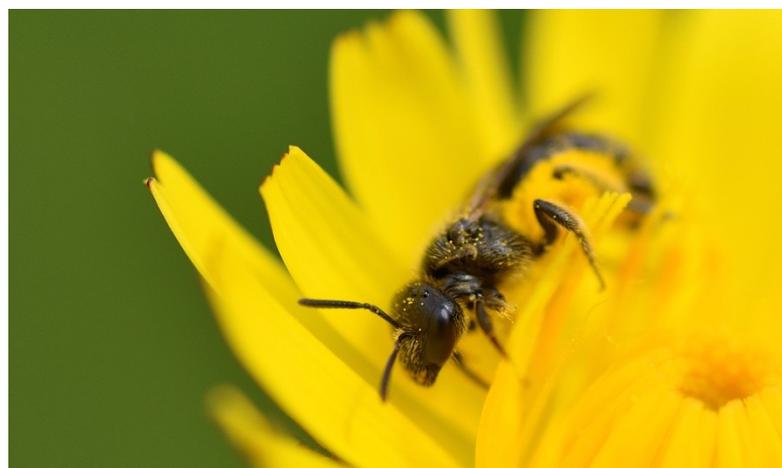


LES TOITURES VEGETALISEES : ESPACES D'ACCUEIL POUR LES POLLINISATEURS URBAINS



Présenté par : Christel Scagliola
Responsable pédagogique : Magali Deschamps-Cottin
Encadrée par : Audrey Muratet et Marc Barra

Année 2018-2019

Mention : Biodiversité, Écologie et Évolution (BEE)
Finalité : Écologie pour la Gestion des Villes et des Territoires
Structure d'accueil : Agence Régionale de la Biodiversité en Île-de-France

Université d'Aix Marseille
OSU Pythéas

Année 2018-2019

Master Biodiversité, Écologie et Évolution 2eme année
Finalité Écologie pour la Gestion des Villes et des Territoires

Mémoire de stage de Master 2

Les toitures végétalisées : Espaces d'accueil pour les pollinisateurs urbains

Présenté par Christel Scagliola

Responsable pédagogique : Magali Deschamps-Cottin

Encadrants : Audrey Muratet et Marc Barra

Structure d'accueil : Agence Régionale de la Biodiversité en Île-de-France

Charte relative à la lutte contre le plagiat de d'Aix Marseille Université

Approuvée par le Conseil des Études et de la Vie Universitaire de l'Université d'Aix-Marseille en date du 4 octobre 2012,

Approuvée par le Conseil Scientifique de l'Université d'Aix-Marseille en date du 16 octobre 2012,

Approuvée par le Conseil d'Administration de l'Université d'Aix-Marseille en date du 27 novembre 2012,

Préambule

Afin de garantir la qualité des diplômes délivrés à ses usagers, l'originalité des publications pédagogiques et scientifiques de ses personnels enseignants et/ou chercheurs, et faire respecter les droits de propriété intellectuelle des auteurs, l'Université d'Aix-Marseille est engagée dans la lutte contre le plagiat.

Les travaux réalisés par les usagers et par les personnels de l'Université doivent répondre à l'ambition de produire un savoir inédit et d'offrir une lecture nouvelle et personnelle d'un sujet.

Les travaux concernés par cette obligation sont notamment : les thèses, les mémoires, les articles, les supports de cours, sans que cette liste soit exhaustive.

Article 1

Le plagiat consiste à reproduire un texte, une partie d'un texte, toute production littéraire ou graphique, ou les idées originales d'un auteur, sans lui en reconnaître la paternité.

Tout plagiat, quel qu'en soit le support, constitue une faute.

Le plagiat constitue à la fois la violation la plus grave de l'éthique universitaire et un acte de contrefaçon. C'est un délit au sens de l'article L 335-2 du code de la propriété intellectuelle.

En outre, le fait de commettre un plagiat dans un document destiné à être publié constitue une circonstance aggravante.

Article 2

Les usagers et les personnels de l'Université ne doivent pas commettre de plagiat dans leurs travaux.

Article 3

Les reproductions de courts extraits de travaux préexistants en vue d'illustration ou à des fins didactiques sont admises sans nécessité de demander le consentement de l'auteur, uniquement dans le strict respect de l'exception de courte citation.

Dans ce cadre, les usagers et les personnels de l'Université s'engagent, lorsqu'ils reproduisent de courts extraits de tels travaux, à identifier clairement qu'il s'agit d'un emprunt, en apposant des guillemets, et en indiquant le nom de l'auteur et la source de l'extrait.

Article 4

L'Université d'Aix-Marseille est attachée au respect des droits de propriété intellectuelle et se réserve la possibilité de rechercher les tentatives de plagiat, notamment par l'utilisation d'un logiciel adapté.

Article 5

Les cas présumés de plagiat feront l'objet de poursuites engagées par l'Université devant les instances compétentes, et leurs auteurs seront passibles de sanctions disciplinaires.

Ces violations des droits de propriété intellectuelle pourront également donner lieu à des poursuites judiciaires.

Je soussignée, Scagliola Christel certifie avoir pris connaissance de la présente charte et l'avoir respectée.

Fait à Grenoble le 24 Aout 2019.

Signature :



Mes remerciements vont à :

Julie Collombat Dubois et l'IAU pour m'avoir accueillie au sein de leur structure.

Audrey pour m'avoir encadrée avec tant de patience durant ce stage. Merci pour ta gentillesse et ta bonne humeur. Merci pour ton aide précieuse sur les stats et tes relectures sans fins. Sans toi, rien n'aurait été possible et ce rapport n'aurait été qu'un joli album photo. Merci pour tout ce que tu es. Ces quelques ne suffisent pas à exprimer combien je te suis reconnaissante pour tout ce temps que tu m'as consacré. Strasbourg va gagner une personne exceptionnelle et la meilleure de toutes les botanistes.

Merci pour tout. ♥

Marc, pour mon premier tour en scooter et ta bonne humeur, merci de t'être bien moqué de mon vertige alors que tu l'as aussi. Merci de m'avoir fait confiance pour organiser le terrain, tout en connaissant ma phobie du téléphone.

Gilles, pour m'avoir transmis le virus du Spipoll. Faute de bon matériel, je serais peut-être moins acharnée que toi à l'avenir, mais promis, dès que j'ai un objectif qui tiens la route, je m'y remets !

Amandine, même si tu es une parisienne et que rien que pour ça, je devrais te renier. Merci pour ton aide plus que précieuse pour les stats et tes nombreuses relectures. Merci pour ton soutien moral tout au long de ce stage. Tu es extraordinaire et schön.

Guillaume pour m'avoir tant appris sur les insectes. Pour ta patience face à mon ignorance, parce que tu es bien plus rapide et précis que la clef Spipoll. Merci d'avoir été mon allié pour me moquer des parisiens.

A tous les deux, merci d'exister et d'avoir rempli de bonne humeur ce couloir qui nous servait de bureau. Vous êtes les meilleurs ! ♥

Morgane pour avoir rendu mon stage plus rose et pas seulement par tes cheveux. ♥

Emir pour ta gentillesse et les madeleines. Pas pour ton humour, parce que franchement, tes blagues sont encore plus nulles que les miennes et ça, ça craint. ♥



Klaire, pour avoir toujours été à l'écoute de mes problèmes, d'avoir été la seule à t'inquiéter de mon encadrement et de l'avancement de mon mémoire. Ces journées de terrain avec toi étaient merveilleuses. ♥

Mustapha pour m'avoir sauvé la vie et récupéré mes données perdues. Je te dois une reconnaissance éternelle.

Grégoire pour m'avoir fourni l'extraction de mes données Spipoll, pour enfin avoir des données à traiter.

Ophélie, Marjorie, Gwendoline et Maxime, pour avoir été le temps d'une journée ou deux mes binômes de terrain. Merci pour votre gentillesse. Bien heureuse d'avoir trouvé un estomac sur pattes encore plus gros que ce que je suis.

Merci à **toute l'équipe de l'ARB**, pour votre accueil.

Colin Fontaine et Emmanuelle Porchet, pour avoir le temps d'un après-midi pu m'aiguiller sur la tournure que pouvaient prendre mes analyses.

Benoit Geslin et Lise Ropars, pour m'avoir transmis la passion des abeilles. Sans vous, je n'aurais jamais cru pouvoir enfin trouver ma passion.

Lune, Maman et Papa pour m'avoir soutenue tout au long de ma vie. Je vous aime plus que tout au monde ♥

A toutes ces personnes qui m'ont permis par leur simple présence de tenir le coup, qui m'ont épaulé durant ce stage et cette année : **Juliana, Jessica, Pauline, Ariane, Ana, Fanny et Cédric**. Merci à vous d'être vous. ♥

Magali Deschamps Cottin, pour ce M2 formidable et pour avoir répondu à mes quelques questions durant ce stage. J'espère que ce mémoire sera à la hauteur de vos attentes.

Mes deux appareils photos chéris sans qui rien n'aurait été possible.

Toutes ces abeilles, syrphes, et autres coccinelles pour votre patience. Merci d'avoir été si présents et photogéniques.

Table des matières

<u>INTRODUCTION</u>	1
<u>MATERIEL ET METHODES</u>	3
SUIVI PHOTOGRAPHIQUE DES INSECTES POLLINISATEURS : LE SPIPOLL.....	4
AUTRES MESURES REALISEES SUR LES TOITURES VEGETALISEES	4
SELECTION DES DONNEES ET ANALYSES STATISTIQUES.....	5
<u>RESULTATS</u>	8
LA PLACE DES TOITURES VEGETALISEES DANS LE ROLE DE POLLINISATION.....	8
L'APPORT DES TOITURES VEGETALISEES POUR LES POLLINISATEURS URBAINS	11
<u>DISCUSSION</u>	17
LA PLACE DE TROIS ESPACES VERTS URBAINS DANS LE ROLE DE POLLINISATION.....	17
LES DIFFERENTS TYPES DE CONCEPTIONS DES TOITURES VEGETALISEES.....	18
UNE APPROCHE MULTI-TAXONS DES PARAMETRES FAVORISANT LA RICHESSE TAXONOMIQUE EN POLLINISATEURS SUR LES TOITURES VEGETALISEES	18
LIMITES ET PERSPECTIVES DE L'ETUDE	22
<u>CONCLUSION : PRECONISATIONS POUR LA MISE EN PLACE DES TOITURES VEGETALISEES</u>	24
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	25

Table des Figures

Figure 1: Localisation des toitures végétalisées suivies.....	3
Figure 2: Réalisation d'une session SPIPOLL sur une toiture intensive.....	4
Figure 3: Comparaison du nombre moyen de taxons pollinisateurs par collection sur les trois milieux.....	8
Figure 4: Répartition dans le total des collections réalisées, des différents morphotypes de pollinisateurs étudiés au sein des trois types de conception de toitures végétalisées.....	9
Figure 5: Répartition des familles au sein des différents morphogroupes étudiés.....	10
Figure 6 : ACP (Analyse en Composantes Principales) de la qualité des substrats des toitures végétalisées.....	12
Figure 7: Influence de la hauteur du bâtiment sur la richesse spécifique des pollinisateurs.....	13
Figure 8: Influence de l'épaisseur du substrat sur la richesse spécifique des pollinisateurs.....	14
Figure 9: Influence de l'âge de la toiture végétalisée sur la richesse en abeilles solitaires.....	14
Figure 10: Influence de la surface de la toiture végétalisée sur la richesse en pollinisateurs.....	15
Figure 11: Influence de la richesse floristique sur la richesse en pollinisateurs.....	15
Figure 12: Influence du paysage sur la richesse spécifique en pollinisateur.....	16
Figure 13: Influence de a/ la longitude et b/ la latitude sur la richesse en pollinisateurs.....	17

Table des Tableaux

Table I: Récapitulatif des trois grands types de conception de toitures végétalisées proposés par l'ADIVET.....	3
Table II: Zone tampon expliquant le mieux la variation de la richesse par groupe taxonomique étudié.....	7
Table III: Taxons majoritaires par milieux en 2018.....	9
Table IV: Résultats de l'ANOVA.....	13

Tables des Annexes

Annexe I: Classes simplifiées du Mos et leur correspondance dans le Mos 2017.....	I
Annexe II: Liste des taxons SPIPOLL captés dans trois espaces verts urbains, en 2018.....	II
Annexe III: Inventaire des taxons SPIPOLL recensés sur les toitures végétalisées.....	VI

INTRODUCTION

Depuis un siècle, on observe une augmentation rapide et globale de l'urbanisation. On estime que d'ici 2030, 60% de la population mondiale vivra en ville (**Nations Unies, 2004**). En France par exemple, 600 millions d'hectares d'espaces naturels et de terres agricoles ont disparu au profit d'espaces artificialisés entre 2006 et 2015 (**ONB, 2019**). Au total, les villes ont progressé de 19% en 10 ans (**Clanché et Rascol, 2011**). Cette expansion des zones urbaines induit diverses modifications du milieu de vie de la faune et la flore : fragmentation et diminution de la taille des habitats, pollutions, artificialisation et imperméabilisation des sols. Les particularités écologiques préexistantes aux villes sont effacées (**Muratet et al. 2019**) : les villes sont construites sur un modèle similaire. Cela engendre une homogénéisation de la biodiversité des villes à l'échelle de la planète avec une augmentation des espèces ubiquistes et une diminution des espèces spécialistes (**McKinney, 2006**). L'urbanisation, et notamment le changement d'occupation des sols que cela entraîne, apparaît donc comme la première cause de déclin et d'homogénéisation de la biodiversité selon le dernier rapport de l'**IPBES**.

De nombreux auteurs ont décrit ces deux phénomènes chez les pollinisateurs. **Desguines et al.** en 2016 et **Normandin et al.** en 2017 ont montré respectivement en France et au Canada, une perte des espèces spécialistes le long de gradients d'urbanisation. En plus de cette baisse de spécialisation alimentaire, l'imperméabilisation des sols engendre une sélection des pollinisateurs nichant dans les cavités au détriment des espèces terricoles. Ces dernières se retrouvent ainsi sans ressource de nidification contrairement aux espèces cavicoles dont la ville contribue à multiplier les nichoirs potentiels. Les pollinisateurs sont également touchés par le déclin global de la biodiversité. Cela a été montré en milieu naturel (**Carvalho et al., 2013 ; Goulson et al., 2003**) mais aussi en milieu urbain (**Geslin et al., 2016**) où il a été remarqué une diminution de l'abondance et de la richesse spécifique des abeilles sauvages.

Ce déclin des pollinisateurs a des conséquences sur les plantes qui en dépendent pour leur reproduction (**Elmqvist et al., 2013**). Pour soutenir des communautés florales diversifiées, il est indispensable de maintenir des communautés de pollinisateurs elles-mêmes diversifiées (**Fontaine et al., 2005**). En effet, plus de 80% des angiospermes sont pollinisées par les insectes (**Ollerton et al., 2011**). En milieu tempéré, ce sont les hyménoptères et plus particulièrement la super famille des *Apoidea* qui assurent la majeure partie de la pollinisation. Cela est dû à leur alimentation exclusivement nectarivore et pollinivore. Cependant, les autres taxons de pollinisateurs (*e.g.* diptères, coléoptères, lépidoptères) - même si leur pollinisation est moins efficace que celle des abeilles - réalisent proportionnellement plus de visites que ces dernières (**Rader et al. 2016**).

