollinisateurs (C4) :

AIC : 328.49 (null = 662.86)

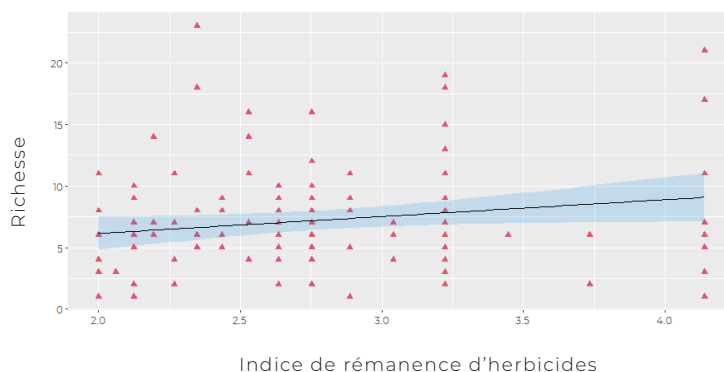
$r^2 = 28.43\%$

Variabiles explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice de hauteur de végétation	0.08782 .	Forte > 90%	-
Indice de pression d'entretien	0.10696	Non	+
Indice de rémanence d'herbicides	0.00169 **	Oui > 95%	+
Indice de connectivité de la trame verte (500m)	0.02598 *	Oui > 95%	-

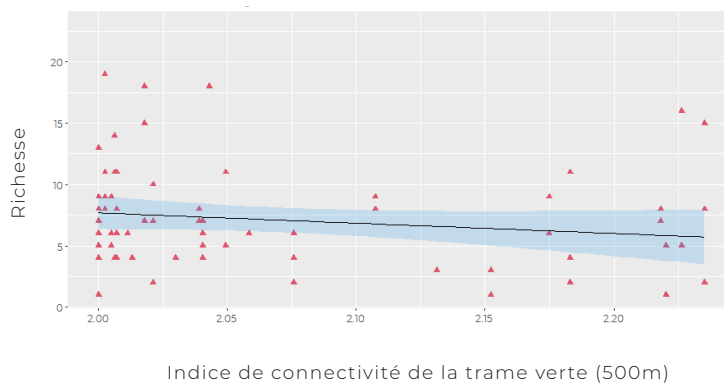
Richesse d'insectes pollinisateurs présents sur les plantes C4 en fonction de l'indice de hauteur de végétation



Richesse d'insectes pollinisateurs présents sur les plantes C4 en fonction de l'indice de rémanence d'herbicides



Richesse d'insectes pollinisateurs présents sur les plantes C4 en fonction de l'indice de connectivité de la trame verte (500m)



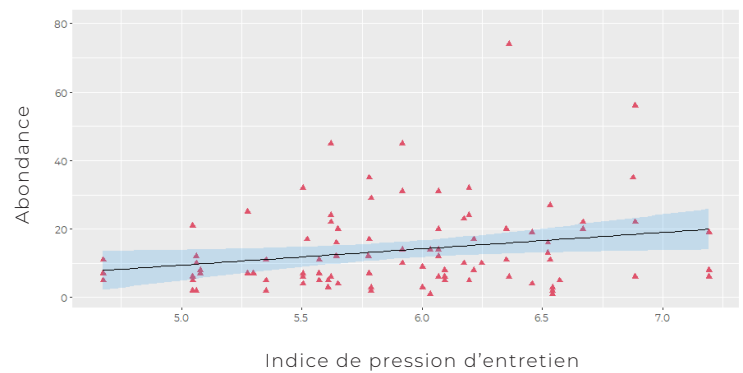
C.2. Résultats du modèle final de l'abondance des morphogroupes d'insectes pollinisateurs (C4) :

AIC : 401.95 (null = 874.67)

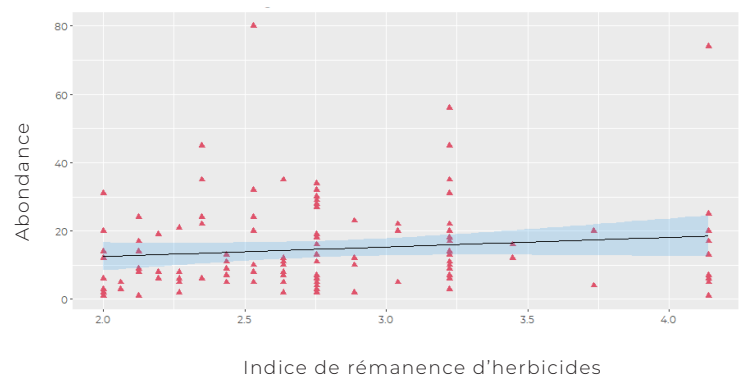
$r^2 = 23.2\%$

Variabiles explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice de hauteur de végétation	0.15175	Non	-
Indice d'ancienneté	0.47308	Non	-
Indice de pression d'entretien	0.01239 *	Oui > 95%	+
Indice de rémanence d'herbicides	0.08116 .	Forte > 90%	+
Indice d'urbanisation (1000m)	0.30898	Non	+
Indice de connectivité de la trame verte (1000m)	0.72540	Non	-
Indice de surface	0.30934	Non	-

Abondance d'insectes pollinisateurs présents sur les plantes C4 en fonction de l'indice de pression d'entretien



Abondance d'insectes pollinisateurs présents sur les plantes C4 en fonction de l'indice de rémanence d'herbicides



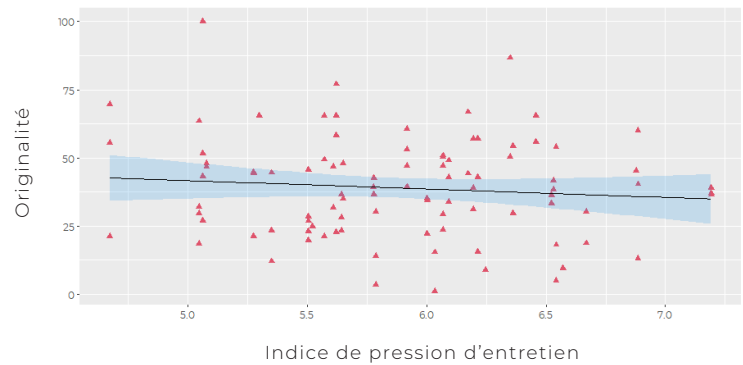
C.3. Résultats du modèle final de l'originalité des morphogroupes d'insectes pollinisateurs (C4) :

AIC : 499.46 (null = 1026.2)

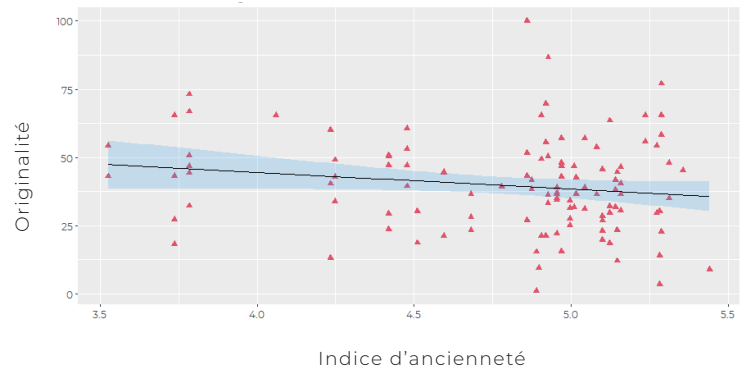
$r^2 = 28.73\%$

Variabiles explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice de hauteur de végétation	0.20411	Non	-
Indice d'ancienneté	0.03623 *	Oui > 95%	-
Indice de pression d'entretien	0.06702 .	Forte > 90%	-
Indice de rémanence d'herbicides	0.30997	Non	+
Indice d'urbanisation (1000m)	0.03293 *	Oui > 95%	+
Indice de connectivité de la trame verte (1000m)	0.34748	Non	+
Taux d'entomogamie	0.29836	Non	-
Indice de surface	0.27284	Non	-

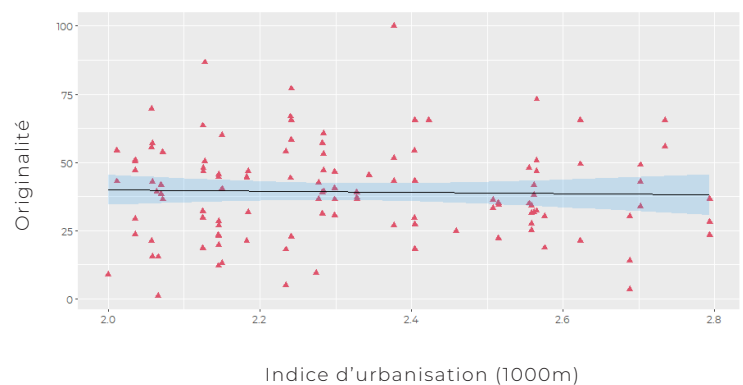
Originalité d'insectes pollinisateurs présents sur les plantes C4 en fonction de l'indice de pression d'entretien



Originalité d'insectes pollinisateurs présents sur les plantes C4 en fonction de l'indice d'ancienneté



Originalité d'insectes pollinisateurs présents sur les plantes C4 en fonction de l'indice d'urbanisation (1000m)

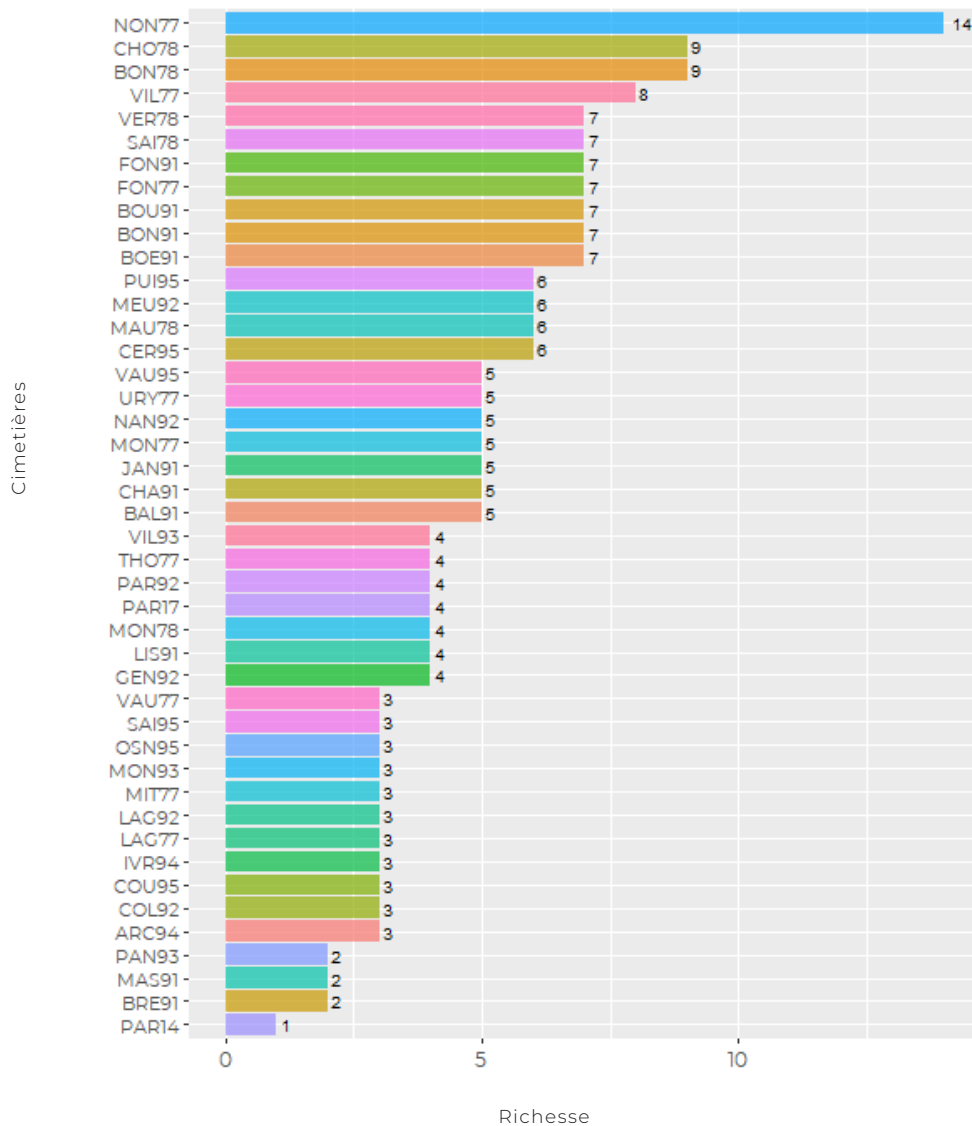


ANNEXE X

Chiroptères - Synthèse graphique de la richesse chiroptérologique présente dans les cimetières

Richesse chiroptérologique rangée par cimetière dans l'ordre décroissant : Nonville (14) ; Choisel et Bonnelles (9) ; Villiers-Sous-Grez (8) ; Versailles, Saint-Germain-en-Laye, Boutigny-sur-Essonne, Fontenaibleau, Bondoufle, Fontenay-les-Briis et Boussy-Saint-Antoine (7) ; Puiseux, Meudon, Maurecourt et Cergy (6) ; Ury, Nanterre, Montge-en-Goele, Janvry, Champlan, Ballancourt-sur-Essonne et Vaureal (5) ; Villateneuse, Thorigny-sur-Marne, Paris Bagneux, Paris Batignolles, Montesson, Lisses, Gennevilliers (4) ; Vaux-Le-Penil, Saint-Ouen-Laumone, Osny, Montreuil, Mitry-Mory, La Garenne Colombes, Lagny-sur-Marne, Ivry-sur-Seine, Courdimanche, Colombes, Arcueil (3) ; Pantin, Massy et Breuillet (2) ; Paris Montparnasse (1)

Synthèse du nombre d'espèces de chiroptères retrouvées dans les cimetières pour l'année 2020



ANNEXE XI

Chiroptères - Détails et synthèse graphique des analyses comparatives de milieu

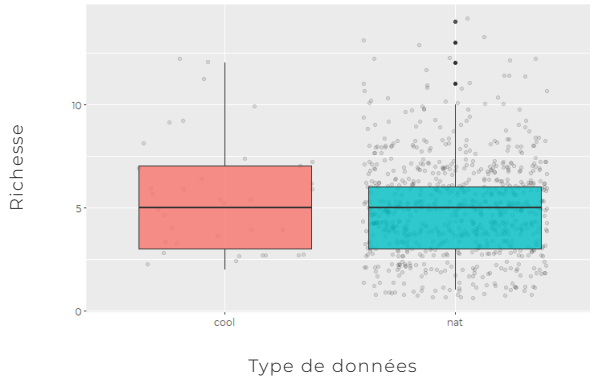
Comparaison des indicateurs de biodiversité des chiroptères en fonction du type de milieu :

Légende des graphiques : cool : données collectées dans les cimetières ; nat : données collectées dans les autres milieux que les cimetières ; agr : territoire agricole ; art : territoire artificialisé

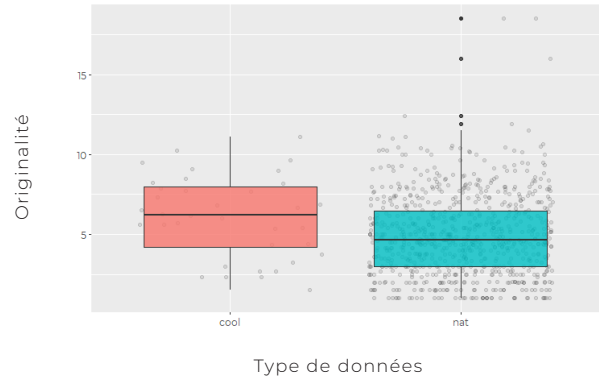
Type de tests (Wilcoxon) :	p.values	Significativité	Milieu favorable
Cimetières et autres milieux : Richesse	0.257	Non	/
Cimetières et autres milieux : Originalité	0.005 *	Oui > 95%	cimetières
Cimetières et autres milieux : Originalité pondérée	0.090 .	Forte > 90%	autres milieux
Cimetières et autres milieux : Indice de Shannon	0.307	Non	/
Cimetières et autres milieux : Taux d'activité	0.104	Non	/
Cimetières et autres milieux : Tx d'act. - <i>P. pipistrellus</i>	0.622	Non	/
Cimetières et autres milieux : Tx d'act. - <i>P. kuhlii</i>	0.593	Non	/
Cimetières et autres milieux : Tx d'act. - <i>N. noctula</i>	0.768	Non	/
Cimetières et autres milieux : Tx d'act. - <i>E. serotinus</i>	0.649	Non	/
Cimetières et autres milieux : Occ. - <i>P. pipistrellus</i>	0.622	Non	/
Cimetières et autres milieux : Occ. - <i>P. kuhlii</i>	0.593	Non	/
Cimetières et autres milieux : Occ. - <i>N. noctula</i>	0.768	Non	/
Cimetières et autres milieux : Occ. - <i>E. serotinus</i>	0.649	Non	/
Cimetières art. et autres milieux art. : Richesse	0.225	Non	/
Cimetières art. et autres milieux art. : Originalité	0.001 **	Oui > 95%	cimetières
Cimetières art. et autres milieux art. : Originalité pondérée	0.602	Non	/
Cimetières art. et autres milieux art. : Indice de Shannon	0.513	Non	/
Cimetières art. et autres milieux art. : Taux d'activité	0.051 .	Forte > 90%	cimetières
Cimetières art. et autres milieux art. : Tx d'act. - <i>P. pipistrellus</i>	0.728	Non	/
Cimetières art. et autres milieux art. : Tx d'act. - <i>P. kuhlii</i>	0.411	Non	/
Cimetières art. et autres milieux art. : Tx d'act. - <i>N. noctula</i>	0.672	Non	/
Cimetières art. et autres milieux art. : Tx d'act. - <i>E. serotinus</i>	0.123	Non	/
Cimetières art. et autres milieux art. : Occ. - <i>P. pipistrellus</i>	0.728	Non	/
Cimetières art. et autres milieux art. : Occ. - <i>P. kuhlii</i>	0.411	Non	/
Cimetières art. et autres milieux art. : Occ. - <i>N. noctula</i>	0.672	Non	/
Cimetières art. et autres milieux art. : Occ. - <i>E. serotinus</i>	0.123	Non	/
Cimetières agr. et autres milieux agr. : Richesse	0.919	Non	/
Cimetières agr. et autres milieux agr. : Originalité	0.368	Non	/
Cimetières agr. et autres milieux agr. : Originalité pondérée	0.249	Non	/
Cimetières agr. et autres milieux agr. : Indice de Shannon	0.199	Non	/
Cimetières agr. et autres milieux agr. : Taux d'activité	0.491	Non	/
Cimetières agr. et autres milieux agr. : Tx d'act. - <i>P. pipistrellus</i>	0.313	Non	/
Cimetières agr. et autres milieux agr. : Tx d'act. - <i>P. kuhlii</i>	0.397	Non	/
Cimetières agr. et autres milieux agr. : Tx d'act. - <i>N. noctula</i>	0.831	Non	/
Cimetières agr. et autres milieux agr. : Tx d'act. - <i>E. serotinus</i>	0.488	Non	/
Cimetières agr. et autres milieux agr. : Occ. - <i>P. pipistrellus</i>	0.313	Non	/

Type de tests (Wilcoxon) :	p.values	Significativité	Milieu favorable
Cimetières agr. et autres milieux agr. : Occ. - <i>P. kuhlii</i>	0.397	Non	/
Cimetières agr. et autres milieux agr. : Occ. - <i>N. noctula</i>	0.831	Non	/
Cimetières agr. et autres milieux agr. : Occ. - <i>E. serotinus</i>	0.488	Non	/

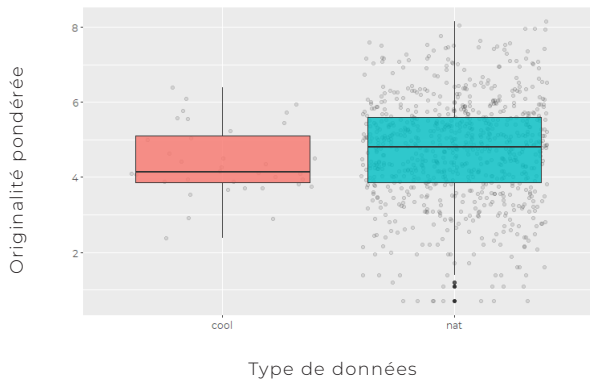
Richesse des chiroptères entre les cimetières et les autres milieux