Afin de pallier la perte de pollinisateurs en milieu urbain et permettre la préservation de la biodiversité, les villes mettent en place de plus en plus d'actions favorables aux pollinisateurs. Très souvent, pour favoriser la biodiversité, l'installation de ruches est préconisée. Paris comptait en 2015 plus de 700 ruches pour "renforcer la place de la nature" (**Ville de Paris, 2018a**). Cette mesure est présentée comme une stratégie en faveur des pollinisateurs (**Ville de Paris, 2018a**). Cependant, leur installation est de plus en plus controversée. Des études récentes tendent à montrer une certaine compétition entre les abeilles domestiques et sauvages (**Torne-Noguera et al., 2015 ; Geslin et al., 2017 ; Sous presse Ropars et al. 2019**). La seconde action souvent mise en place est l'installation d'hôtels à insectes. Le **plan Biodiversité 2018-2024** de la ville de Paris prévoit dans ce sens, la multiplication de sites de nidification pour les pollinisateurs via les hôtels à insectes. Ces derniers peuvent permettre de maintenir une certaine diversité en milieu urbain (**Fortel et al. 2014** - 21 espèces à Lyon ; **MacIvor et al., 2015** - 27 à Toronto) et de sensibiliser le public à la diversité des pollinisateurs présents en ville. Cependant, ils ne permettent de maintenir qu'une certaine partie de la communauté de pollinisateurs - les espèces xylocoles. Une troisième action concerne la végétalisation du bâti (murs, toitures) pour ajouter à la matrice urbaine des espaces de nature supplémentaires. Les toitures végétalisées ont d'abord été conçues de façon industrielle par des professionnels de l'étanchéité et des entreprises horticoles (90% des toitures végétalisées présentes en ville). La prise en compte du contexte local, des fonctions écologiques mais aussi l'association d'écologues lors de leur conception se développent doucement. C'est ainsi que depuis quelques années, on observe une diversification des toitures végétalisées. L'engouement pour ces équipements est très fort mais leur intérêt écologique reste encore à évaluer.

Le présent mémoire s'inscrit dans le cadre du projet GROOVES (Green ROOfs Verified Ecosystem Services) mené par l'ARB-îdF (Agence régionale de la biodiversité en Île-de-France) initié en 2017 et visant à mieux comprendre le potentiel d'accueil de la biodiversité des toitures végétalisées ainsi que les services écosystémiques qu'elles fournissent. Ce projet s'inscrit dans la continuité des thèses de **Frédéric Madre (2014)** et **Yann Dusza (2017)** ayant tous deux travaillé sur la biodiversité des bâtiments végétalisés. L'étude met en œuvre divers protocoles de suivi de la biodiversité dont des inventaires de la flore et des invertébrés. Le présent mémoire portera plus particulièrement sur les pollinisateurs.

Une question a alors émergé de ce projet : sous quelles conditions les toitures végétalisées peuvent-elles être des lieux d'accueil pour les pollinisateurs ? Plusieurs hypothèses sont venues s'ajouter : 1/ Les toitures végétalisées "industrielles" abritent des abondances et diversités de pollinisateurs plus faibles mais différentes de celles présentes au sein d'autres espaces verts

urbains, 2/ les nouveaux systèmes de conception des toitures végétalisées dits “écologiques” sont favorables à l’installation d’un plus grand nombre de pollinisateurs que les toitures végétalisées « industrielles ».

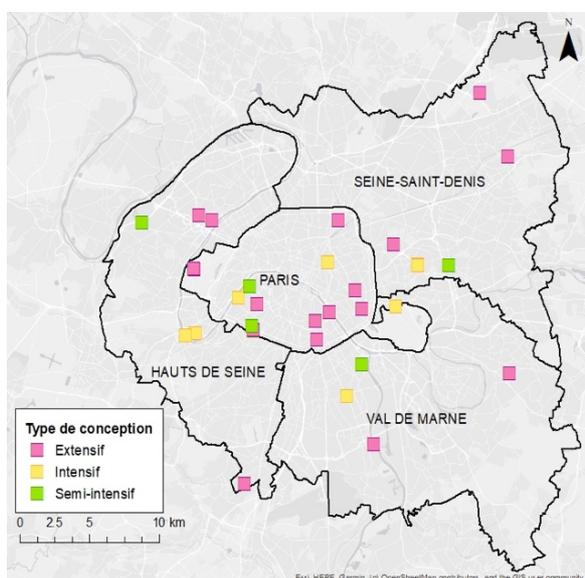
Afin de tester ces hypothèses je m’attacherai à évaluer les effets des différentes étapes de la conception d’une toiture sur sa communauté de pollinisateurs. Les résultats de cette étude permettront d’orienter les politiques urbaines en faveur des pollinisateurs.

MATERIEL ET METHODES

L’étude se situe dans un périmètre englobant la ville de Paris ainsi que les départements de la “Petite Couronne” (Seine-Saint-Denis, Val-de-Marne, Hauts-de-Seine). Il s’agit d’un territoire densément peuplé et urbanisé (4 566 621 habitants en 2015, sur une superficie de 657 km²). Nous avons sélectionné 32 toitures classées en trois typologies de conception définies par l’**ADIVET** (Association française des toitures et façades végétales) : extensive, semi-intensive, intensive (Table I).

Table I: Récapitulatif des trois grands types de conception de toitures végétalisées proposés par l'ADIVET

Typologie	Extensive	Semi-intensive	Intensive
Épaisseur de substrat	Entre 4 et 15 cm	Entre 15 et 30 cm	Plus de 30 cm
Végétation installée	<i>Sedum</i>	Herbacées	Herbacées + Arbustes
Exemples en photographie			



Ces toitures ont une surface minimale de 200 m², et sont accessibles en une heure ou moins en transports depuis Paris. L’échantillon se compose de 17 toitures extensives, 6 semi-intensives et 9 intensives (Figure 1).

Figure 1: Localisation des toitures végétalisées suivies

SUIVI PHOTOGRAPHIQUE DES INSECTES POLLINISATEURS : LE SPIPOLL



Figure 2: Réalisation d'une session SPIPOLL sur une toiture intensive © Marc Barra

Chaque site est prospecté deux fois, avec un premier passage entre mi-mai et mi-juin puis un second un mois plus tard afin de recenser les espèces émergeant plus tardivement.

Les interactions plantes-pollinisateurs ont été quantifiées en 2017, 2018 et 2019 suivant le protocole de sciences participatives du **SPIPOLL** (Suivi Photographique des Insectes POLLinisateurs). Ce programme, créé en 2008 par le MNHN (Muséum national d'Histoire naturelle) et l'OPIE (Office Pour les Insectes et leur Environnement), vise à accumuler des photographies des interactions entre plantes et pollinisateurs.

Le protocole consiste à réaliser une collection, c'est-à-dire choisir une espèce végétale en fleur, puis à photographier tous les insectes se nourrissant ou se posant sur les fleurs, sur une durée de 20 minutes. Plusieurs informations sont relevées : la température, le vent, la couverture nuageuse, les coordonnées géographiques, la classe d'abondance relative de chaque taxon (1 individu, entre 2 et 5, plus de 5) ainsi que la spontanéité ou non de la plante étudiée. La collection est ensuite saisie sur le site internet du **SPIPOLL** et les différents taxons d'arthropodes identifiés grâce à la clef de détermination en ligne. Chaque individu photographié est classé dans une liste relativement hétérogène de 598 taxons allant de l'espèce précise à l'ordre. Au total, quatre collections sont réalisées sur chaque toiture par an : trois au premier passage et un seul au second. Lorsque les toitures le permettaient, chaque collection a été réalisée sur une espèce végétale différente.

AUTRES MESURES REALISEES SUR LES TOITURES VEGETALISEES

PRELEVEMENTS ET ANALYSES DES SUBSTRATS

En parallèle des inventaires naturalistes, un protocole a été établi pour mesurer la qualité du substrat des toitures végétalisées. Entre avril et mai 2018, sur chaque toiture et de manière aléatoire, dix prélèvements de substrat ont été effectués à l'aide d'un transplantoir à bulbes. Chaque prélèvement a été réalisé sur une épaisseur maximale de 12 cm, pour limiter notre effet

intrusif sur les toitures. Les différents prélèvements ont ensuite été poolés et homogénéisés, conservés dans des sacs en plastiques et envoyés à un laboratoire d'analyses de sols. Afin de limiter l'activité des micro-organismes, les échantillons ont été conservés dans une glacière puis au réfrigérateur. Les substrats prélevés ont été analysés par un laboratoire agréé : *Auréo Agrosience*. Diverses analyses ont été réalisées parmi lesquelles des mesures granulométriques à partir desquelles on mesure les pourcentages de sable, limon et argile. L'azote est quantifié, de même que le taux de matière organique et le rapport C/N, la quantité d'éléments grossiers contenus dans le substrat la Capacité maximale en eau et la biomasse microbienne.

DONNEES DE CONCEPTION ET DE GESTION

Lors des passages et après contacts avec les gestionnaires des toitures végétalisées, diverses informations relatives à leur conception sont capitalisées :

- Les **types de substrats** selon trois catégories : **substrat minéral** (80% de pouzzolane), **terre agricole** (éléments terreux) et **substrat mixte** (mélange).
- L'**épaisseur du substrat** est mesurée grâce à une tige en fer et d'un mètre
- La **hauteur de la toiture** est mesurée à l'aide d'un laser
- La **strate végétale dominante** : orpins, autres herbacées ou un mélange des deux.

Les données relatives à la surface des toitures sont calculées grâce au logiciel ArcMap (10.5.1).

SELECTION DES DONNEES ET ANALYSES STATISTIQUES

L'analyse cartographique est réalisée grâce au logiciel ArcMap (10.5.1) et les analyses statistiques grâce aux logiciels R (3.1.2).

SELECTION DES SPIPOLL ISSUS DE PARIS ET SA PETITE COURONNE

Afin de contextualiser la biodiversité en pollinisateurs présente sur les toits, une comparaison avec deux autres types espaces verts urbains (sites d'agriculture urbaine et parcs et jardins publics et privés) est réalisée. Dans un souci de comparabilité, seules les données issues de mai à juillet 2018 et se situant au sein de la petite couronne parisienne ont été sélectionnées. Les données d'agriculture urbaine sont issues d'une autre étude menée par l'ARB, initiée en 2018, suivant également le protocole du SPIPOLL sur 24 sites. Les données des parcs et jardins sont issues de la base de données SPIPOLL sur 13 sites. La sélection des collections des parcs et jardins est réalisée grâce à l'utilisation de **MOS** (Mode d'occupation du sol de l'Île-de-France (ÎdF), mis à jour en 2017, distinguant onze catégories d'utilisation des sols franciliens) en utilisant les classes « habitat collectif », « habitat individuel et « espaces ouverts artificialisés » (Annexe I pour les classes du Mos).

Afin d'observer les différences de richesse taxonomiques entre chacun des milieux, j'ai réalisé des tests unilatéraux de comparaisons de moyenne au seuil de 5% : test de Student pour les variables suivant une loi normale, test de Wilcoxon dans le cas contraire (Package *stats*).

ANALYSE DES PROPRIETES DES TOITURES ET SUBSTRATS

Pour qualifier la composition des substrats de chacun des trois types de conception, une ACP (package *ade4*, Dray & Dufour, 2007) regroupant neuf paramètres des sols est réalisée. Le **Rapport C/N** représente la vitesse de décomposition de la matière organique (MO). Un rapport faible induit une dégradation rapide et inversement. Le **pH du sol dosé par l'eau** mesure l'acidité active du substrat, à savoir l'acidité que subissent les racines des plantes et les organismes du sol. Elle varie entre 6,3 et 8,5. Le **Ratio des Éléments Traces Métalliques (ETM)** représente la valeur mesurée sur la valeur seuil de l'ensemble des sept ETM (Cadmium, Chrome, Cuivre, Nickel, Plomb, Zinc et Mercure). La **Capacité d'échange cationique (CEC)** est une mesure de la fertilité du sol. Un sol riche en azote va voir sa fertilité et sa CEC augmenter. L'**azote contenu dans la biomasse microbienne** traduit l'activité microbienne des sols. Le **Refus à 2mm** traduit la proportion d'éléments grossiers contenus dans les substrats. Il met en évidence la capacité de rétention en éléments ou le risque de lessivage. Le **pourcentage d'argile et de sable** définit la texture des sols. Enfin la **MO biologique** indique la disponibilité de la matière organique pour les êtres vivants et influe donc sur la fertilité du substrat.

UNE ECHELLE SPATIALE ADEQUATE POUR ESTIMER L'INFLUENCE DU PAYSAGE

Afin d'estimer l'échelle spatiale paysagère la plus pertinente à prendre en compte pour mettre en lumière l'influence du paysage sur les richesses spécifiques de pollinisateurs, j'ai tout d'abord regroupé les différentes classes du MOS de 2017 en quatre classes principales : Espaces naturels, Espaces ouverts anthropisés, Espaces bâtis et Voies de communication. (Annexe I). J'ai créé des zones tampons allant de 100 à 1000m avec un pas de 100 m autour de chacune des toitures puis calculé la superficie (en %) occupée par chacune des classes. La distance de 1000m correspond à la distance moyenne que parcourent les abeilles domestiques en ville pour accéder à leur ressource (**Garbuzov et al. 2014**). Les abeilles sauvages quant à elles ne parcourent que quelques centaines de mètres (**Goulson, 2003**).

Ensuite, j'ai créé un modèle linéaire (lm) par zone tampon pour mettre en lumière la relation entre richesse spécifique et composition paysagère. J'ai ensuite choisi la zone tampon (l'échelle paysagère) expliquant le mieux la variation de la richesse : la valeur de R^2 la plus élevée. Ces modèles ont été testés sur six morphogroupes de pollinisateurs (**Geslin et al. 2013**) : abeille

domestique, bourdons, abeilles solitaires, coléoptères, syrphes et lépidoptères. Les groupes étudiés ne sont pas impactés de la même façon par le paysage, j'ai donc obtenu des résultats différents pour chacun d'eux (Table II).

Table II: zone tampon expliquant le mieux la variation de la richesse par groupe taxonomique étudié

Groupe taxonomique	Richesse totale	Bourdons	Abeille domestique	Abeilles solitaires	Coléoptères	Syrphes	Lépidoptères
Zone tampon	400 m	100m	800m	100m	100 m	500 m	100m

Ces zones tampons sont celles qui ont généré le meilleur ajustement et ont donc été retenues pour les prochaines analyses. J'ai testé la corrélation de Pearson entre les quatre catégories de variables paysagère. Les pourcentages de milieux urbains et d'espaces ouverts anthropisés sont corrélés à plus de 0,8. J'ai choisi d'éliminer le pourcentage de milieu urbain dans mes modèles pour m'intéresser à l'impact de la proportion d'espaces ouverts artificialisés.