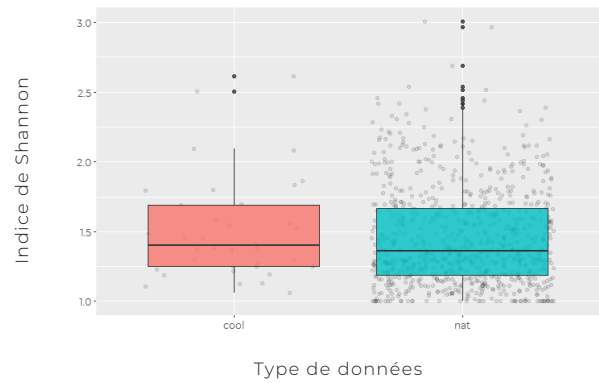
Originalité des chiroptères entre les cimetières et les autres milieux



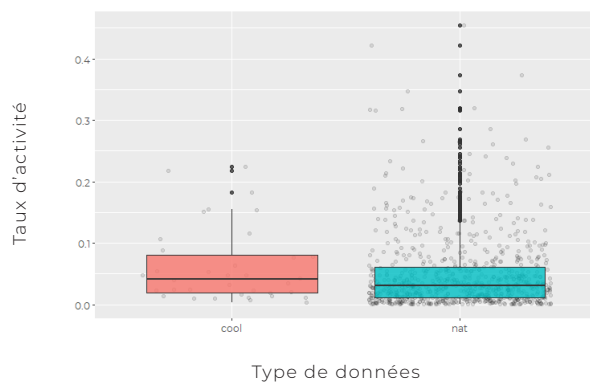
Originalité pondérée des chiroptères entre les cimetières et les autres milieux



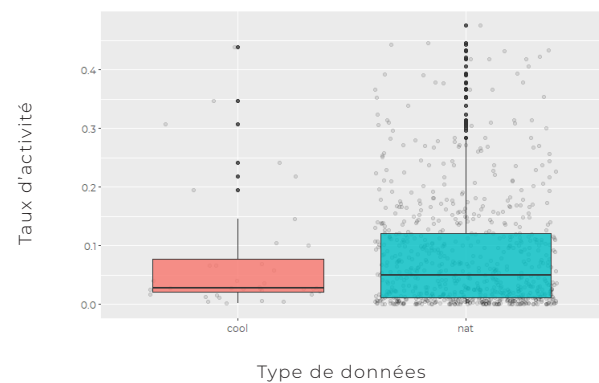
Richesse (indice de shannon) des chiroptères entre les cimetières et les autres milieux



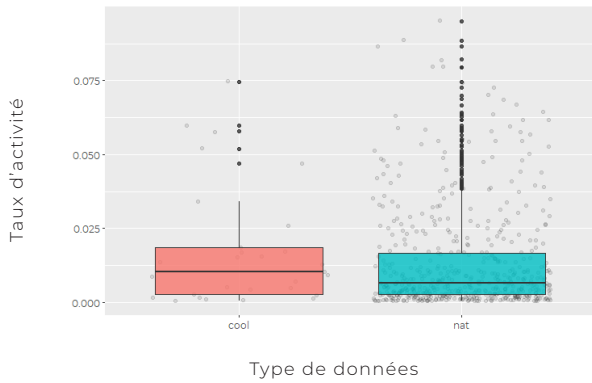
Taux d'activité des chiroptères entre les cimetières et les autres milieux



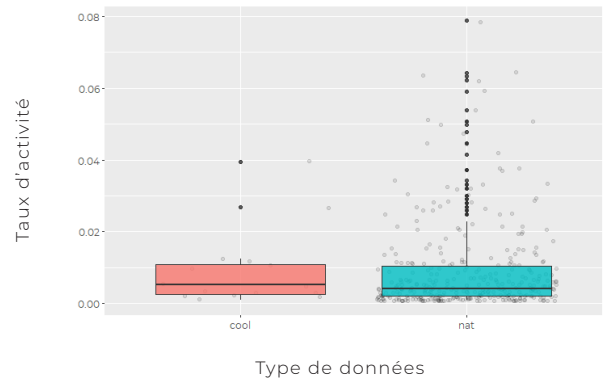
Taux d'activité de P. pipistrellus entre les cimetières et les autres milieux



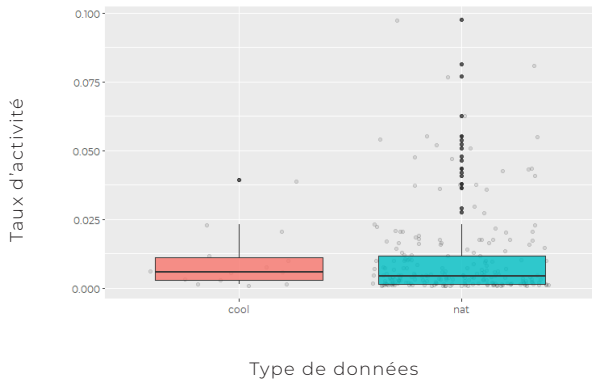
Taux d'activité de *P. kuhlii* entre les cimetières et les autres milieux



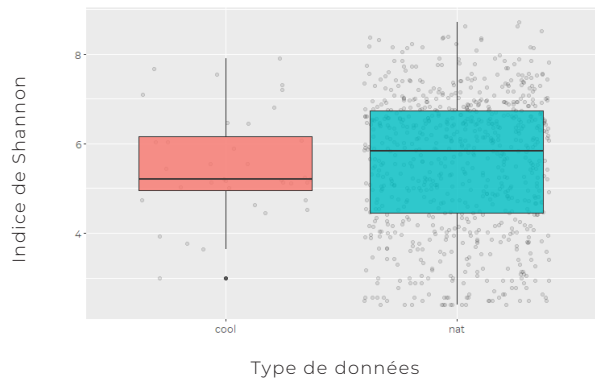
Taux d'activité de *N. noctula* entre les cimetières et les autres milieux



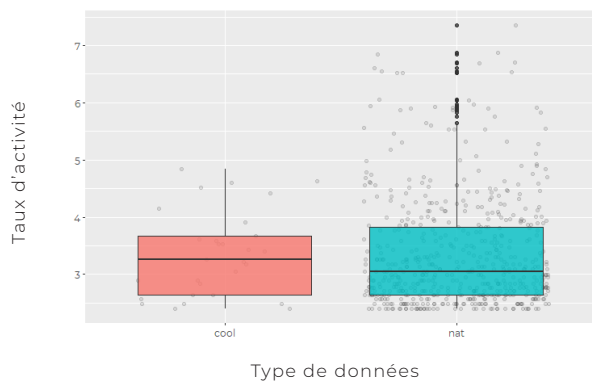
Taux d'activité de *E. serotinus* entre les cimetières et les autres milieux



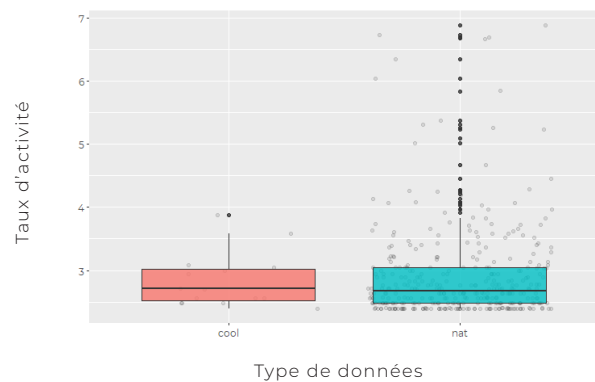
Occurrence de *P. pipistrellus* entre les cimetières et les autres milieux



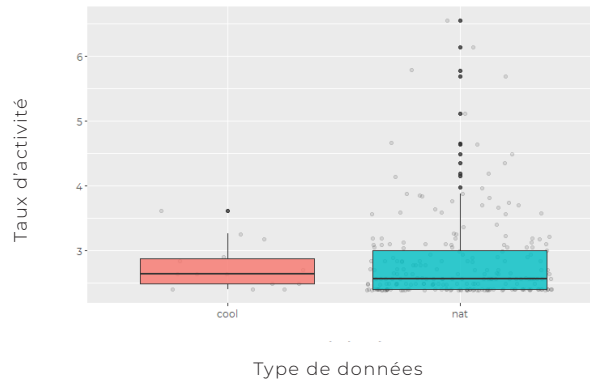
Occurrence de *P. kuhlii* entre les cimetières et les autres milieux



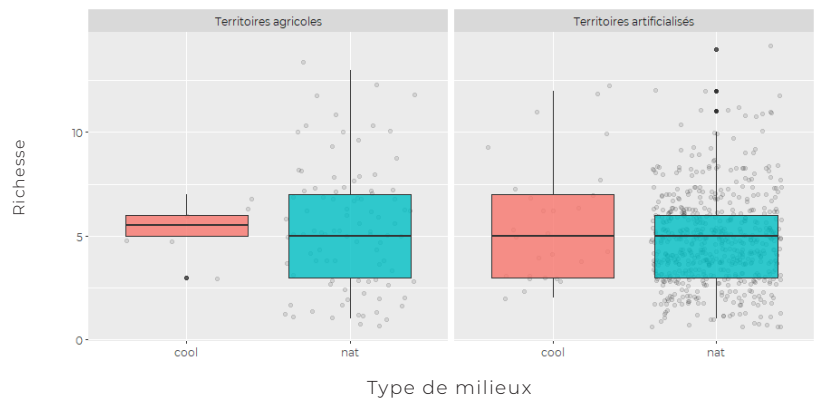
Occurrence de *N. noctula* entre les cimetières et les autres milieux



Occurrence d'E. serotinus entre les cimetières et les autres milieux



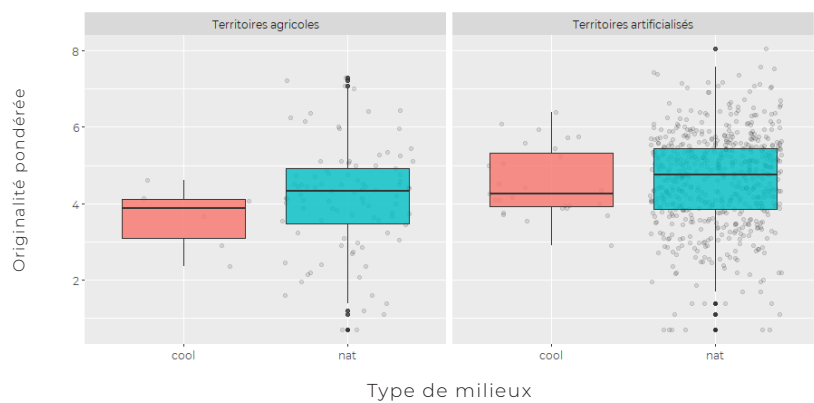
Richesse des chiroptères entre les cimetières et les autres milieux (CLC)