Afin de voir si le paysage et les caractéristiques des toitures ont une influence sur la richesse en pollinisateurs, j'ai réalisé des modèles linéaires généralisés mixtes (GLMM) avec un seuil de significativité α de 5%. Ces modèles permettent de prendre en compte l'autocorrélation spatiale grâce à l'ajout des coordonnées géographiques des sites ainsi que les données ne suivant pas une loi normale. Afin de pouvoir ajouter des effets aléatoires, j'utilise la fonction *glmmPQL* (package *MASS*, Venables & Ripley, 2002). Ainsi, le site d'étude a été placé en effet aléatoire et j'ai utilisé plusieurs paramètres des toitures en effet fixe : les coordonnées X et Y du site, sa surface, l'âge de la toiture, la hauteur du bâtiment, l'épaisseur de son substrat, l'année à laquelle a été effectué le relevé, les pourcentages de transports, d'espaces ouverts artificialisés, d'espaces naturels et enfin la richesse floristique moyenne du site. Pour intégrer des paramètres de qualité du sol, j'ai intégré les coordonnées de chaque toiture sur les deux axes de la précédente ACP. Afin d'estimer les variables ayant une influence significative sur les paramètres de la toiture, j'ai réalisé une ANOVA (package *car*, Fox & Weisberb, 2019). Enfin, j'ai réalisé des modèles additifs généralisés (GAM) (package *gam*, Hastie, 2019). Ils permettent une représentation des relations fonctionnelles lissées entre les variables et les paramètres de toitures. Autrement dit, cela va permettre de représenter graphiquement un des paramètres choisis tout en tenant compte de l'effet des autres paramètres du modèle. L'axe vertical correspond à la variable à expliquer : sa variation autour de la moyenne égale à zéro et l'axe horizontal à l'une des variables explicatives.

Les variables de surface de la toiture, de hauteur du bâtiment et d'épaisseur du substrat ne suivant pas une loi normale ont été transformées en logarithme pour la suite des analyses.

RESULTATS

LA PLACE DES TOITURES VEGETALISEES DANS LE ROLE DE POLLINISATION

Afin de pouvoir déterminer l'importance des toitures végétalisées en tant qu'espace vert urbain pour les pollinisateurs, les collections SPIPOLL issues de trois milieux ont été analysées.

LA PLACE DES TOITURES VEGETALISEES EN TANT QU'ESPACE VERT URBAIN

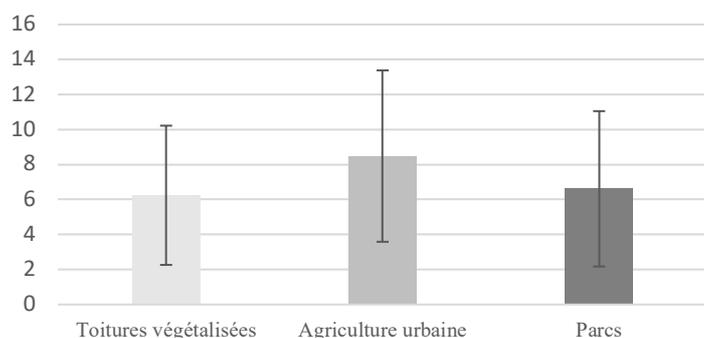


Figure 3: Comparaison du nombre moyen de taxons pollinisateurs par collection sur les trois milieux

Les trois milieux présentent des richesses taxonomiques en pollinisateurs différentes. Ainsi, on recense sur les toitures végétalisées une moyenne de six taxons par collections, huit pour les sites d'agriculture urbaine et sept pour les parcs. Globalement, il y a significativement moins de taxons par collection sur les toitures qu'en agriculture urbaine et que dans les parcs. Il y a

significativement plus de taxons par collection en agriculture urbaine que dans les parcs.

Malgré cette différence de richesse taxonomique, les trois milieux présentent des similitudes dans la composition de leurs communautés. Ainsi pour chacun des trois milieux, l'ordre dominant est celui des hyménoptères (de 44% sur les toitures végétalisées à 52% pour les sites d'agriculture urbaine), suivis des diptères (entre 23% pour l'agriculture urbaine et les parcs et 26% sur les toitures végétalisées) et des coléoptères (entre 9% sur l'agriculture urbaine et 15% sur les toitures végétalisées). Si l'on s'intéresse aux taxons majoritairement retrouvés dans chacun des milieux (Table III), on remarque que trois des cinq taxons majoritaires se retrouvent dans les trois milieux étudiés : les halictes, l'abeille domestique et les bourdons fauves à gris (*e.g. Bombus pascuorum* (Scopoli, 1763)) (Annexe II pour la liste complète des espèces dans chaque milieu).

Chaque milieu présente toutefois des originalités taxonomiques. Les taxons majoritaires ne sont pas similaires entre les trois milieux (Table III). Plus globalement, 16 taxons ont été retrouvés uniquement sur les toitures végétalisées, 23 uniquement dans les sites d'agriculture urbaine et 17 dans les parcs urbains. Cela représente respectivement 15, 21 et 19% de la totalité des taxons recensés au sein de chaque milieu.

Table III: Taxons majoritaires par milieux en 2018. En gras, taxons majoritaires communs aux trois milieux. Les taxons sont classés par ordre décroissant de rencontre. Entre parenthèses, le nombre de taxons retrouvés dans chaque milieu

Toitures végétalisées (106)	Agriculture urbaine (115)	Parcs (92)
 Les Halictes (femelles) <Halictus, Lasioglossum et autres> 	 Les Halictes (femelles) <Halictus, Lasioglossum et autres> 	 L'Abeille mellifère <Apis mellifera>
 L'Abeille mellifère <Apis mellifera> 	Les Halictes (mâles) <Halictidae>	 Les Bourdons à pilosité fauve à grise <Bombus>
Le Syrphe porte-plume (mâle) <Sphaerophoria scripta>	 Les Bourdons à pilosité fauve à grise <Bombus> 	 Les Halictes (femelles) <Halictus, Lasioglossum et autres>
 Les Bourdons à pilosité fauve à grise <Bombus> 	 L'Abeille mellifère <Apis mellifera> 	Les Bourdons noirs à bande(s) jaune(s) et cul blanc <Bombus>
Les Nitidulides <Nitidulidae>	Les Mouches aux reflets métalliques <Neomyia, Calliphora et autres>	Les Abeilles difficiles à déterminer <Apidae et autres>

LES POLLINISATEURS DES TOITURES VEGETAISEES

Au total dans cette étude, 366 collections ont été utilisées et ont permis de recenser 145 des 598 taxons présents dans la base de données SPIOLL (Annexe III : liste des taxons recensés).

En moyenne quatre taxons sont recensés par collection pour les toitures extensives, six pour les semi-intensives et sept pour les intensives, cette dernière correspondant à la même richesse taxonomique observée dans les parcs. Globalement, il y a significativement moins de taxons par collection sur les toitures extensives que semi-intensives et intensives mais cette différence n'est pas significative entre la richesse des toitures semi-intensives et intensives.

Les toitures extensives ont permis de recenser 85 taxons, les semi-intensives 102 et les intensives 113 dont respectivement 11, 15 et 22 taxons captés uniquement sur ce type de toiture. Cela représente entre 10 et 20% de la richesse totale captée sur chaque type de conception.

Les six morphogroupes plus particulièrement étudiés au sein de ce mémoire (Abeilles sauvages, bourdons, abeille domestique, coléoptères, lépidoptères et syrphes) représentent entre 56 et 64% de l'ensemble des taxons inventoriés (Figure 4).

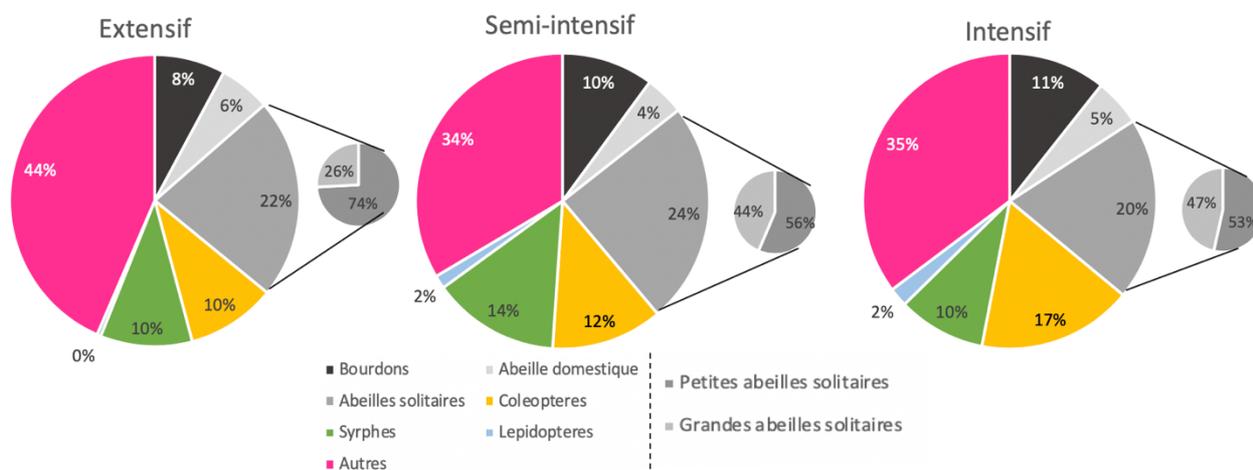


Figure 4: Répartition dans le total des collections réalisées, des différents morphotypes de pollinisateurs étudiés au sein des trois types de conception de toitures végétalisées

Parmi l'ensemble des taxons recensés, les Apoidae (Abeilles sauvages, Bourdons et abeilles domestiques - en niveaux de gris sur la Figure 4) représentent en moyenne 37% des taxons rencontrés sur les toitures végétalisées. Parmi elles, la famille majoritaire est celle des Halictidae, suivie des Apidae, des Megachilidae, des Colletidae et des Andrenidae (Figure 5). Quatre taxons d'abeilles cleptoparasites, aussi appelées abeilles coucou, ont été identifiés.

Il est intéressant de constater qu'alors que les trois quarts des abeilles sauvages présentes sur les toitures de types extensif sont des petites abeilles, elles ne représentent plus que 55% des abeilles sauvages des toitures intensives et semi intensives (Figure 4).

Le second morphogroupe majoritaire est celui des coléoptères. La proportion de coléoptères sur les toitures intensives est presque deux fois supérieure à celle retrouvée sur les deux autres types de conceptions (Figure 4). Les coléoptères recensés sur les toitures, sont majoritairement des Coccinellidae, des Oedemeridae et des Nitidulidae (Figure 5.b.).

La richesse taxonomique en syrphes ne semble pas avoir de grande variation entre conception (Figure 4). Ils sont majoritairement représentés par le Syrphe Porte-plume (*Sphaerophoria scripta*, Linnaeus 1758), des syrphes de genre *Eupeodes* et le syrphe ceinturé (*Episyrphus balteatus*, De Geer 1776) (Figure 5.c.).

Les lépidoptères ne représentent pas plus de 2% de la richesse pour les trois conceptions étudiées (Figure 4).

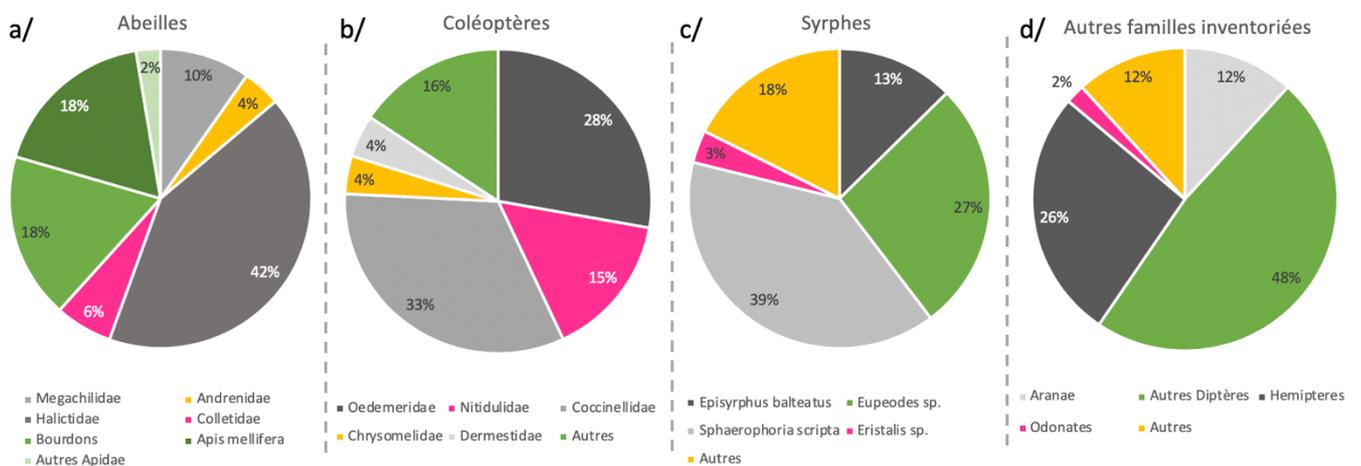


Figure 5: Répartition des familles au sein des différents morphogroupes étudiés a/ Abeilles b/ Coléoptères c/ Syrphes d/ Ordres non étudiés

LES POLLINISATEURS DES ORPINS : GENRE MAJORITAIREMENT PLANTE SUR LES TOITURES VEGETALISEES

Dans cette partie, j'ai choisi de me concentrer sur un genre largement représenté sur les toitures végétalisées : les orpins (*Sedum* sp.). Ces espèces, plantées ou spontanées, se retrouvent

sur une majorité de toitures. Le but ici, est de savoir si ces espèces permettent l'accueil de communautés de pollinisateurs particulières.

32% des collections ont été réalisées sur des Orpins (famille des crassulacées). Viennent ensuite les astéracées (20%), les lamiacées (8%), les fabacées (7%) et les géraniacées (5%). Ces cinq familles représentent à elles seules près des trois quarts des collections. Il faut également noter que 92% des collections réalisées sur les orpins l'ont été sur une toiture de type extensif.

Au total, les orpins permettent de capter 88 des 141 taxons recensés au cours de l'étude (Annexe III pour la liste des taxons captés sur des orpins). 9% ont uniquement été captés sur des orpins. On retrouve dans ces taxons, des espèces telles que le Némusien (*Lasiommata maera* (Linnaeus, 1758)), l'Azuré des Nerpruns (*Celastrina argiolus* (Linnaeus, 1758)), la Sylvaine (*Ochlodes sylvanus* (Esper, 1777)), des guêpes fouisseuses du genre *Bembix* ou encore des abeilles coucou du genre *Melecta*. Au contraire, le reste des espèces végétales étudiées a permis de capter 139 taxons dont 61 non retrouvés sur les *Sedum*.

Seuls six taxons sont communs aux cinq familles les plus fréquemment échantillonnées au cours de l'étude : l'abeille domestique (*Apis mellifera* (Linnaeus, 1758)), les bourdons fauves à gris (e.g. *Bombus pasuorum* (Scopoli, 1763)), les bourdons à bandes jaunes et cul blanc (e.g. *Bombus terrestris* (Linnaeus, 1758)), les Halictidae (*Halictus* et *Lasioglossum*), les mouches à reflets métalliques (genres *Neomyia* et *Callifora*), et les syrphes du genre *Eupeodes*.

L'APPORT DES TOITURES VEGETALISEES POUR LES POLLINISATEURS URBAINS

PROPRIETES DES DIFFERENTS TYPES DE CONCEPTION DE TOITURES VEGETALISEES

L'axe 1 de l'ACP (Figure 6.a.) représente la granulométrie du sol et explique 41% de la variance. Il comporte les paramètres de refus 2 mm, de pourcentages d'argile et de sable qui sont négativement corrélés et du pH du sol dosé par l'eau. L'axe 2 quant à lui représente la vitesse de décomposition de la matière organique du substrat et explique 29% de la variance. Il comprend les paramètres d'Azote stocké dans la biomasse moléculaire, de Capacité d'échange cationique et de rapport C/N. L'augmentation de ce dernier paramètre induit une dégradation lente de la matière organique, due à un stock limitant d'azote. Ces paramètres permettent de discriminer les trois types de conception (Figure.6.b.), le type de végétation dominante sur les toitures (Figure 6.c.) et de composition du substrat (Figure 6.d.) selon le gradient horizontal de granulométrie. Les toitures de type intensif sont caractérisées par un sol de pH plus alcalin que les extensives et des sols argileux permettant de stocker plus d'éléments traces métalliques que les extensives. Les toitures composées d'une végétation à dominante mixte ou d'un substrat

mixte permettent de couvrir une large variation de vitesse de décomposition de la matière organique. Les autres types de végétation ou de substrats suivent plutôt le gradient horizontal.

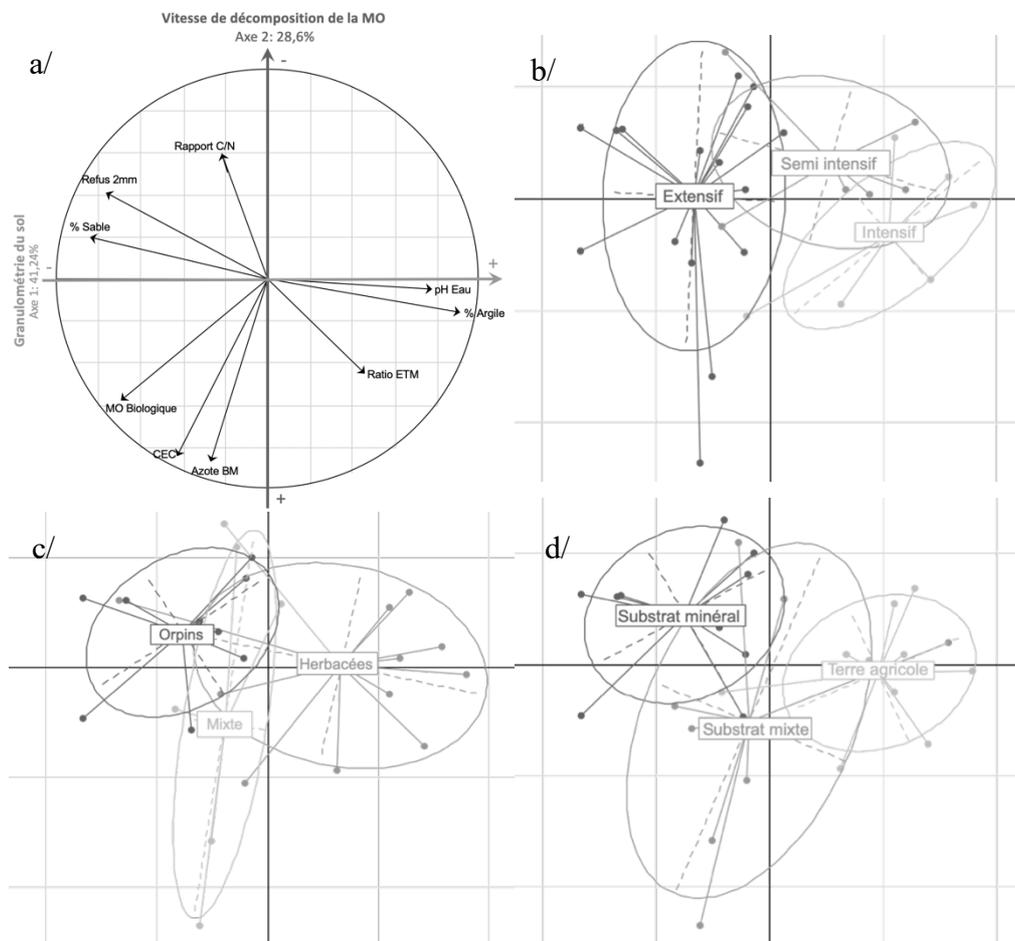


Figure 6 : ACP (Analyse en Composantes Principales) de la qualité des substrats des toitures végétalisées. a/ Cercle de corrélation des différentes variables utilisées CEC: Capacité d'échange cationique (még/100g) , Refus 2 mm: Teneur en éléments grossiers, Azote BM: Azote stocké dans la biomasse moléculaire (kg/ha), pH Eau: pH du sol dosé par l'eau, % Argile et %Sable: fraction granulométrique du substrat, Rapport C/N, MO Biologique: Pourcentage de matière organique dans l'analyse biologique (g/kg) b/ Représentation graphique des trois types de conception de toitures végétalisées sur les axes. c/ Végétation dominante. d/ Type de substrat

L'INFLUENCE DES PARAMETRES DE TOITURES SUR LA RICHESSE EN POLLINISATEURS.

Les résultats de l'ANOVA sont présentés dans la table IV. Elle montre les variables ayant un effet ou non sur la richesse spécifique des taxons étudiés.

Nous observons que les paramètres de qualité du substrat, représentés par les deux axes de l'ACP, ne semblent pas influencer la richesse en pollinisateurs. Ces paramètres ne se sont jamais avérés significatifs. En revanche, les substrats semblent avoir une influence sur la richesse en pollinisateurs par leur épaisseur. Les paramètres inhérents aux bâtiments ont également une influence sur la richesse.

Table IV: Résultats de l'ANOVA. En vert, effet positif de la variable sur le taxon étudié. En rose, effet négatif de la variable sur le taxon. Codes pour la significativité des variables ***: 0.001, **: 0.01, *:0.05

	Log Épaisseur	Log Hauteur	Age toiture	Année relevé	% espace ouverts	% transport	% milieux	Latitude	Longitude	Richesse flore	Log Surface	Axe 1 ACP	Axe 2 ACP
Richesse totale	*	0,0582	0,0955	***	0,2503	0,1094	0,7557	0,9086	0,7896	0,0684	*	0,7183	0,9433
A. domestique	0,6463	0,5038	0,1155	0,6215	*	*	*	0,9029	*	0,1308	0,1070	0,3837	0,4538
Bourçons	0,2048	0,6704	0,5009	0,4205	*	0,5011	0,7103	*	0,2313	0,4378	*	0,1703	0,1223
Abeilles Solitaires	*	***	*	***	0,1144	0,1120	***	0,3042	*	0,0727	**	0,3924	0,0515
Coléoptères	**	0,0559	0,2371	0,1092	*	0,3441	0,4086	0,6139	0,0726	0,8583	**	0,2174	0,1516
Syrphes	0,5885	*	0,7363	0,2584	0,8696	0,6686	0,714	0,869	0,2277	**	0,8931	0,7833	0,8895
Lépidoptères	0,5123	0,8848	0,4345	0,239	0,6684	0,9884	0,3791	0,3271	0,8919	0,2726	0,0684	0,9489	0,6653

Les variables paysagères liées aux espaces se situant à proximité des toitures ont aussi une influence significative sur certains taxons de même que la position géographique de la toiture. Dans les graphiques suivants, seuls les taxons pour lesquels le paramètre est significatif seront présentés.

INFLUENCE DES PROPRIETES DE LA TOITURE ET DU BATIMENT

HAUTEUR DES BATIMENTS

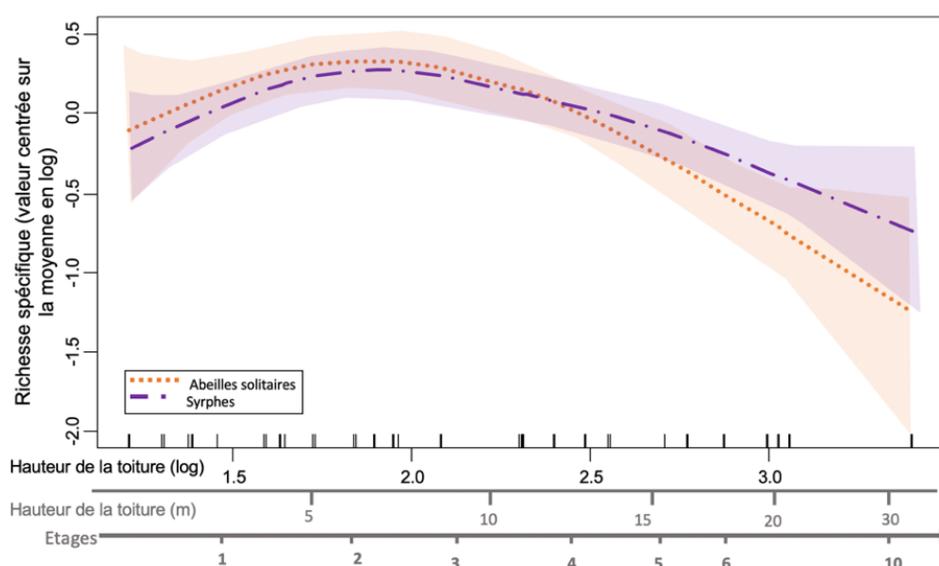


Figure 7: Influence de la hauteur du bâtiment sur la richesse spécifique des pollinisateurs. En transparence : l'intervalle de confiance relatif à chaque groupe

La hauteur du bâtiment a un effet négatif similaire sur la richesse en syrphes et abeilles solitaires. Plus précisément, l'effet est positif jusqu'à une hauteur d'environ trois étages puis décline ensuite pour devenir négatif à partir d'une hauteur d'environ quatre étages (Figure 7).

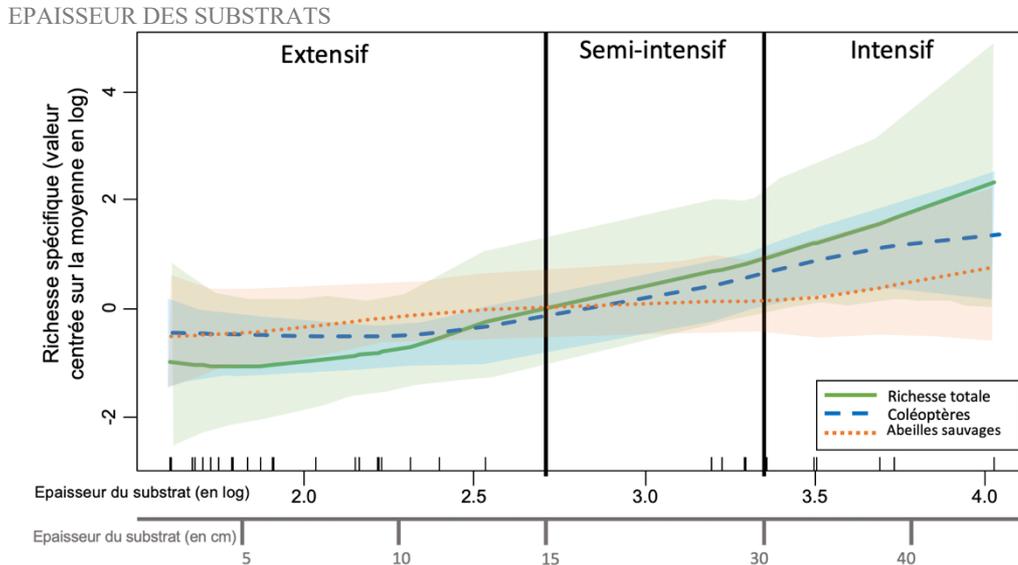


Figure 8: Influence de l'épaisseur du substrat sur la richesse spécifique des pollinisateurs. En transparence : l'intervalle de confiance relatif à chaque groupe

L'épaisseur des substrats des toitures a un effet positif sur la richesse totale des pollinisateurs et plus particulièrement sur la richesse en abeilles solitaires et en coléoptères. Ainsi, les toitures intensives sont celles qui semblent permettre l'accueil de la plus grande richesse en pollinisateurs (Figure 8).

AGE DE LA TOITURE

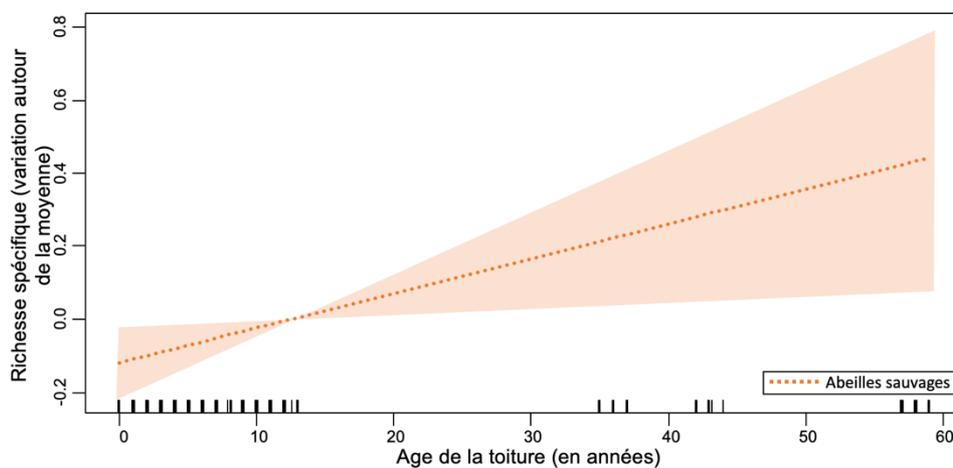


Figure 9: Influence de l'âge de la toiture végétalisée sur la richesse en abeilles solitaires. En transparence : l'intervalle de confiance

L'âge de la toiture végétalisée a un effet positif sur la richesse en abeilles solitaires (Figure 9).

SURFACE DE LA TOITURE

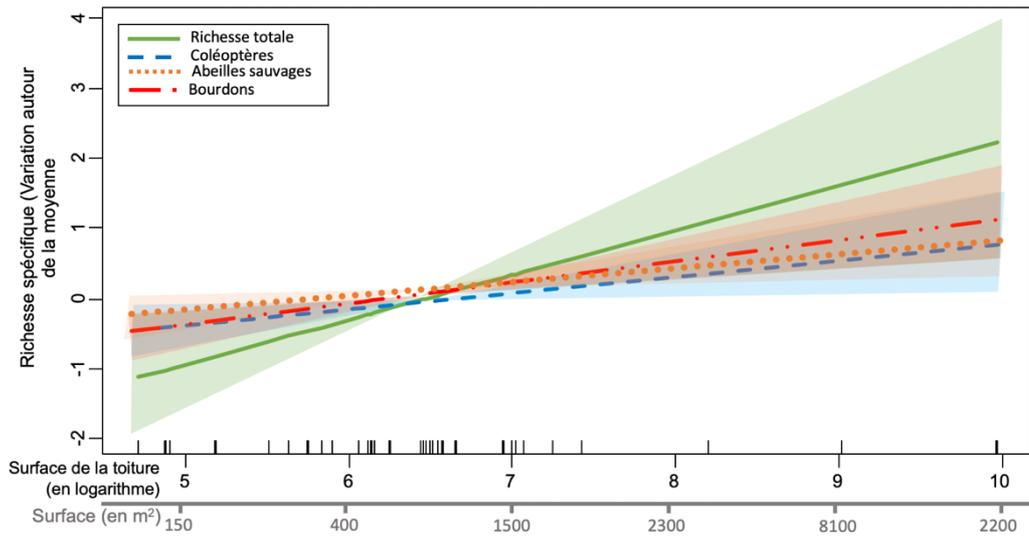


Figure 10: Influence de la surface de la toiture végétalisée sur la richesse en pollinisateurs. En transparence, l'intervalle de confiance relatif à chaque taxon

La surface de la toiture a un effet positif sur la richesse en pollinisateurs et notamment en coléoptères, bourdons et abeilles solitaires (Figure 10).