Originalité des chiroptères entre les cimetières et les autres milieux (CLC)



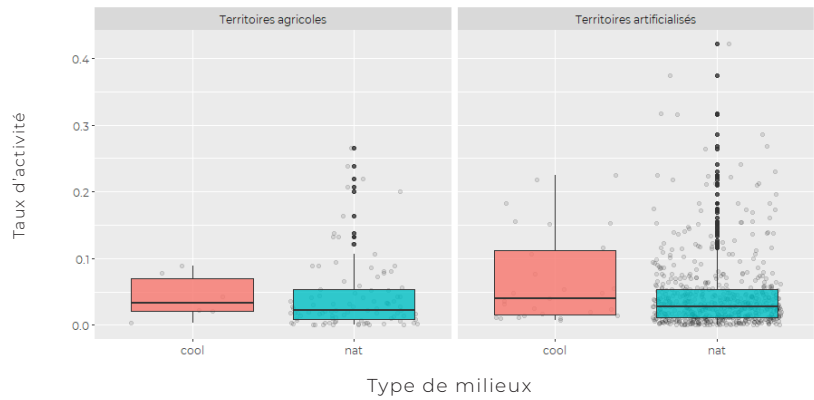
Originalité pondérée des chiroptères entre les cimetières et les autres milieux (CLC)



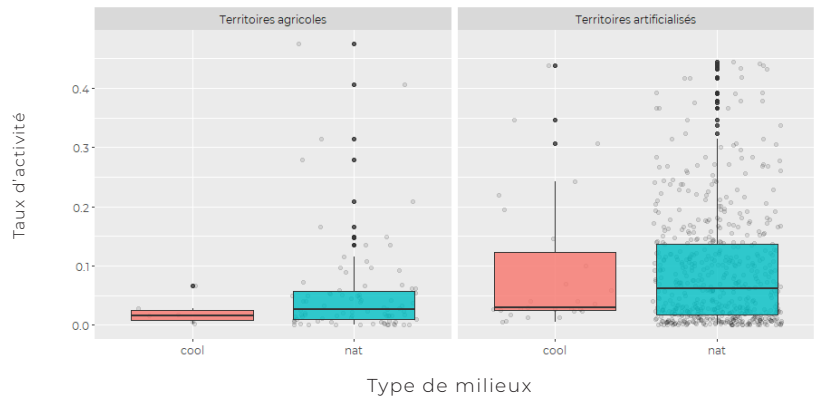
Richesse (indice de shannon) des chiroptères entre les cimetières et les autres milieux (CLC)



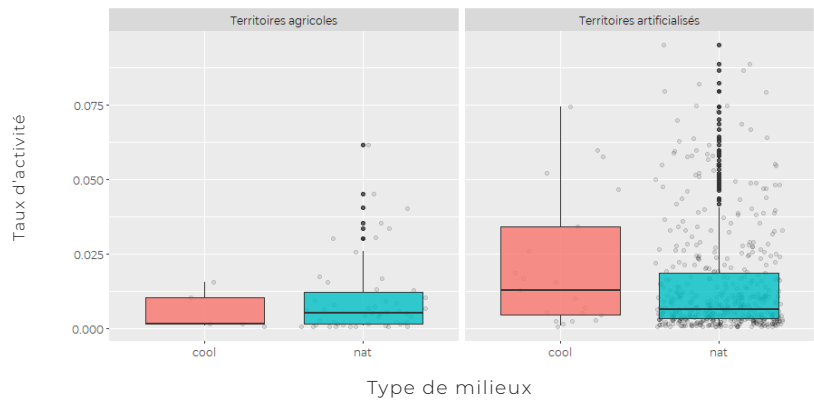
Taux d'activité des chiroptères entre les cimetières et les autres milieux (CLC)



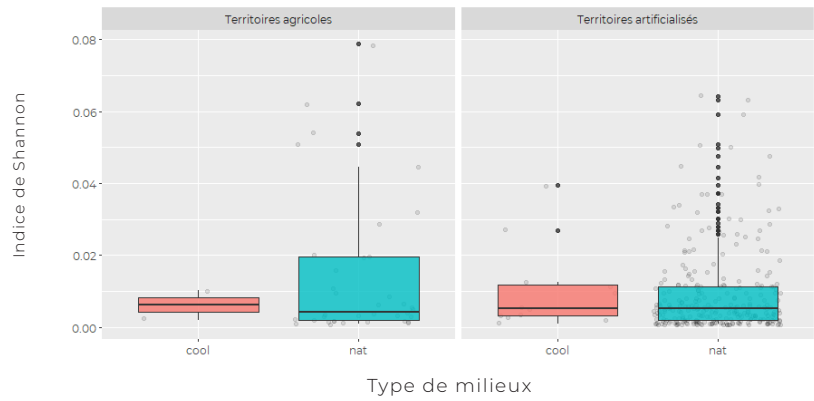
Taux d'activité de P. pipistrellus entre les cimetières et les autres milieux (CLC)



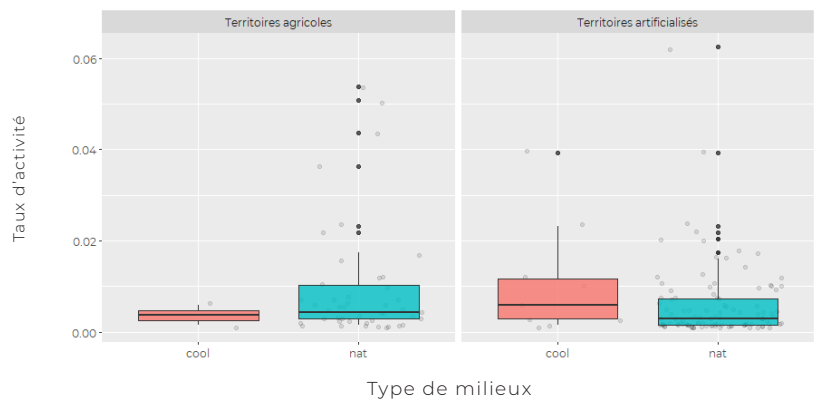
Taux d'activité de P. kuhlii entre les cimetières et les autres milieux (CLC)



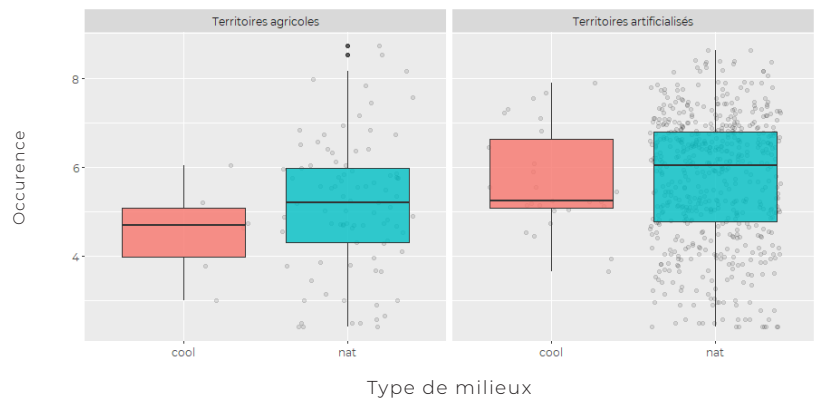
Taux d'activité de N. noctula entre les cimetières et les autres milieux (CLC)



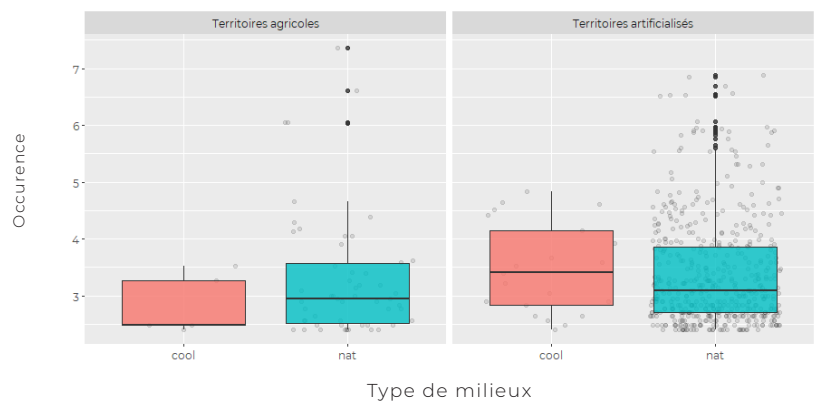
Taux d'activité de E. serotinus entre les cimetières et les autres milieux (CLC)



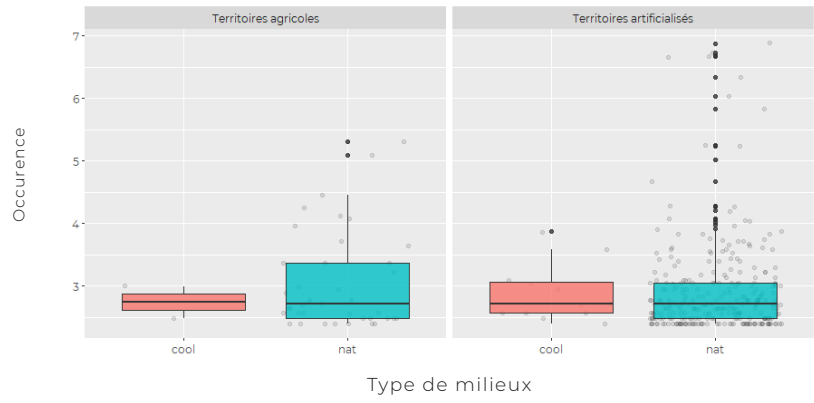
Occurrence de P. pipistrellus entre les cimetières et les autres milieux (CLC)



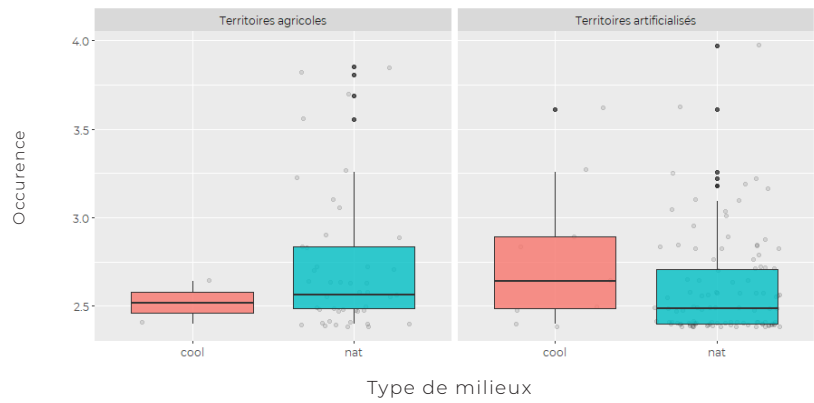
Occurrence de P. kuhlii entre les cimetières et les autres milieux (CLC)