RICHESSSE FLORISTIQUE

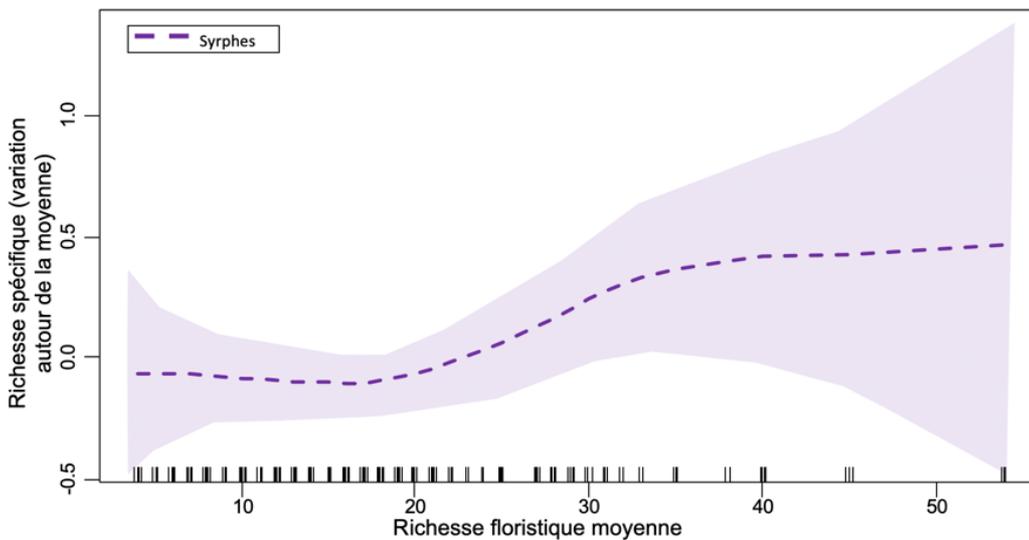


Figure 11: Influence de la richesse floristique sur la richesse en pollinisateurs. En transparence, l'intervalle de confiance

La richesse floristique a un effet positif sur la richesse en syrphes retrouvés sur les toitures végétalisées. Il semble également qu'après une richesse d'environ trente espèces végétales, l'effet positif cesse d'augmenter (Figure 11).

INFLUENCE DE L'EMPLACEMENT DE LA TOITURE
LE PAYSAGE AUTOUR DE LA TOITURE

Il est à noter que les zones tampons utilisées sont différentes pour les quatre taxons étudiés ici. Les bourdons, les abeilles solitaires et les coléoptères sont influencés par la composition du paysage dans un rayon de 100m autour de la toiture alors que pour les abeilles domestiques, ce rayon est de 800m. Dans ce rayon de 800m, la proportion d'espaces naturels ne dépasse pas les 40% et la proportion de voies de communication les 23%, expliquant l'arrêt des courbes sur la Figure 9.a. On observe un effet positif de la proportion d'espaces ouverts dans un rayon de 100m pour les bourdons et coléoptères (Figure 12.b.). Au contraire, pour les abeilles domestiques, cet effet est négatif.

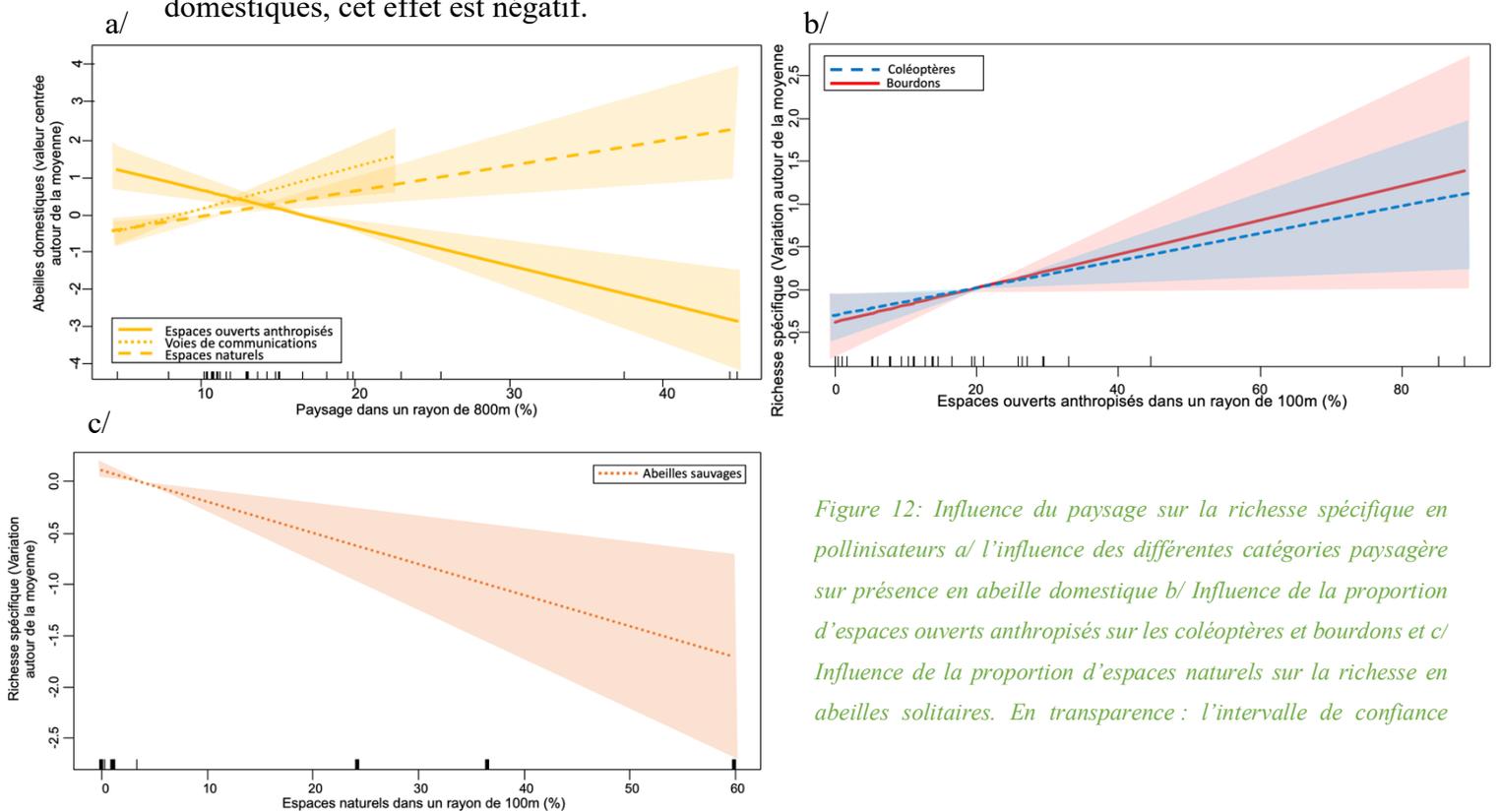


Figure 12: Influence du paysage sur la richesse spécifique en pollinisateurs a/ l'influence des différentes catégories paysagère sur présence en abeille domestique b/ Influence de la proportion d'espaces ouverts anthropisés sur les coléoptères et bourdons et c/ Influence de la proportion d'espaces naturels sur la richesse en abeilles solitaires. En transparence : l'intervalle de confiance

Dans le cas de la proportion d'espaces naturels, on observe un effet positif sur les abeilles domestiques, à l'opposé de ce que l'on retrouve avec la proportion d'espaces ouverts anthropisés. Inversement, la proportion d'espaces naturels a un effet négatif sur la richesse en abeilles solitaires retrouvées sur les toitures végétalisées (Figure 12. a. et c.).

Enfin, il semble que l'on retrouve plus fréquemment des abeilles domestiques sur les toitures lorsque la proportion de voies de communications aux alentours augmente.

LA POSITION GEOGRAPHIQUE DE LA TOITURE

Avant toute chose, il faut savoir que Paris est une zone plus densément urbanisée que la petite couronne. La longitude semble avoir un léger effet sur la richesse en abeilles solitaires. (Figure 13.a) Il semble en effet que le sud de la petite couronne et Paris permettent une plus grande richesse taxonomique que le nord de la petite couronne. Cependant, la proportion d'espaces naturels semble être un meilleur prédicteur de la richesse en abeilles solitaires que le gradient d'urbanisation, représenté par la longitude. Au contraire, en ce qui concerne les bourdons, il semble que le gradient d'urbanisation (ici, la latitude) ait un effet négatif sur leur richesse spécifique (Figure 13.b.). Il semble que les abeilles domestiques, soient plus retrouvées sur les toitures situées dans la petite couronne que dans Paris.

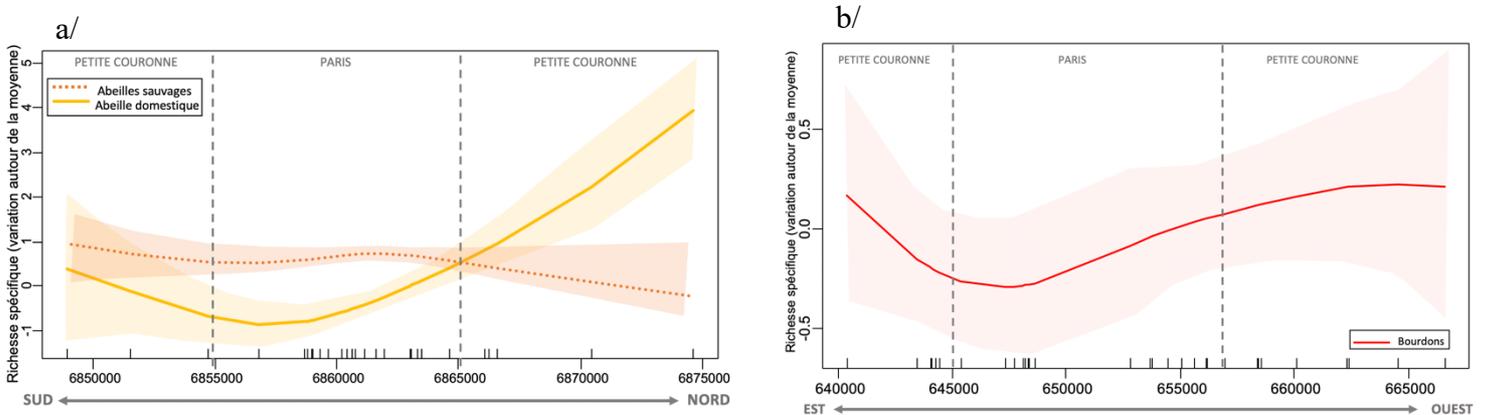


Figure 13: Influence de a/ la longitude et b/ la latitude sur la richesse en pollinisateurs. En transparence : Intervalles de confiance relatifs à chaque taxon

DISCUSSION

LA PLACE DE TROIS ESPACES VERTS URBAINS DANS LE ROLE DE POLLINISATION

La première partie de cette étude nous a permis de mettre en évidence l'intérêt de trois milieux différents dans la matrice urbaine : les toitures végétalisées, les sites d'agriculture urbaine et les parcs et jardins. Les toitures végétalisées ont une richesse taxonomique en insectes pollinisateurs plus faible que celle retrouvée dans les parcs qui est elle-même plus faible que celle des sites d'agriculture urbaine. Plusieurs études tendent également à montrer ce résultat. C'est le cas de **Tonietto et al. en 2011**, qui observent entre sept et trois fois moins de taxons sur les toits que dans les parcs canadiens. Dans cette lignée, **Normandin et al. en 2017**, qui réalise une comparaison entre plusieurs espaces verts urbains dont les sites d'agriculture urbaine, montre que ces derniers représentent un milieu riche en pollinisateurs. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que les sites d'agriculture urbaine sont de milieux riches en diversité végétale offrant aux pollinisateurs urbains une ressource alimentaire conséquente. Nous avons aussi constaté que ces trois milieux se complétaient par leur composition. Les

toitures végétalisées, comme d'autres espaces verts urbains peuvent donc contribuer à maintenir la diversité des pollinisateurs urbains à l'échelle de la ville.

LES DIFFERENTS TYPES DE CONCEPTIONS DES TOITURES VEGETALISEES

D'après les professionnels de l'étanchéité (ADIVET), les toitures végétalisées se distinguent en trois catégories selon l'épaisseur du substrat qui les composent et la végétation qui y est plantée : extensives, semi-intensives et intensives. Cette classification est aujourd'hui remise en question par certaines études. **Frédéric Madre en 2014** propose une nouvelle classification des toitures, basées sur les strates végétales qui les composent. Nous avons voulu vérifier si la classification des toitures était cohérente du point de vue écologique, en se basant sur les propriétés physiques des substrats. Nous avons ainsi pu discriminer nos toitures selon ces trois groupes et avons donc décidé de continuer nos analyses en utilisant cette typologie. Dans ces propriétés des substrats, c'est principalement la granulométrie, c'est-à-dire les pourcentages de sable et d'argile, qui permettent la séparation des toitures. Ainsi, les toitures de type extensif seraient plus sableuses que les toitures intensives composées d'un substrat argileux. Cela corrobore avec la construction classique des toitures extensives, principalement aménagées avec de la pouzzolane, une roche volcanique siliceuse. Or, les propriétés des sols ont une influence sur la végétation. En effet, les toitures extensives sont majoritairement plantées par les orpins tandis que les toitures de type intensif ou semi-intensif le sont par des herbacées. La classification classique des toitures se base notamment sur l'épaisseur des substrats. Or, il a été montré que la profondeur des substrats influait positivement sur la richesse végétale (**Durhman, Rowe & Rugh, 2007**). De même, nombre de pollinisateurs et notamment des abeilles comme les Halictidae ou les Andrenidae, sont dit terricoles, c'est-à-dire que leur nidification se fait dans les sols. Nous avons donc voulu voir si les propriétés des substrats pouvaient avoir une influence sur les interactions plantes-pollinisateurs.

UNE APPROCHE MULTI-TAXONS DES PARAMETRES FAVORISANT LA RICHESSE TAXONOMIQUE EN POLLINISATEURS SUR LES TOITURES VEGETALISEES

LES ABEILLES SAUVAGES

Pour l'ensemble des types de conception des toitures étudié, le taxon dominant est celui des Halictidae, de petites abeilles terricoles et souvent eusociales. Cette dominance des Halictidae a été retrouvée dans de multiples études, que ce soit dans les grands parcs urbains parisiens (**Geslin et al. 2016**) ou sur les toitures végétalisées au Canada (**Colla, 2009 ; Kratschmer et al. 2018**). De plus, **Kratschmer et ses collaborateurs** pensent que les substrats fins et sableux vont favoriser les petites espèces terricoles et eusociales comme c'est le cas des halictes alors

que les espèces plus grosses vont préférer des substrats argileux. Cela pourrait expliquer la dominance des halictes sur des toitures extensives sableuses et un équilibre de ce rapport lorsque le substrat des toitures est plus argileux comme c'est le cas des toitures semi-intensives et intensives. Pourtant, l'axe de granulométrie de notre analyse des substrats ne s'est avéré significatif pour aucun des six taxons étudiés.