Occurrence de N. noctula entre les cimetières et les autres milieux (CLC)



Occurrence de E. serotinus entre les cimetières et les autres milieux (CLC)



ANNEXE XII

Chiroptères - Détails et synthèse graphique des GLM

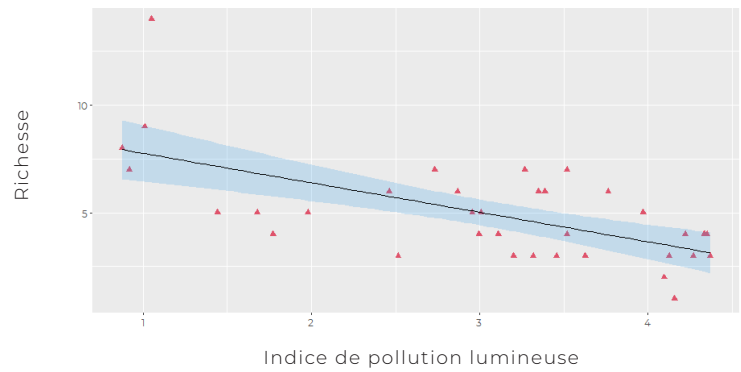
A.1. Résultats des modèles finaux de la richesse des chiroptères (URB : avec urbanisation ; POL : avec pollution lum.) :

AIC (null = 158.56) : POL = 87.771 / URB = 89.589

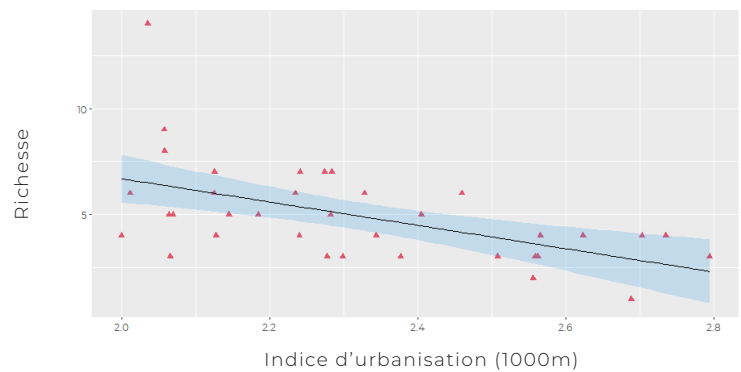
r^2 : POL = 55.47% / URB = 53.65%

Variables explicatives	p.values	Significativité	Effet
(POL) Indice de connectivité de la trame verte (500m)	0.25532	Non	-
(POL) Indice de pollution lumineuse	0.00211 **	Oui > 95%	-
(POL) Indice d'ancienneté	0.17796	Non	-
(URB) Indice de connectivité de la trame verte (500m)	0.037999 *	Oui > 95%	-
(URB) Indice d'urbanisation (1000m)	0.005931 **	Oui > 95%	-
(URB) Indice d'ancienneté	0.371897	Non	-

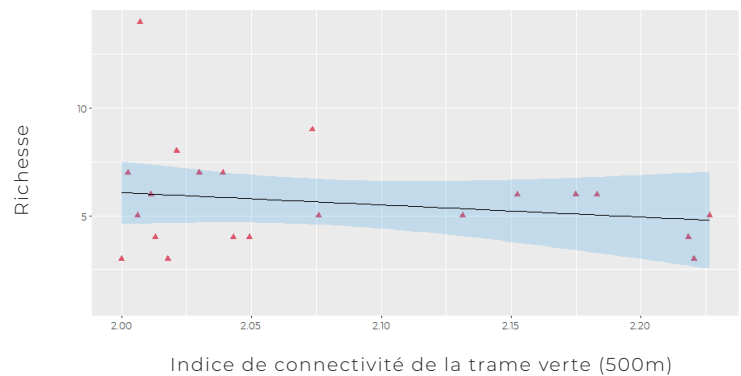
Richesse de chiroptères en fonction de l'indice de pollution lumineuse



Richesse de chiroptères en fonction de l'indice d'urbanisation à 1000m



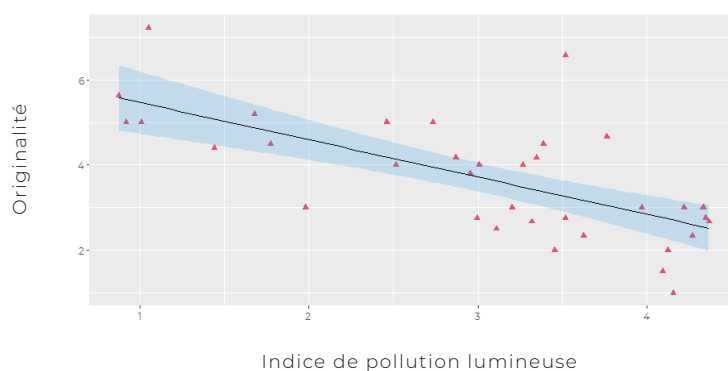
Richesse de chiroptères en fonction de l'indice de connectivité de la trame verte à 500m



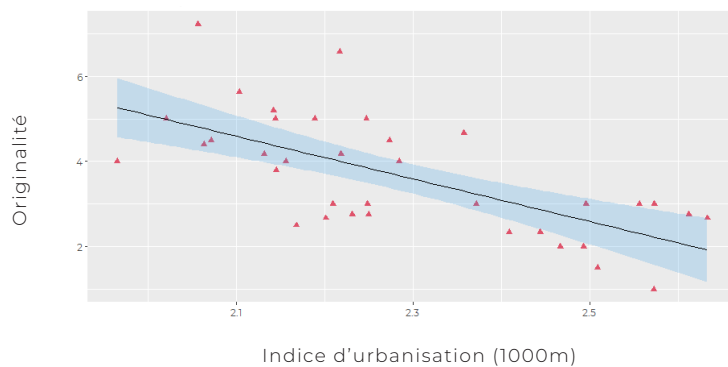
A.2. Résultats des modèles finaux de l'originalité des chiroptères (URB : avec urbanisation ; POL : avec pollution lum.) :
 AIC (null = 128.83) : POL = 75.267 / URB = 72.23
 r^2 : POL = 22.2% / URB = 42%

Variabiles explicatives	p.values	Significativité	Effet
(POL) Indice de hauteur de végétation	0.4001	Non	-
(POL) Indice de pollution lumineuse	0.0658 .	Forte > 90%	-
(POL) Indice de connectivité de la trame verte (500m)	0.4662	Non	-
(URB) Indice de hauteur de végétation	0.13276	Non	-
(URB) Indice d'urbanisation (1000m)	0.01598 *	Oui > 95%	-
(URB) Indice de connectivité de la trame verte (500m)	0.07751 .	Forte > 90%	-

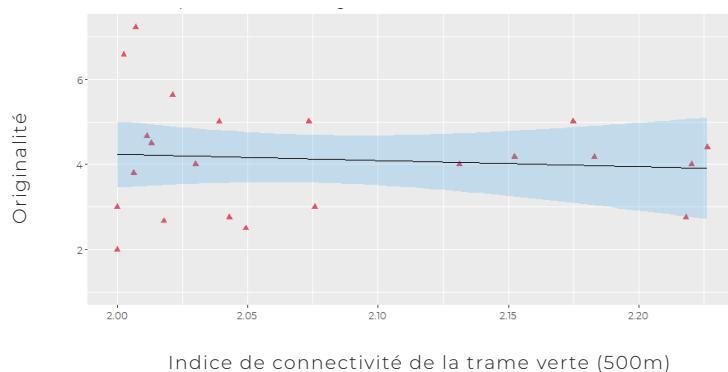
Originalité des chiroptères en fonction de l'indice de pollution lumineuse



Originalité des chiroptères en fonction de l'indice d'urbanisation à 1000m



Originalité des chiroptères en fonction de l'indice de connectivité de la trame verte à 500m



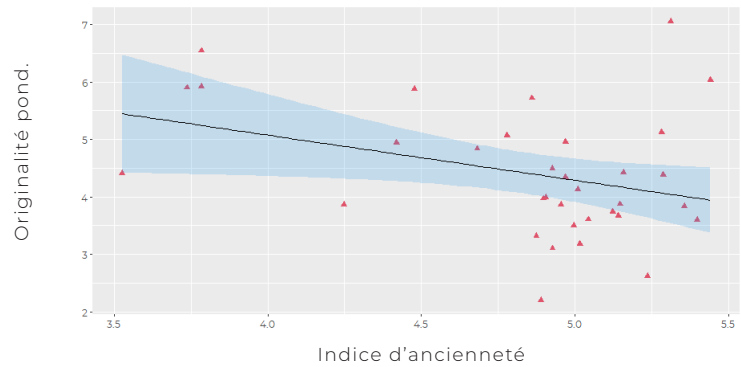
A.3. Résultats du modèle final de l'originalité pondérée des chiroptères :

AIC = 52.699 (null = 111.47)

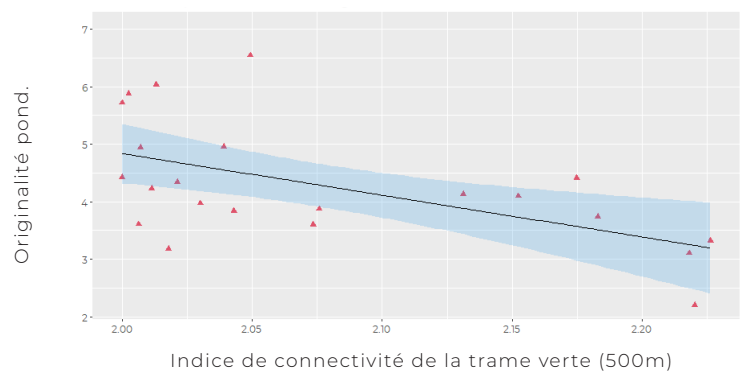
$r^2 = 56\%$

Variabes explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice d'ancienneté	0.01622 *	Oui > 95%	-
Indice de connectivité de la trame verte (500m)	0.00142 **	Oui > 95%	-

Originalité pondérée des chiroptères en fonction de l'indice d'ancienneté



Originalité pondérée des chiroptères en fonction de l'indice de connectivité de la trame verte à 500m



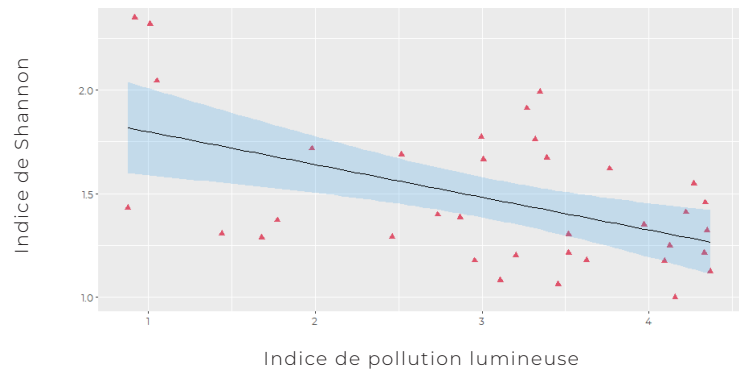
A.4. Résultats des modèles finaux de l'indice de shannon des chiroptères (URB : avec urbanisation ; POL : avec pol. lum.) :

AIC (null = 27.266) : POL = 18.683 / URB = 23.279

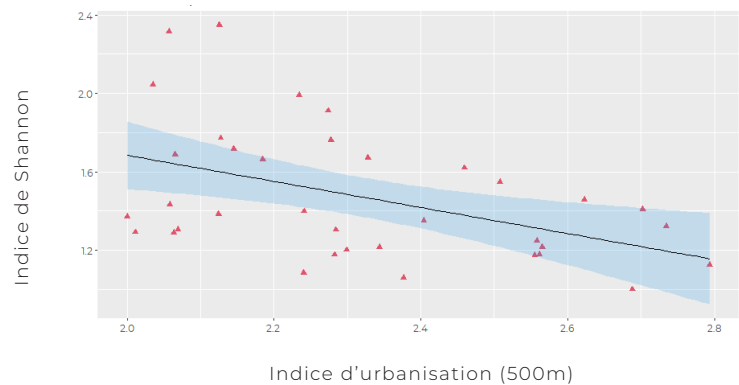
r² : POL = 25.5% / URB = 20.8%

Variables explicatives	p.values	Significativité	Effet
(POL) Indice de pollution lumineuse	0.0017 **	Oui > 95%	-
(URB) Indice d'urbanisation (500m)	0.0182 *	Oui > 95%	-

Richesse (indice de shannon) des chiroptères en fonction de l'indice de pollution lumineuse



Richesse (indice de shannon) des chiroptères en fonction de l'indice d'urbanisation à 500m



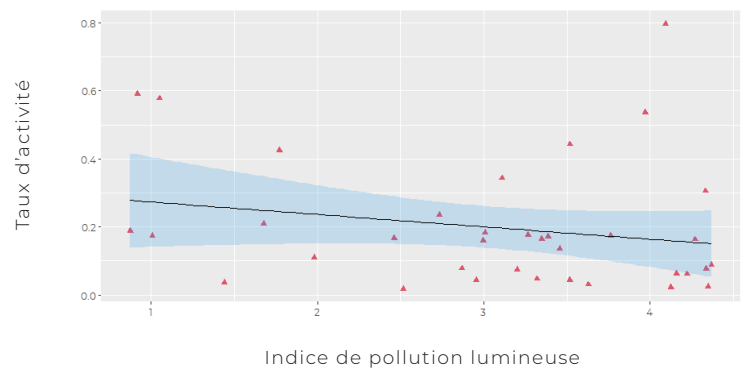
A.5. Résultats des modèles finaux du taux d'activité des chiroptères (URB : avec urbanisation ; POL : avec pol. lum.) :

AIC (null = -14.906) : POL = -20.305 / URB = -19.826

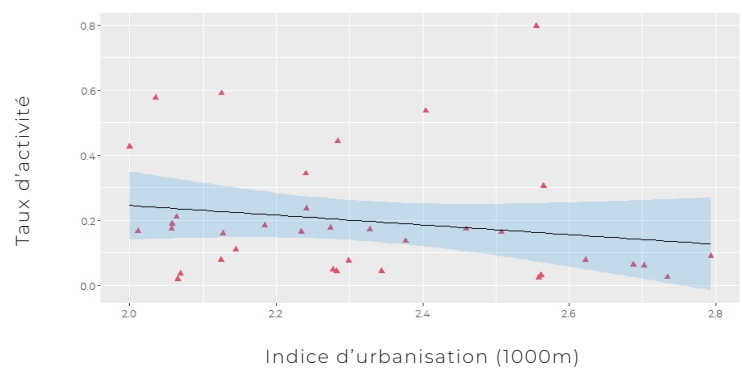
r² : POL = 41% / URB = 44%

Variabiles explicatives	p.values	Significativité	Effet
(POL) Indice de pollution lumineuse	0.0112 *	Oui > 95%	-
(POL) Indice de connectivité de la trame verte (1000m)	0.0232 *	Oui > 95%	-
(URB) Indice d'urbanisation (500m)	0.0182 *	Oui > 95%	-
(URB) Indice de connectivité de la trame verte (1000m)	0.00921 **	Oui > 95%	-

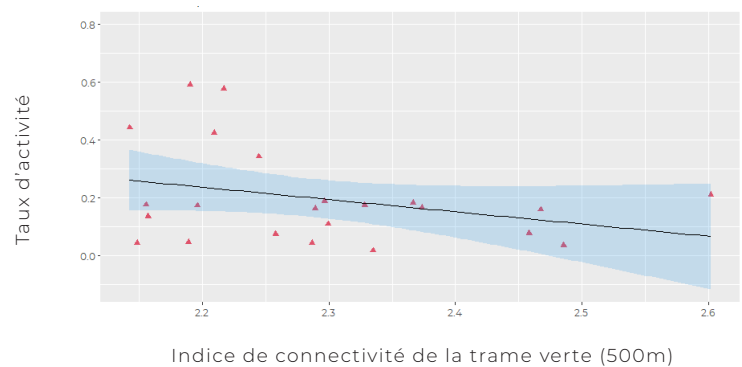
Activité des chiroptères en fonction de l'indice de pollution lumineuse



Activité des chiroptères en fonction de l'indice d'urbanisation à 1000m



Activité des chiroptères en fonction de l'indice de connectivité de la trame verte à 500m



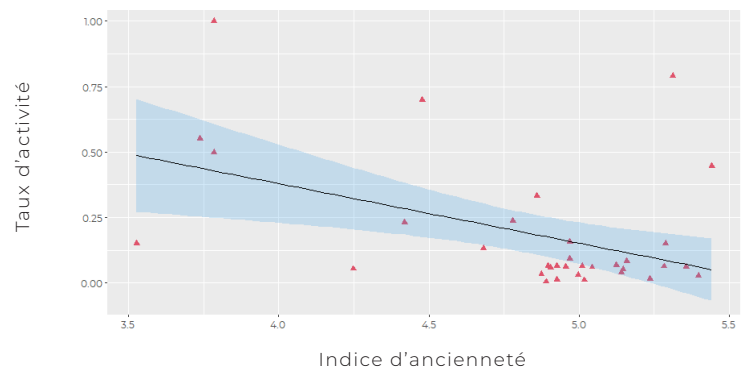
B.1. Résultats des modèles finaux du taux d'activité de *P. pipistrellus* (A : avec taux d'activité ; O : avec occurrence) :

AIC : A = -1.2045 (null = 3.2) / O = 57.744 (null = 116.9)

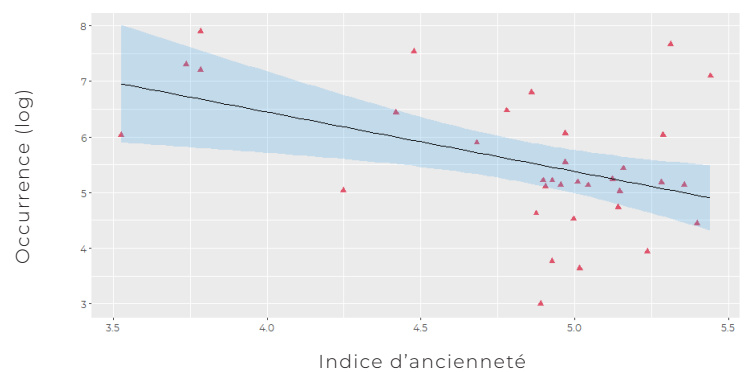
r² : A = 20.7% / O = 58.5%

Variabiles explicatives	p.values	Significativité	Effet
(A) Indice d'ancienneté	0.00678 **	Oui > 95%	-
(O) Indice de végétalisation	0.20349	Non	+
(O) Indice d'ancienneté	0.01425 *	Oui > 95%	-
(O) Indice de connectivité de la trame verte (500m)	0.00224 **	Oui > 95%	-

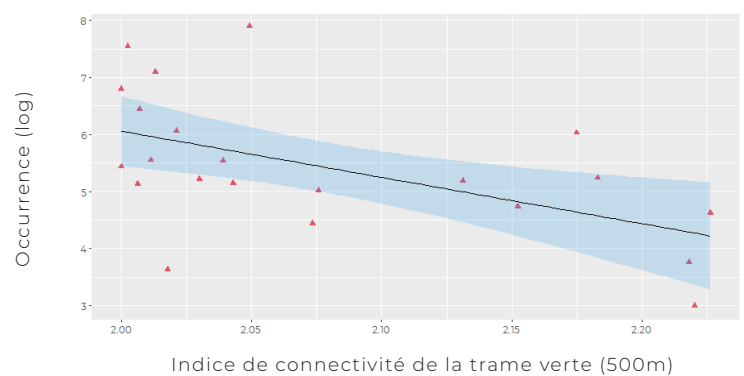
Activité de *P. pipistrellus* en fonction de l'indice d'ancienneté



Occurrence de *P. pipistrellus* en fonction de l'indice d'ancienneté



Occurrence de *P. pipistrellus* en fonction de l'indice de connectivité de la trame verte à 500m