En revanche, l'épaisseur des substrats, l'âge de la toiture ainsi que sa surface sont des paramètres qui semblent favoriser la richesse en abeilles sauvages. Comme dit précédemment, l'épaisseur du substrat permet une plus grande diversité végétale (**Durhman, Rowe & Rugh, 2007**). Une plus grande diversité végétale va alors induire une plus grande diversité de pollinisateurs comme le montre **Yann Duzsa en 2017** même si cette tendance ne s'est pas avérée significative pour nos abeilles sauvages. De plus, une plus grande épaisseur de substrat peut permettre la nidification d'un plus grand nombre d'espèces. Si de petites abeilles comme les halictes peuvent se contenter d'un substrat fin pour nidifier, nous pouvons imaginer que des espèces plus grosses comme des andrènes aient besoin d'une profondeur plus importante pour réaliser leur couvain. Ensuite, des théories comme la relation aire-espèce pour les plantes montrent qu'une surface plus importante permet l'implantation de plus d'espèces sur un milieu donné. Cela peut donc se retrouver chez les abeilles. Enfin, un milieu dénué au départ de vie tend à être colonisé au fil des années. Cela a été très souvent décrit chez les plantes via les successions végétales. Inversement, la proportion d'espaces naturels autour des toitures a un effet négatif sur la richesse en abeilles sauvages. Cet effet négatif de la proportion d'espaces naturels sur les visites en abeilles solitaires sur les toitures végétalisées pourrait s'expliquer par le fait que les milieux naturels aux sols disposent de suffisamment de ressources alimentaires pour les abeilles. Cela montre l'importance des toitures végétalisées en milieu urbain dense comme habitat favorable à la richesse en abeilles sauvages.

LES BOURDONS

Les bourdons, quel que soit le type de conception, font partie des pollinisateurs majoritaires de nos toitures. Nous avons montré que les toitures parisiennes étaient moins riches en bourdons que celles de la petite couronne. Dans ce sens, les bourdons sont également sensibles à la proportion d'espaces ouverts anthropisés et à la surface de la toiture comme facteurs favorisant la richesse taxonomique de ces derniers. Les bourdons sont des espèces sociales, pouvant construire leurs nids sous terre ou dans les cavités. Nous pouvons donc supposer que des lieux moins urbanisés, comme la petite couronne ou les parcs urbains sont propices au développement des colonies de bourdons, en fournissant sites de nidification et ressource

alimentaire en quantité plus importante. De plus, les bourdons sont des espèces généralistes pouvant butiner à la fois des fleurs tubulaires et des fleurs à corolle courte (**Fontaine et al. 2005**). Il n'est donc pas étonnant de retrouver ces taxons sur l'ensemble des toitures végétalisées et sur des espèces florales très différentes comme les orpins ou les lamiacées.

LES ABEILLES DOMESTIQUES

Le second taxon majoritairement retrouvé sur les toitures est celui des abeilles domestiques. Cela va dans le sens des politiques urbaines promulguant l'installation de ruches comme vecteur de biodiversité (*e.g.* **Ville de Paris, 2018b ; Plan Biodiversité 2018-2024**). Nous avons montré une augmentation de la présence d'abeilles domestiques avec l'augmentation de la proportion de milieux naturels autour des sites, mais à l'inverse, les toitures végétalisées semblent moins aptes à fournir une ressource alimentaire aux abeilles domestiques lorsque celle-ci sont entourées d'espaces ouverts artificialisés, représentés pour la majorité par des parcs urbains. Plusieurs hypothèses pourraient expliquer ce résultat. Tout d'abord, il est plus facile pour les apiculteurs d'installer une ruche dans un milieu naturel que dans un parc. En effet ces derniers accueillent du public et la possibilité qu'un citoyen se fasse piquer par une abeille augmente. Les décideurs pourraient alors préférer installer des ruches dans des zones plus isolées. La seconde hypothèse serait que les parcs sont des espaces possédant suffisamment de ressources florales. Les abeilles domestiques ont tendance à se focaliser sur la ressource florale la plus importante. La longitude et donc en quelques sortes le gradient d'urbanisation va également impacter la proportion d'abeilles domestiques retrouvées sur les toitures. En effet, il semble que les abeilles domestiques se retrouvent plus sur les toitures situées dans la petite couronne que sur les toitures parisiennes. Cela pourrait s'expliquer notamment par la plus grande proportion d'espaces non artificialisés dans la petite couronne et donc la présence de plus de ressource pour les abeilles.

Au vu de la forte proportion d'abeilles domestiques retrouvées lors de nos échantillonnages, il semble important de confronter ces résultats à la présence de ruches aux alentours des toitures végétalisées. En effet, même si nous avons connaissance des ruches implantées sur certains de nos sites, les données concernant l'ensemble des ruches franciliennes n'ont pas été prises en compte dans cette étude. Or, plusieurs études récentes tendent à montrer une interaction des abeilles domestiques et des abeilles sauvages notamment concernant la ressource alimentaire. Ce phénomène a été montré aussi bien en milieu urbain à Paris (Sous-Presses **Ropars et al., 2019**), qu'en milieu naturel (**Torné-Noguera et al., 2015**).

LES SYRPHES

La ressource alimentaire semble ainsi être un élément clef de la présence et de la richesse taxonomique en pollinisateurs. **Bates** et ses collaborateurs ont ainsi montré en 2011, que la disponibilité en ressource alimentaire impacterait plus les pollinisateurs – abeilles et syrphes – que l’urbanisation. C’est en effet ce qui semble ressortir de nos analyses des Syrphidae. La richesse floristique semble permettre une plus grande richesse de syrphes alors qu’aucune des autres variables paysagères ne s’est révélée significative pour ce taxon. Il serait alors intéressant de mettre en lien cette richesse avec les préférences alimentaires des syrphes. Bien que nous n’ayons pas trouvé de différences significatives dans la richesse taxonomique de syrphes entre les trois modes de conceptions, les syrphes sont des pollinisateurs spécialistes de plantes à corolle courte (**Fontaine et al. 2005**). Les orpins, genre majoritairement planté sur les toitures extensives pourraient alors fournir une bonne ressource alimentaire pour les syrphes. Concernant ce taxon, la hauteur de la toiture joue également un rôle dans la richesse taxonomique. En effet une toiture basse (moins de deux étages) a un effet positif sur la richesse en syrphes alors qu’une toiture plus élevée a un effet négatif. Nous pouvons supposer, que les syrphes, étant de petits pollinisateurs, vont avoir plus de difficulté à atteindre une toiture élevée. Au contraire, une toiture basse apporte une ressource alimentaire supplémentaire facile d’accès. Cependant, il n’y a, à ma connaissance, pas d’études démontrant ce résultat pour les syrphes.

LES COLEOPTERES

Les coléoptères, principalement représentés par les Nitidulidae et les Oedemeridae et les Coccinelles, sont également très présents sur les toitures, entre 10 et 17% de la totalité des taxons selon le type de conception. Nous avons pu confirmer cette tendance lors de nos analyses : la richesse en coléoptères est positivement corrélée avec l’épaisseur du substrat. Les Nitidulidae (e.g. *Meligethes* sp.) et les Coccinelles, utilisent la végétation pour pondre leurs œufs, respectivement dans les fleurs (souvent de brassicacées) et sur les feuilles. Dans ce cas, la diversité de la richesse végétale pourrait contribuer à la diversité de ces coléoptères. Or, nos toitures végétalisées de type intensif possèdent une richesse végétale plus importante que les extensives (Comm. Pers.). Les oedemères, quant à eux, utilisent le bois mort pour leur reproduction. Cette ressource relativement rare sur les toitures végétalisées pourrait cependant être disponible dans les espaces voisins. Cette hypothèse semble se confirmer par l’effet positif de la proportion d’espaces ouverts anthropisés autour des sites, même si curieusement, les espaces naturels principalement composés de forêts n’ont pas d’effet significatif sur la richesse en coléoptères. Enfin, la surface de la toiture a un effet positif sur la richesse en coléoptères. La

surface va augmenter la diversité végétale comme le montre la théorie de la relation aire espèces, donc potentiellement proposer un plus grand nombre de sites de nidifications et de nourriture pour les coléoptères. Cependant, les coléoptères sont une famille peu étudiée en raison de la complexité d'identification et de la multiplicité des taxons, il est donc difficile de valider ces hypothèses.

LES LEPIDOPTERES RHOPALOCERES

Enfin, nous avons, au cours de cette étude, rencontré très peu de lépidoptères rhopalocères : seulement 23 fois en trois ans. Onze taxons ont pu être identifiés. La très faible représentation de cette famille dans notre échantillon explique probablement l'absence de significativité de toutes les variables étudiées au sein de nos modèles. Cependant, les rhopalocères sont souvent étudiés comme indicateurs des effets de l'urbanisation sur la biodiversité. Certaines études tendent à montrer une perte de la richesse spécifique en rhopalocères en milieu urbain, comparé à la périphérie (**Desguines, 2016 ; Lizée, 2016**). Or, même si la proportion de surfaces non bâties autour de nos sites d'étude peut être variable, notre zone d'investigation (Paris et sa petite couronne) est très densément urbanisée, à hauteur de 70% (Mos 2017). Cependant, trois taxons de rhopalocères ont été identifiés uniquement sur des orpins. Bien que ce genre ne soit reconnu comme étant une plante hôte ou une ressource alimentaire préférentielle pour aucune des espèces inventoriées, il semble qu'il soit tout de même capable de fournir une ressource alimentaire aux lépidoptères urbains. Les lépidoptères identifiés sont principalement des espèces dites généralistes, que ce soit au niveau de leur plante hôte ou de leur ressource alimentaire. On peut compter parmi ces espèces généralistes l'Azurée des Nerpruns, l'Argus bleu (*Polyommatus icarus*, Rottemburg, 1775) ou encore la Belle Dame (*Vannessa cardui*, Linnaeus 1758). Nous avons cependant identifié des espèces plus spécialistes, notamment au niveau des plantes hôtes comme le vulcain (*Vannessa atalanta*, Linnaeus 1758) ou le Paon du jour (*Aglais io*, Linnaeus 1758) (**Roy et al. 2018**).

LIMITES ET PERSPECTIVES DE L'ETUDE

Cette étude, utilisant le protocole du SPIPOLL est non destructrice pour les populations de pollinisateurs, avantage considérable dans un contexte de déclin de la biodiversité et notamment des arthropodes. Cependant, de nombreux taxons de pollinisateurs ne sont pas identifiables à l'espèce sur photographie. Ce protocole ne pourra alors pas permettre de mettre en évidence le déclin ou la dominance d'une espèce en particulier, d'autant plus que certains taxons présents dans la base de données du SPIPOLL sont extrêmement larges (e.g. « Les abeilles difficiles à

déterminer : Apidae et autres »). Les individus photographiés sont souvent identifiés jusqu'au genre ou au moins jusqu'à la famille mais rarement jusqu'à l'espèce. Une identification à la famille ou au genre est suffisante pour analyser les données et en tirer des conclusions. En effet, malgré le fait que l'identification des individus ne peut pas s'effectuer jusqu'à l'espèce, il est tout de même possible de mettre en évidence des groupes fonctionnels différents. A l'issue de l'identification, des groupes tels que « bourdons », « petites abeilles » ou encore « lépidoptères » peuvent être bien différenciés.

En plus de cela, de nombreux observateurs différents ont effectué les collections SPIPOLL au cours de l'étude. Or, tous n'ont pas la même capacité à repérer et identifier les pollinisateurs. De petits taxons quasi immobiles, sont moins facilement repérables que des gros taxons volants. De même, des taxons à première vue similaires peuvent être très différents (*e.g.* Halictidae et *Hylaeus* sp.). Ainsi, selon la capacité de détermination de l'observateur, un seul des deux taxons sera identifié lors de la collecte de données et donc photographié poussant à la baisse la richesse taxonomique des milieux.

De nombreux paramètres n'ont pas été pris en compte lors de cette étude. Tout d'abord, la grande part d'abeilles domestiques retrouvée dans nos collections pourrait être due à la présence importante de ruches à proximité de nos sites. Nous avons en effet remarqué la présence de ruches sur certains de nos sites ou à proximité. Cependant, ces dernières relevant d'observations ponctuelles, elles n'ont pas été utilisées dans les analyses. Il serait néanmoins nécessaire de prendre en compte la présence de ruches, afin de rendre compte de l'impact des politiques urbaines, promulguant l'installation des ruches en milieu urbain, sur les interactions entre pollinisateurs domestiques et sauvages.

Les toitures végétalisées de types semi-intensif et intensifs sont très souvent gérées, via de l'irrigation ou de la fauche. Or, cela pourrait avoir une influence non négligeable sur la diversité végétale retrouvée sur les toitures et par conséquent sur la disponibilité en ressource alimentaire pour les pollinisateurs urbains. En effet, nous avons pu constater lors de notre venue sur certains sites, que ceux-ci venaient d'être intégralement fauchés. De fait, il n'y avait presque plus aucune plante en fleur sur le site, notre échantillonnage de ces sessions était donc largement biaisé.

De même, nous avons utilisé la richesse végétale comme paramètre pouvant influencer la richesse taxonomique en pollinisateurs. Cependant, la morphologie florale (corole tubulaire ou non) ou encore la couleur de la fleur peuvent avoir des conséquences sur les communautés de pollinisateurs qui iront les butiner. Ainsi, nous pouvons supposer que selon les familles sur lesquelles sont réalisées les collections SPIPOLL, nous allons retrouver des richesses et des

communautés de pollinisateurs différentes. **Desguines** et ses collaborateurs en 2016 ont montré que la famille végétale va avoir un effet significatif sur la richesse en pollinisateurs. Par exemple, les collections réalisées sur des astéracées vont permettre plus de richesse taxonomique en pollinisateurs que les collections réalisées sur des fabacées.

Cette étude et ce protocole ne permettent de mettre en lumière que les taxons utilisent les toitures comme ressource alimentaire. En revanche, nous avons pu observer, au cours de nos inventaires, l'utilisation de certaines toitures comme site de nidification, notamment par des Halictidae. Il serait donc intéressant de mettre en place un protocole secondaire afin de mettre en lumière l'utilisation des toitures végétalisées comme site de nidification pour les pollinisateurs urbains, beaucoup moins étudiée.

Il serait également intéressant de réaliser un passage plus tôt dans l'année, afin de capter des espèces précoces comme les osmies, absentes sur nos toitures mais pourtant retrouvées dans un autre milieu urbain : les sites d'agriculture urbaine.

CONCLUSION : PRECONISATIONS POUR LA MISE EN PLACE DES TOITURES VEGETALISEES

Ainsi, plusieurs paramètres sont ressortis de notre étude comme favorisant la richesse taxonomique en pollinisateurs. Cela nous permet donc de réaliser des préconisations quant à la mise en place de toitures végétalisées maximisant la richesse taxonomique en pollinisateurs.

Tout d'abord, il est important de rappeler que chacun des types de conceptions permettent l'apport d'une biodiversité différente et donc le maintien des pollinisateurs en ville.

De façon globale, les **immeubles bas**, de moins de trois ou quatre étages semblent favoriser les pollinisateurs. C'est également ce qui ressort de l'étude de **MacIvor** et ses collaborateurs en 2015, qui lui, préconise d'installer les toitures végétalisées sur des immeubles de moins de cinq étages.

L'**épaisseur des substrats** joue un rôle important. Des substrats épais vont accueillir une richesse en pollinisateurs plus importante. En plus de cela, des études ont montré l'importance de la **granulométrie des substrats**, notamment pour la nidification des abeilles terricoles. Les petites abeilles (Halictidae) semblent préférer les substrats sableux, tandis que les grosses abeilles (Andrenidae) préfèrent les substrats argileux et plus profonds (**Kratschmer et al. 2018**). Varier l'épaisseur et la composition des substrats est donc un élément indispensable à la richesse et à la diversité des pollinisateurs urbains.

La **richesse floristique** va souvent de pair avec la diversité des sols. Ainsi, varier les espèces et cortèges floristiques au sein de la toiture va permettre d'attirer et de maintenir une plus grande

diversité de pollinisateurs. Des espèces à langue longues vont préférer les fleurs à corolle tubulaire, tandis que des espèces aux pièces buccales plus courtes, comme les syrphes ou les coléoptères, vont se spécialiser sur les fleurs à corolle courte (**Fontaine *et al.* 2005**).

Des **toitures de surface importante** sont également à favoriser. En effet, une surface importante sera plus à même de proposer une richesse végétale et d'habitats importante.

Il semble également que l'attrait des pollinisateurs urbains pour les toitures végétalisées soit plus important lorsque ces dernières sont **proches d'habitats non urbanisés**, notamment pour les richesses en bourdons et coléoptères. Nous supposons que ces espaces plus naturels vont offrir aux pollinisateurs urbains des sites de nidification, et les toitures une ressource alimentaire indispensable au maintien des communautés de pollinisateurs. **En milieu urbain dense**, comme c'est le cas de Paris intramuros, les toitures vont offrir un habitat favorable aux pollinisateurs urbains. Cela a été particulièrement montré pour les abeilles sauvages.

En conclusion, une toiture végétalisée répondant au mieux aux exigences écologiques des pollinisateurs serait placée à moins de cinq étages (et idéalement à moins de deux étages) de hauteur, aurait une superficie importante, des substrats de composition variée et d'épaisseur afin de maximiser la richesse végétale. Elle serait située à proximité d'autres types d'espaces verts urbains pouvant offrir un refuge aux pollinisateurs et pourraient alors jouer un rôle de corridor écologique pour le déplacement et le maintien des pollinisateurs urbains.

BIBLIOGRAPHIE

ADIVET - Association des Toitures Vegetales, 2019, <http://www.adivet.net/> (Date de dernier accès 21/07/2019).

Bilan 2019 de l'ONB : pourquoi la nature disparaît-elle ? | Indicateurs ONB, 2019.
<http://indicateurs-biodiversite.naturefrance.fr/fr/actualites/bilan-2019-de-lonb-pourquoi-la-nature-disparait-elle> (Date de dernier accès : 11/08/2019).

Carvalho, L.G., Kunin, W.E., Keil, P., Aguirre-Gutiérrez, J., Ellis, W.N., Fox, R., *et al.*, 2013. Species richness declines and biotic homogenisation have slowed down for NW-European pollinators and plants. *Ecol Lett* 16, 870–878.
<https://doi.org/10.1111/ele.12121>

Clanché F., Rascol O., 2011. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1280970> (Date de dernier accès 11/08/2019)

Colla, S.R., Willis, E., Packer, L., 2009. Can green roofs provide habitat for urban bees (Hymenoptera: Apidae)? *Cities and the Environment* 2, 12.

- Desguines, N., Julliard, R., de Flores, M., Fontaine, C., 2016. Functional homogenization of flower visitor communities with urbanization. *Ecol Evol* 6, 1967–1976.
- Dray S., Dufour A., 2007. “The ade4 Package: Implementing the Duality Diagram for Ecologists.” *Journal of Statistical Software*, *22*(4), 1-20. doi: 10.18637/jss.v022.i04 (URL: <https://doi.org/10.18637/jss.v022.i04>).
- Durhman, A.K., Rowe, D.B., Rugh, C.L., 2007. Effect of Substrate Depth on Initial Growth, Coverage, and Survival of 25 Succulent Green Roof Plant Taxa. *HortScience* 42, 588–595. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.3.588>
- Dusza, Y., n.d. Toitures végétalisées et services écosystémiques: favoriser la multifonctionnalité via les interactions sols-plantes et la diversité végétale 209p.
- Elmqvist, T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotullio, P.J., McDonald, R.I., *et al.*, 2013. Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities. Springer Netherlands, Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7088-1>
- Fontaine, C., Dajoz, I., Meriguet, J., Loreau, M., 2005. Functional Diversity of Plant–Pollinator Interaction Webs Enhances the Persistence of Plant Communities. *PLoS Biol* 4, e1. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040001>
- Fortel, L., Henry, M., Guilbaud, L., Guirao, A.L., Kuhlmann, M., Mouret, H., *et al.*, 2014. Decreasing Abundance, Increasing Diversity and Changing Structure of the Wild Bee Community (Hymenoptera: Anthophila) along an Urbanization Gradient. *PLoS ONE* 9, e104679. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104679>
- Fox J., Weisberg S., 2019. An {R} Companion to Applied Regression, Third Edition. Thousand Oaks CA: Sage. URL: <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>
- Garbuzov, M., Schürch, R., Ratnieks, F.L.W., 2015. Eating locally: dance decoding demonstrates that urban honey bees in Brighton, UK, forage mainly in the surrounding urban area. *Urban Ecosyst* 18, 411–418. <https://doi.org/10.1007/s11252-014-0403-y>
- Geslin, B., Gauzens, B., Thébault, E., Dajoz, I., 2013. Plant Pollinator Networks along a Gradient of Urbanisation. *PLoS ONE* 8, e63421. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063421>
- Geslin, B., Le Féon, V., Folschweiller, M., Flacher, F., Carmignac, D., Motard, E., *et al.*, 2016. The proportion of impervious surfaces at the landscape scale structures wild bee assemblages in a densely populated region. *Ecol Evol* 6, 6599–6615. <https://doi.org/10.1002/ece3.2374>
- Geslin, B., Gauzens, B., Baude, M., Dajoz, I., Fontaine, C., Henry, M., *et al.*, 2017. Massively Introduced Managed Species and Their Consequences for Plant–Pollinator Interactions, in: *Advances in Ecological Research*. Elsevier, pp. 147–199. <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2016.10.007>

- Goulson, D., 2003. Effects of Introduced Bees on Native Ecosystems. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 34, 1–26. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132355>
- Hastie T., 2019. *gam: Generalized Additive Models*. R package version 1.16.1. <https://CRAN.R-project.org/package=gam>
- IPBES. Communiqué de presse : Le dangereux déclin de la nature : Un taux d’extinction des espèces « sans précédent » et qui s’accélère, 2019 <https://www.ipbes.net/news/Media-Release-Global-Assessment-Fr> (Date de dernier accès 11/08/2019).
- Kratschmer, S., Kriechbaum, M., Pachinger, B., 2018. Buzzing on top: Linking wild bee diversity, abundance and traits with green roof qualities. *Urban Ecosyst* 21, 429–446. <https://doi.org/10.1007/s11252-017-0726-6>
- Le découpage en unités urbaines de 2010 - Insee Première – 1364 <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1280970> (Date de dernier accès 11/08/2019).
- Lizée, M.H., Tatoni T., Deschamps-Cottin M., 2016. Nested patterns in urban butterfly species assemblages: respective roles of plot management, park layout and landscape features. *Urban Ecosyst* 19:205-224. doi:10.1007/s11252-015-0501-5)
- MacIvor, J.S., Ruttan A., Salehi B., 2014 Exotics on exotics: Pollen analysis of urban bees visiting *Sedum* on a green roof. *Urban Ecosyst*. DOI 10.1007/s11252-014-0408-6
- MacIvor, J.S., 2015. Building height matters: nesting activity of bees and wasps on vegetated roofs. *Israel J Ecol Evol* 62, 88–96. <https://doi.org/10.1080/15659801.2015.1052635>
- Madre, F., 2014. Biodiversité et bâtiments végétalisés : une approche multi-taxons en paysage urbain 213p.
- McKinney, M.L., 2006. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation* 127, 247–260. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.005>
- Muratet, A., Chiron, F., Muratet, M., 2019. Manuel d’écologie urbaine. Les presses du Réel. [220p.]
- Nations, U., Division, U.N.D. of E. and S.A.P., 2004. *World Urbanization Prospects: The 2003 Revision*. United Nations Publications.
- Normandin, É., Vereecken, N.J., Buddle, C.M., Fournier, V., 2017. Taxonomic and functional trait diversity of wild bees in different urban settings. *PeerJ* 5, e3051. <https://doi.org/10.7717/peerj.3051>
- Ollerton, J., Winfree, R., Tarrant, S., 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos* 120, 321–326. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x>
- Plan Biodiversité de Paris 2018-2024, 2019.

- Rader, R., Bartomeus, I., Garibaldi, L.A., Garratt, M.P.D., Howlett, B.G., Winfree, R., *et al.*, 2016. Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. *Proc Natl Acad Sci USA* 113, 146–151. <https://doi.org/10.1073/pnas.1517092112>
- Ropars, L., Dajoz, I., Fontaine, C., Muratet, A., Geslin, B., 2019. Wild pollinator activities negatively related to honey bee colony densities in urban context (preprint). *Ecology*. <https://doi.org/10.1101/667725>
- Roy T., Beauchamps L., Botinnelli J., Deballeux A., Lantz A., Bitsch T., *et al.*, 2018 *Papillons de jour en Brie des Morin*. Edition des Terroirs. Saint-Cyr-Sur-Morin [122p.]
- Spipoll - Suivi photographique des insectes pollinisateurs, 2019 <https://www.spipoll.org/> (Date de dernier accès 25/08/2019).
- Torné-Noguera, A., Rodrigo, A., Osorio, S., Bosch, J., 2016. Collateral effects of beekeeping: Impacts on pollen-nectar resources and wild bee communities. *Basic and Applied Ecology* 17, 199–209. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2015.11.004>
- Venables, W. N. & Ripley, B. D., 2002 *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0
- Ville de Paris, (a) 2018 <https://www.paris.fr/services-et-infos-pratiques/environnement-et-espaces-verts/nature-et-espaces-verts/biodiversite-66> (Date de dernier accès 11/08/2019).
- Ville de Paris (b) 2018 Paris va bourdonner grâce à 19 nouveaux ruchers, <https://www.paris.fr/pages/paris-va-bourdonner-grace-a-19-nouveaux-ruchers-5994> (date de dernier accès : 23/08/19).

ANNEXES

Annexe I: Classes simplifiées du Mos et leur correspondance dans le Mos 2017

Mos : Mode d'occupation du sol. En vert : classes utilisées pour définir les parcs et jardins

MOS 2017 en onze classes	MOS 2017 simplifié
Forêt	Milieux naturels
Milieux semi-naturels	
Eau	
Espaces agricoles	Espaces ouverts artificialisés
Espaces ouverts artificialisés	
Habitat individuel	Urbain
Habitat collectif	
Activités	
Équipements	
Carrières, décharges et chantiers	
Transports	Transports

Annexe II: Liste des taxons SPIPOLL captés dans trois espaces verts urbains, en 2018

En vert : les taxons recensés uniquement dans le milieu en question

A noter que pour les taxons pour lesquels cela était possible, les individus ont été identifiés à l'espèce ultérieurement

	Toitures végétalisées	Agriculture urbaine	Parcs et jardins
Araneae			
Les Araignées (autres)		X	X
Les Araignées sauteuses <Salticidae>	X	X	X
L'Araignée crabe Napoléon <Synema globosum>		X	X
L'Araignée crabe Runcinia <Runcinia grammica>	X	X	
Les Araignées crabes Misumena <Misumena>	X	X	X
Les Araignées crabes sombres <Xysticus, Coriarachne, Ozyptila et autres>	X	X	X
Les Araignées crabes Thomisus <Thomisus>		X	
Les Epeires et autres Araneidae	X		
Les Araignées crabes Philodromus <Philodromus>	X		X
Blattodea			
Les Blattes <Blattellidae>	X	X	X
Coleoptera			
Le Téléphore fauve et autres <Rhagonycha fulva et autres>	X	X	X
Les Téléphores fauves à thorax noir <Rhagonycha>	X		X
La Lepture tachetée <Rutpela maculata>			X
Les Leptures fauves <Paracorymbia fulva et autres>	X	X	X
Les Longicornes entièrement noirs <Grammoptera et autres>			X
Le Drap mortuaire <Oxythyrea funesta>		X	
La Chrysomèle américaine <Chrysolina americana>	X		
Les Bruches <Bruchus et autres>	X	X	
Les Chrysomèles bicolores <Chrysomelidae>	X	X	
Les Chrysomèles Oulema bleues <Oulema>			X
Les Chrysomèles unies <Cryptocephalus et autres>		X	
Les Criocères bicolores <Oulema>		X	
Les Myctères <Mycterus>			X
Le Clairon des abeilles <Trichodes apiarius>			X
La Coccinelle à 7 points <Coccinella septempunctata>	X	X	X
Les Coccinelles <Coccinellidae>	X	X	X
Les larves de Coccinelles <Coccinellidae>	X	X	X
Les Coléoptères difficiles à déterminer	X	X	X
Les Balanins <Curculio et autres>			X
Les Charançons (autres) <Larinus et autres>	X	X	
Les Dasytides bleus et verts <plusieurs Dasytidae>	X		
Les Dermestes <Dermestidae>	X	X	X
Les Taupins (autres)		X	
Les Taupins unis <Ampedus et autres>		X	
Les Malachides à points rouges <Malachius et autres>		X	
Les Malachides sombres <Clanoptilus>			X
Les Mordelles <Mordellidae>	X	X	
Les Nitidulides <Nitidulidae>	X	X	X
Les Oedemères fauves <Anogcodes, Oedemera>	X	X	X
Les Oedemères noirs <Oedemera>	X	X	

[Les Oedemères variés < <i>Anogcodes, Ischnomera</i> >]	X		
[Les Oedemères verts < <i>Oedemera</i> >]	X	X	X
Dermaptera			
[Les Perce-oreilles < <i>Dermaptera</i> >]			X
Diptera			
[Les Stratiomes métalliques fins < <i>Sargus</i> et autres>]			X
[Les Mouches tachetées < <i>Anthomyia</i> et autres>]		X	
[L'Anthracine morio < <i>Hemipenthes morio</i> >]	X		
[Les Anthracines Villa < <i>Villa</i> >]	X		
[Les Chloropides jaunes < <i>Thaumatomyia</i> >]	X	X	X
[Les Conopides (autres) < <i>Conopidae</i> >]	X	X	X
[Les Coréides < <i>Coreidae</i> >]		X	
[Les Mouches difficiles à déterminer]	X	X	X
[Les Graphomyies < <i>Graphomya</i> >]		X	
[Les Mouches aux reflets métalliques < <i>Neomyia, Calliphora</i> et autres>]	X	X	X
[Les Moustiques, Tipules et autres Diptères Nématocères]	X	X	X
[Les Mouches à damier < <i>Sarcophaga</i> >]	X	X	X
[Les Sepsides < <i>Sepsidae</i> >]		X	X
[Les Chloromyies < <i>Chloromyia</i> >]	X	X	
[La Volucelle vide < <i>Volucella inanis</i> >]		X	
[La Volucelle zonée < <i>Volucella zonaria</i> >]		X	X
[Le Syrphe ceinturé < <i>Episyrphus balteatus</i> >]	X	X	X
[Le Syrphe porte-plume (mâle) < <i>Sphaerophoria scripta</i> >]	X	X	
[L'Eristale des fleurs < <i>Myathropa florea</i> >]		X	
[Les Chenilles et fausses-Chenilles]		X	X
[Les Chrysotoxes < <i>Chrysotoxum</i> >]			X
[Les Eristales (autres) < <i>Eristalis</i> >]	X	X	X
[Les Hélophiles < <i>Helophilus, Parhelophilus</i> >]	X		X
[Les Syrrites < <i>Syritta</i> >]	X	X	
[Les Syrphes à abdomen fin < <i>Meliscaeva</i> et autres>]	X	X	X
[Les Syrphes à taches en virgules < <i>Eupeodes, Scaeva</i> >]	X	X	
[Les Syrphes aux fémurs enflés]		X	
[Les Syrphes difficiles à déterminer]	X	X	X
[Les Syrphes Sphaerophoria (femelle) < <i>Sphaerophoria</i> >]	X	X	X
[Les Syrphes Sphaerophoria (mâle) < <i>Sphaerophoria</i> >]	X	X	X
[Les Syrphes Syrphus et autres < <i>Syrphus, Dasysyrphus</i> et autres>]	X	X	X
[Les Tachinaires difficiles à déterminer]	X		
[Les Tachinaires fauves velues < <i>Tachina</i> et autres>]	X	X	
[Les Téphritides et autres < <i>Tephritidae</i> et autres>]	X	X	X
[Les Thérèves < <i>Therevidae</i> >]	X		
Hemiptera			
[Les Pucerons < <i>Aphididae</i> >]	X	X	X
[Les Homoptères autres < <i>Cicadelles, Cercopes</i> et autres>]	X	X	X
Heteroptera			
[Les Punaises difficiles à déterminer]	X	X	X
[Les Mirides < <i>Miridae</i> >]	X	X	X
[Le juvénile d' <i>Himacerus</i> < <i>Himacerus mirmicoides</i> >]	X	X	
[Les Punaises prédatrices ternes]	X	X	
[La Punaise du Chou < <i>Eurydema oleracea</i> >]	X	X	