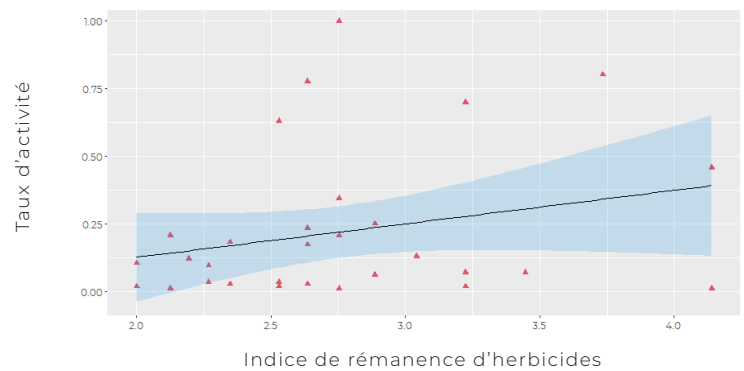
B.2. Résultats des modèles finaux du taux d'activité de *P. kuhlii* (A : avec taux d'activité ; O : avec occurrence) :

AIC : A = -2.8862 (null = 11.255) / O = 56.011 (null = 74.818)

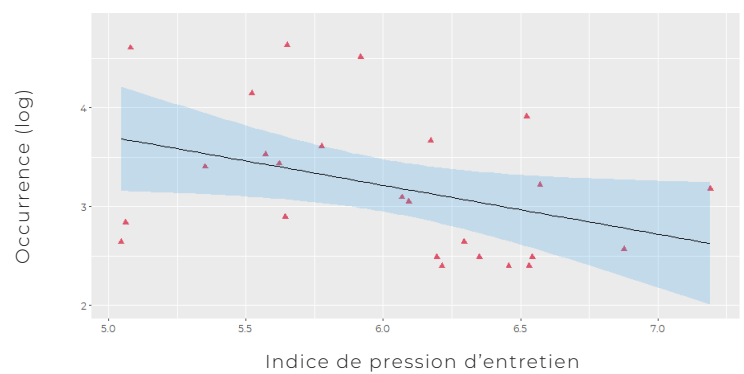
r^2 : A = 26.1% / O = 20.66%

Variabiles explicatives	p.values	Significativité	Effet
(A) Indice de rémanence d'herbicides	0.02481 *	Oui > 95%	+
(A) Indice de pression d'entretien	0.1743	Non	-
(O) Indice de pression d'entretien	0.04721 *	Oui > 95%	-
(O) Indice de hauteur de végétation	0.26466	Non	+

Activité de P. kuhlii en fonction de l'indice de rémanence d'herbicides



Occurrence de P. kuhlii en fonction de l'indice de pression d'entretien



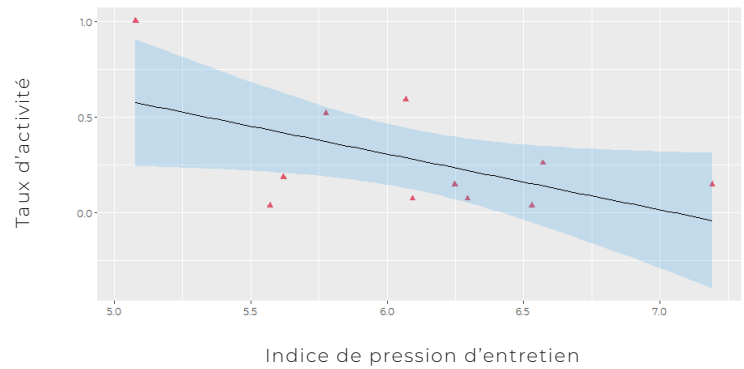
B.3. Résultats des modèles finaux du taux d'activité de *E. serotinus* (A : avec taux d'activité ; O : avec occurrence) :

AIC : A = 5.9166 (null = 7.7299) / O = 12.928 (null = 14.415)

r^2 : A = 30.5% / O = 24%

Variables explicatives	p.values	Significativité	Effet
(A) Indice de pression d'entretien	0.0780	Forte > 90%	-
(O) Indice de pression d'entretien	0.1260	Non	-

Activité de E. serotinus en fonction de l'indice de pression d'entretien



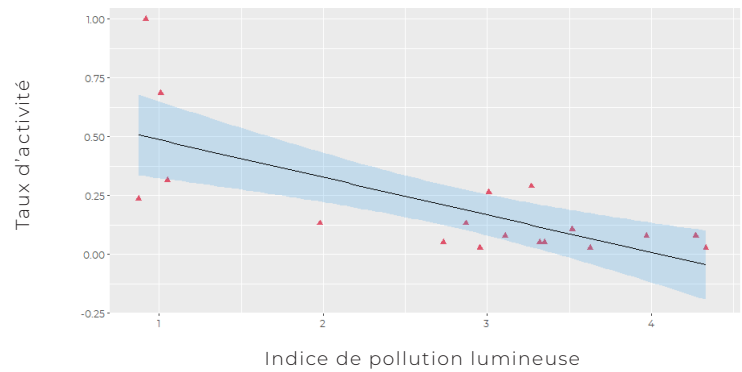
B.4. Résultats des modèles finaux du taux d'activité de *N. noctula* (A : avec taux d'activité ; O : avec occurrence) :

AIC : A = -5.6283 (null = 5.0808) / O = 9.1645 (null = 22.492)

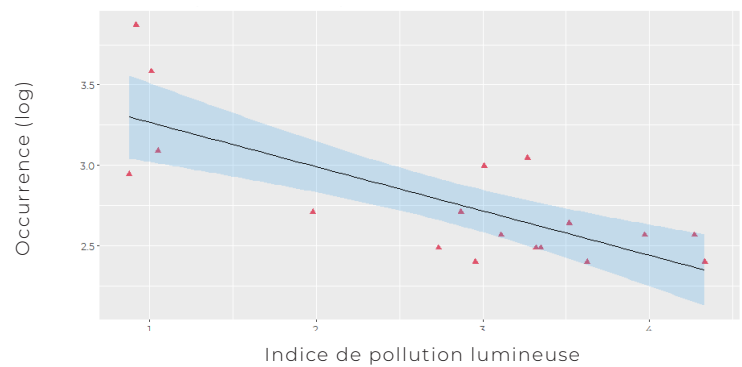
r^2 : A = 50.6% / O = 57.3%

Variabiles explicatives	p.values	Significativité	Effet
(A) Indice de pollution lumineuse	0.000926 ***	Oui > 95%	-
(O) Indice de pollution lumineuse	0.000275 ***	Oui > 95%	-

Activité de N. noctula en fonction de l'indice de pollution lumineuse



Occurrence de N. noctula en fonction de l'indice de pollution lumineuse

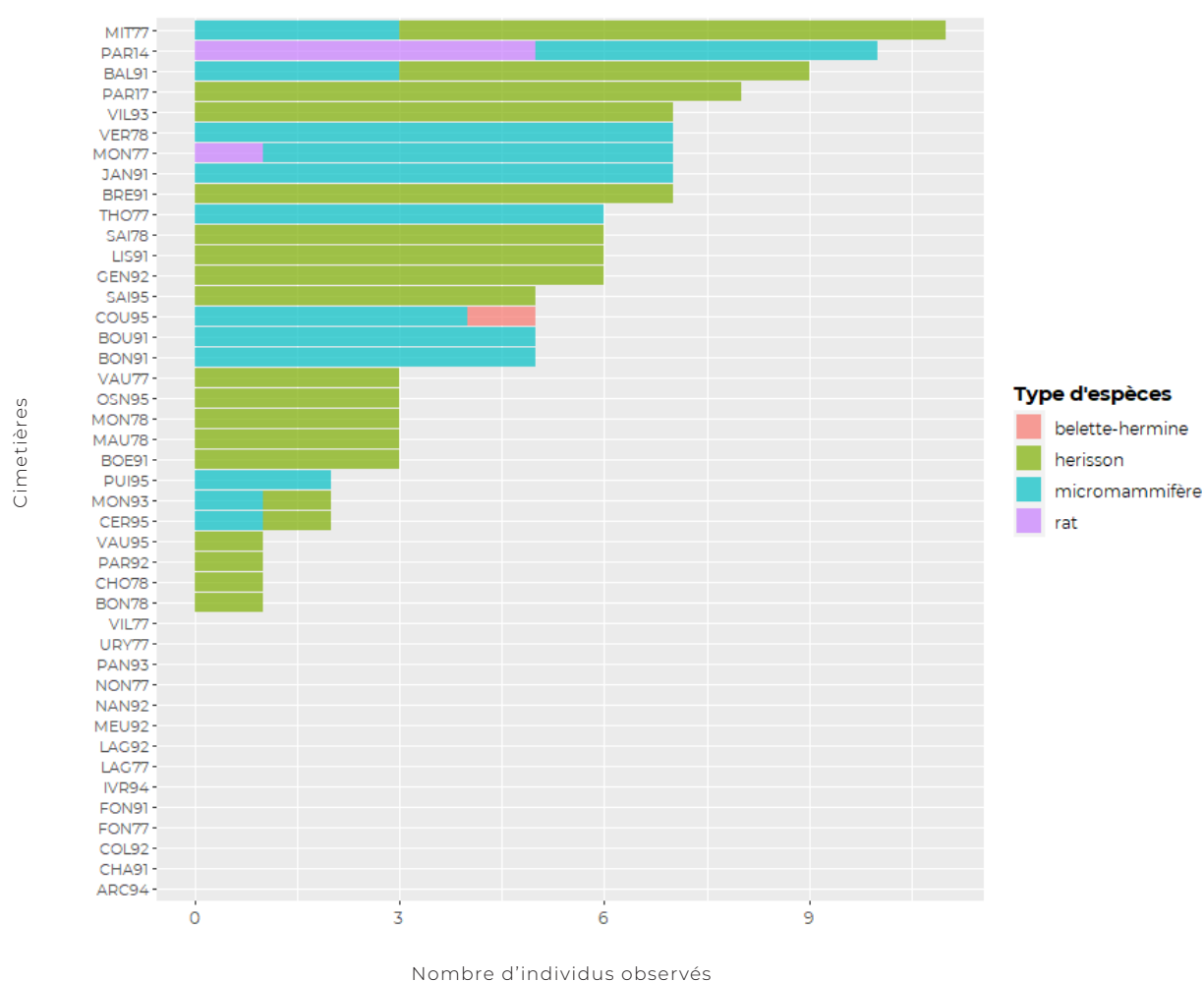


ANNEXE XIII

Mammifères terrestres - Synthèse graphique de l'abondance des mammifères terrestres présents dans les cimetières

Nombre de mammifères terrestres observés rangés par cimetière dans l'ordre décroissant : Mitry-Mory (8 hérissons, 3 micro-mammifères) ; Paris Montparnasse (5 rats, 5 micro-mammifères) ; Ballancourt-sur-Essonne (3 micro-mammifères, 6 hérissons) ; Paris Batignolles (8 hérissons) ; Villetaneuse et Breuillet (7 hérissons) ; Versailles et Janvry (7 micro-mammifères) ; Montge-en-Goële (6 micro-mammifères, 1 rat) ; Thorigny-sur-Marne (6 micro-mammifères) ; Saint-Ouen-Laumone, Lisses et Gennevilliers (6 hérissons) ; Saint-Germain-en-Laye (5 hérissons) ; Courdimanche (1 belette-hermine, 4 micro-mammifères), Boussy-Saint-Antoine et Bondoufle (4 micro-mammifères) ; Vaux-le-Penil, Osny, Maurecourt et Boutigny-sur-Essonne (3 hérissons) ; Puisseux (2 micro-mammifères) ; Montreuil et Cergy (1 micro-mammifère, 1 hérisson) ; Paris Bagneux, Bonnelles, Choisel et Vaureal (1 hérisson) ; les autres cimetières (0 espèce)

Synthèse des espèces retrouvées de mammifère terrestre dans les cimetières pour l'année 2020



ANNEXE XIV

Mammifères terrestres - Détails et synthèse graphique des GLM

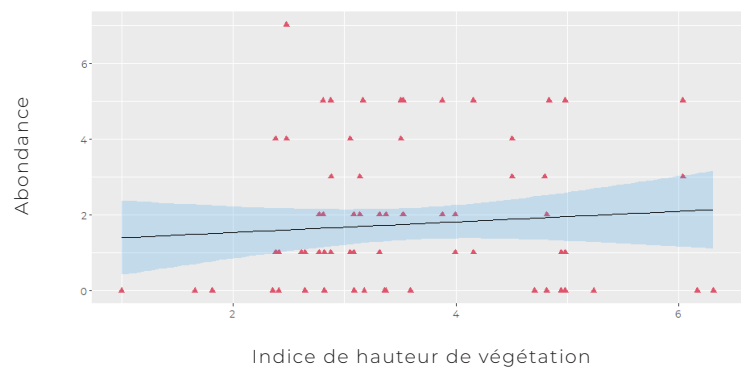
Résultats du modèle final de l'abondance de mammifères terrestres :

AIC : 153.46 (null = 296.17)

$r^2 = 30\%$

Variables explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice de hauteur de végétation	0.01311 *	Oui > 95%	+
Indice d'ancienneté	0.65784	Non	+
Indice de pression d'entretien	0.81276	Non	+
Indice de rémanence d'herbicides	0.12060	Non	+
Indice de connectivité de la trame verte (500m)	0.11821	Non	+
Indice de surface	0.17605	Non	-

Abondance de mammifères terrestres en fonction de l'indice de hauteur de végétation



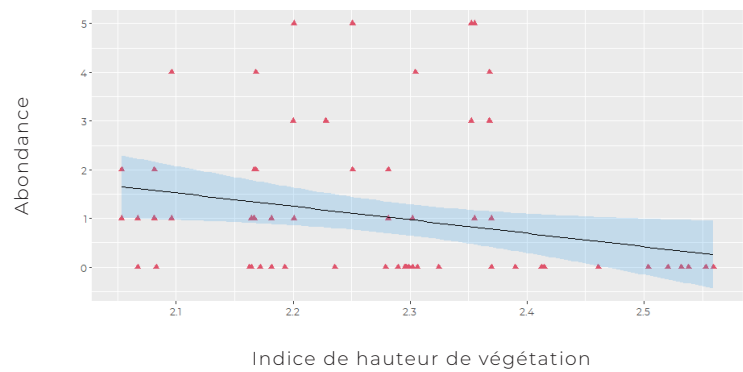
Résultats du modèle final de l'abondance de hérissons :

AIC : 135.57 (null = 223.43)

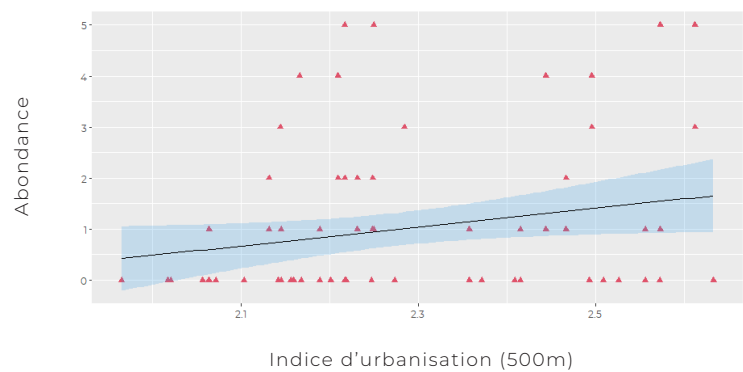
$r^2 = 20\%$

Variables explicatives	p.values	Significativité	Effet
Indice d'urbanisation (500m)	0.0507 .	Forte > 90%	+
Indice de surface	0.2285	Non	+
Indice de végétalisation	0.0109 *	Oui > 95%	-
Indice de connectivité de la trame verte (500m)	0.2408	Non	+

Abondance de hérissons en fonction de l'indice de hauteur de végétation



Abondance de hérissons en fonction de l'indice d'urbanisation (500m)

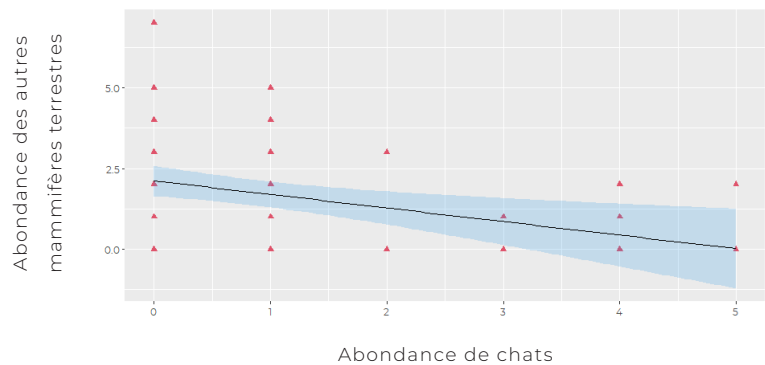


ANNEXE XV

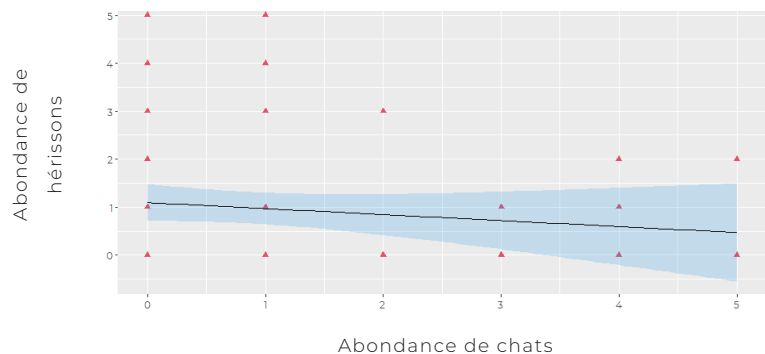
Relation chats/autres mammifères - Résultats, synthèse graphique et discussion

Nous avons également testé si la présence de chats domestiques dans les cimetières peut impacter les autres micro-mammifères (hérissons, micro-mammifères, rats sauf belette-hermine) présents dans les cimetières. Après des tests de corrélation de Wilcoxon, nous observons une corrélation négative significative ($p = 0.0006555$) entre la présence de chats et des autres mammifères dans les cimetières. Ainsi, plus il y a de chats dans un cimetière, moins il y a d'autres mammifères. Lorsque l'on affine l'étude en étudiant la relation chat-hérisson, nous observons qu'il n'y a pas de corrélation négative significative, donc les chats n'ont pas ou peu de d'impact sur les populations de hérissons. Par contre, en ce qui concerne les autres mammifères de type mulot, musaraigne et campagnols ainsi que les rats, les chats ont un impact négatif sur leurs abondances. Ce résultat est cohérent car la pression de prédation des chats domestiques sur la faune tels que les micro-mammifères est aujourd'hui bien connu et corroboré par la bibliographie scientifique (Trouwborst et al., 2019). En revanche, la capacité de protection des hérissons leur permettent de ne pas être la proie de ces derniers (Lightfoot, 1999).

Abondance des autres mammifères en fonction de l'abondance de chats présents dans les cimetières



Abondance des hérissons en fonction de l'abondance de chats présents dans les cimetières



Résumé - Dans l'objectif d'en apprendre plus sur la biodiversité des cimetières, l'ARB îdF a mis en place, entre 2020 et 2023, le projet d'étude «Cimetières vivants». Pendant 4 ans, sont étudiés 6 taxons (flore vasculaire, insectes pollinisateurs, chiroptères, mammifères terrestres et oiseaux communs) dans 45 cimetières franciliens en fonction de variables paysagères, de conception et gestion. À l'issue de la première année d'analyse, nous avons pu observer les tendances suivantes :

1. Les cimetières sont des écosystèmes urbains ayant une capacité d'accueil intéressante pour la biodiversité. La forte minéralité de ces milieux semble permettre l'implantation de taxons adaptés à des conditions xériques.
2. Le paysage (urbanisation et pollution lumineuse) dans lequel s'implante le cimetière ainsi que sa végétalisation (densité et hauteur de la végétation) semblent être les facteurs les plus impactants sur la biodiversité des cimetières.
3. Les micro-habitats des cimetières tels que les prairies et les inter-tombes semblent abriter des communautés d'espèces différentes, adaptées aux conditions environnementales de chaque milieu.

Abstract - With the aim of learning more about cemeteries's biodiversity, ARB îdF set up, between 2020 and 2023, «Cemeteries : Observation of Life» study project. For 4 years, 6 taxa (vascular flora, pollinating insects, bats, terrestrial mammals and common birds) are studied in 45 cemeteries in the Ile-de-France region according to landscape, design and management variables. At the end of the first year of analysis, we observed the following trends:

1. Cemeteries are urban ecosystems with an interesting carrying capacity for biodiversity. The strong minerality of these environments seems to allow the implantation of taxa adapted to xeric conditions.
2. Landscape (urbanization and light pollution) in which the cemetery is located as well as its vegetation (vegetation's density and height) seem to be the most impacting factors on the cemeteries's biodiversity.
3. Cemeteries's micro-habitats such as meadows and inter-tombs seem to support communities of different species, adapted to the environmental conditions of each environment.