[Le Pentatome rayé < <i>Graphosoma lineatum</i> >]	X	X	
[Les larves de Punaises <Heteroptera>]	X	X	X
[Les Pentatomes <Pentatomidae>]		X	X
[Les Punaises Eurydema < <i>Eurydema</i> >]		X	
[Le Gendarme < <i>Pyrrhocoris apterus</i> >]	X	X	X
[La Punaise de la Jusquiame < <i>Corizus hyoscyami</i> >]	X	X	
Hymenoptera			
[Les Abeilles à thorax roux < <i>Andrena clarkella</i> et autres>]			X
[Les Abeilles Panurgus < <i>Panurgus</i> >]		X	
[Les Andrènes difficiles à déterminer <Andrenidae>]	X	X	X
[Les Andrènes rayées difficiles à déterminer <Andrenidae et autres>]	X	X	X
[L'Abeille mellifère < <i>Apis mellifera</i> >]	X	X	X
[Les Abeilles coucou Melecta < <i>Melecta</i> >]	X		
[Les Abeilles coucou noir, jaune et rouge < <i>Nomada</i> et autres>]	X	X	
[Les Abeilles difficiles à déterminer <Apidae et autres>]		X	X
[Les Anthophores autres et espèces proches < <i>Anthophora, Eucera</i> >]	X	X	
[Les Anthophores mâles < <i>Anthophora</i> et autres>]	X		
[Les Bourdons (autres) < <i>Bombus</i> >]	X	X	
[Les Bourdons à pilosité fauve à grise < <i>Bombus</i> >]	X	X	X
[Les Bourdons à thorax fauve et à abdomen noir et blanc < <i>Bombus</i> >]	X	X	
[Les Bourdons jaune et noir < <i>Bombus</i> >]	X		X
[Les Bourdons noirs à bande(s) jaune(s) et cul blanc < <i>Bombus</i> >]	X	X	X
[Les Bourdons noirs à bande(s) jaune(s) et cul rouge < <i>Bombus</i> >]		X	X
[Les Bourdons noirs à cul rouge < <i>Bombus</i> >]	X	X	X
[Les Xylocopes < <i>Xylocopa</i> >]	X		
[Les Abeilles Hylaeus à taches blanches < <i>Hylaeus</i> >]	X	X	X
[Les Collètes (autres) <Colletidae>]			X
[Les Abeilles à abdomen rouge < <i>Sphcodes</i> et autres>]	X	X	
[Les Halictes (femelles) < <i>Halictus, Lasioglossum</i> et autres>]	X	X	X
[Les Halictes (mâles) <Halictidae>]	X	X	X
[L'Anthidie à points < <i>Anthidium punctatum</i> >]	X		
[Les Anthidies < <i>Anthidium</i> et autres>]	X	X	
[Les Mégachiles < <i>Megachile</i> >]	X	X	X
[Les Mégachiles à pattes blanches (mâles) < <i>Megachile</i> >]		X	
[Les Mégachiles coucou < <i>Coelioxys</i> et autres>]	X	X	
[Les Mégachiles de petite taille < <i>Stelis, Heriades</i> >]	X	X	X
[Les Osmies (autres)]		X	
[Les Terebrants Chalcidiens et autres]	X	X	X
[Les Guêpes Cerceris < <i>Cerceris</i> >]	X		
[Les Guêpes Crabronidae difficiles à déterminer <Crabronidae>]	X	X	X
[Les Fourmis à double pétiole <Myrmicinae>]	X		X
[Les Fourmis difficiles à déterminer <Formicidae>]	X	X	X
[Les Fourmis à pétiole simple <Formicinae>]	X	X	X
[Les Ichneumons et autres <Ichneumonidae>]	X	X	X
[Le Sphégien noir à ailes fumées < <i>Isodontia mexicana</i> >]	X	X	X
[Les Sphégiens à abdomen orange et noir <Sphex et autres>]	X		
[Les Sphégiens noirs <Sphex et autres>]	X		
[Les Tenthredes (autres)]	X	X	
[Les Tenthredes noir et fauve/orangé < <i>Allantus, Dolerus</i> et autres>]		X	X
[Les Tenthredes noires < <i>Allantus</i> et autres>]			X

Les Guêpes maçonnées à abdomen court < <i>Odynerus</i> et autres>	X	X	X
Les Guêpes Polistes < <i>Polistes</i> >	X	X	X
Les Guêpes <i>Vespula</i> < <i>Vespula</i> , <i>Dolichovespula</i> >	X	X	X
Lepidoptera			
Les Hespéries brunes sans taches < <i>Carcharodus</i> et autres>		X	
Les Lépidoptères difficiles à déterminer <Lepidoptera>			X
L'Azuré des Nerpruns (femelle) < <i>Celastrina argiolus</i> >	X	X	
Les Azurés bleus à chevrons oranges < <i>Lysandra</i> , <i>Plebejus</i> , <i>Polyommatus</i> >		X	
Les Azurés marrons à chevrons oranges < <i>Polyommatus</i> , <i>Plebeius</i> et autres>		X	
Le Myrtil < <i>Maniola jurtina</i> >			X
Le Tircis < <i>Pararge aegeria</i> >		X	
Les Piérides < <i>Pieris</i> >	X	X	X
Les Piérides nervurées < <i>Pieris</i> >			X
Les Sésies <Sesiidae>	X		
Les Microlépidoptères difficiles à déterminer <Lepidoptera>		X	
Nematocera			
Les Sciarides <Sciaridae>		X	X
Neuroptera			
Les larves de Chrysopes <Chrysopidae>			X
Opiliones			
Les Opilions <Phalangiidae>		X	
Orthoptera			
Les Criquets <Acrididae>	X	X	X
Les Sauterelles <Tettigonoidea>	X		X

Annexe III: Inventaire des taxons SPIOLL recensés sur les toitures végétalisées

En vert : les taxons recensés uniquement dans l'un des milieux ou sur des orpins

A noter que pour les taxons pour lesquels cela était possible, les individus ont été identifiés à l'espèce ultérieurement

	Extensif	Semi intensif	Intensif	Orpins
Aranane				
Les Empidides <Empis et autres>			X	
Les Epeires et autres Araneidae	X	X	X	X
Les Araignées <autres>	X	X	X	
Les Araignées crabes <i>Philodromus</i> <Philodromus>		X		
Les Araignées sauteuses <Salticidae>	X	X	X	X
L'Araignée crabe Napoléon <Synema globosum>		X		
L'Araignée crabe Runcinia <Runcinia grammica>		X	X	
Les Araignées crabes Misumena <Misumena>	X		X	X
Les Araignées crabes sombres <Xysticus, Coriarachne, Ozyptila et autres>	X	X	X	X
Blattodea				
Les Blattes <Blattellidae>	X			X
Coleoptera				
Le Téléphore fauve et autres <Rhagonycha fulva et autres>		X	X	
Les Téléphores fauves à thorax noir <Rhagonycha>			X	
Les Leptures fauves <Paracorymbia fulva et autres>		X		
La Chrysomèle américaine <Chrysolina americana>		X	X	
Les Bruches <Bruchus et autres>		X	X	
Les Chrysomèles bicolores <Chrysomelidae>			X	
Les Chrysomèles unies <Cryptocephalus et autres>	X	X	X	
La Coccinelle à 7 points <Coccinella septempunctata>	X	X	X	X
Les Coccinelles <Coccinellidae>	X	X	X	X
Les larves de Coccinelles <Coccinellidae>	X	X	X	X
Les Charançons (autres) <Larinus et autres>		X	X	
Les Dasytides bleus et verts <plusieurs Dasytidae>			X	
Les Dermestes <Dermestidae>		X	X	X
Les Taupins unis <Ampedus et autres>			X	
Les Malachides à points rouges <Malachius et autres>			X	
Les Mordelles <Mordellidae>		X		
Les Coléoptères difficiles à déterminer	X	X	X	X
Les Nitidulides <Nitidulidae>	X	X	X	X
Les Oedemères fauves <Anogcodes, Oedemera>	X	X	X	X
Les Oedemères noirs <Oedemera>	X	X	X	X
Les Oedemères variés <Anogcodes, Ischnomera>			X	
Les Oedemères verts <Oedemera>	X	X	X	X
Les Tenebrions jaunes <Cteniopus>		X	X	
Diptera				
Les Mouches tachetées <Anthomyia et autres>	X		X	
L'Anthracine morio <Hemipenthes morio>	X		X	X

Les Anthracines Villa <Villa>	X	X	X	X
Les Bombyles <Bombylius, Systoechus>	X			
Les Mouches aux reflets métalliques <Neomyia, Calliphora et autres>	X	X	X	X
Les Chloropides jaunes <Thaumatomyia>	X			X
Les Conopides (autres) <Conopidae>	X	X	X	
Les Coréides <Coreidae>	X			
Les Mouches difficiles à déterminer	X	X	X	X
Les Moustiques, Tipules et autres Diptères Nématocères	X		X	X
La Stomorhina <Stomorhina lunata>		X		X
Les Mouches à damier <Sarcophaga>	X	X	X	
Les Mouches pâles <Scathophaga et autres>			X	
Les Sciarides <Sciaridae>	X		X	
Les Chloromyies <Chloromyia>	X	X	X	X
Les Hélophiles <Helophilus, Parhelophilus>			X	
Les Rhingies <Rhingia>		X		
Les Syrrites <Syritta>	X	X		X
Le Syrphe ceinturé <Episyrphus balteatus>	X	X	X	X
Le Syrphe porte-plume (mâle) <Sphaerophoria scripta>	X	X	X	X
Les Eristales (autres) <Eristalis>	X	X	X	X
Les Syrphes à abdomen fin <Meliscaeva et autres>	X	X	X	X
Les Syrphes à taches en virgules <Eupeodes, Scaeva>	X	X	X	X
Les Syrphes aux fémurs enflés		X	X	X
Les Syrphes difficiles à déterminer	X	X	X	X
Les Syrphes Sphaerophoria (femelle) <Sphaerophoria>	X	X	X	X
Les Syrphes Sphaerophoria (mâle) <Sphaerophoria>	X	X	X	X
Les Syrphes Syrphus et autres <Syrphus, Dasysyrphus et autres>	X		X	X
Les Tachinaires à abdomen cylindrique <Cylindromyia>	X	X		X
Les Tachinaires difficiles à déterminer	X		X	X
Les Tachinaires fauves velues <Tachina et autres>	X	X		X
Les Téphritides et autres <Tephritidae et autres>	X			X
Les Thérèves <Therevidae>			X	
Hemiptera				
Les Pucerons <Aphididae>	X	X	X	X
Les Homoptères autres <Cicadelles, Cercopes et autres>	X	X	X	X
Heteroptera				
Les Mirides <Miridae>	X	X	X	X
Les larves de Punaises <Heteroptera>	X	X	X	X
Les Punaises difficiles à déterminer	X	X	X	X
Les Punaises prédatrices ternes		X	X	
Le juvénile d'Himacerus <Himacerus mirmicoides>	X	X		
La Punaise du Chou <Eurydema oleracea>			X	
Le Pentatome rayé <Graphosoma lineatum>		X	X	
Les Pentatomes <Pentatomidae>			X	
Le Cryptocéphale à bandes blanches <Cryptocephalus vittatus>		X		
Le Gendarme <Pyrrhocoris apterus>	X	X	X	X
Les Réduves <Rhynocoris>	X			X

La Punaise de la Jusquiame < <i>Corizus hyoscyami</i> >		X	X	X
Hymenoptera				
Les Abeilles à thorax roux < <i>Andrena clarkella</i> et autres>			X	
Les Andrènes à pilosité noir et blanc < <i>Andrena</i> >		X		
Les Andrènes difficiles à déterminer <Andrenidae>	X	X	X	X
Les Andrènes rayées difficiles à déterminer <Andrenidae et autres>		X	X	
L'Abeille mellifère < <i>Apis mellifera</i> >	X	X	X	X
Les Abeilles coucou Melecta < <i>Melecta</i> >	X			X
Les Abeilles coucou noir, jaune et rouge < <i>Nomada</i> et autres>	X	X	X	X
Les Abeilles difficiles à déterminer <Apidae et autres>	X	X	X	X
Les Anthophores autres et espèces proches < <i>Anthophora, Eucera</i> >		X	X	
Les Anthophores mâles < <i>Anthophora</i> et autres>	X	X		X
Les Bourdons (autres) < <i>Bombus</i> >	X	X	X	X
Les Bourdons à pilosité fauve à grise < <i>Bombus</i> >	X	X	X	X
Les Bourdons à thorax fauve et à abdomen noir et blanc < <i>Bombus</i> >		X	X	
Les Bourdons jaune et noir < <i>Bombus</i> >		X		
Les Bourdons noirs à cul rouge < <i>Bombus</i> >	X	X	X	X
Les Bourdons noirs à bande(s) jaune(s) et cul blanc < <i>Bombus</i> >	X	X	X	X
Les Bourdons noirs à bande(s) jaune(s) et cul rouge < <i>Bombus</i> >		X	X	X
Les Bourdons noirs à cul rouge < <i>Bombus</i> >	X	X	X	X
Les Xylocopes < <i>Xylocopa</i> >			X	
Les Abeilles Hylaeus à taches blanches < <i>Hylaeus</i> >	X	X	X	X
Les Collètes (autres) <Colletidae>		X	X	
Les Abeilles à abdomen rouge < <i>Sphecodes</i> et autres>	X	X	X	X
Les Halictes (femelles) < <i>Halictus, Lasioglossum</i> et autres>	X	X	X	X
Les Halictes (mâles) <Halictidae>	X	X	X	X
L'Anthidie à points < <i>Anthidium punctatum</i> >			X	
Les Anthidies < <i>Anthidium</i> et autres>		X	X	
Les Mégachiles < <i>Megachile</i> >	X	X	X	X
Les Mégachiles coucou < <i>Coelioxys</i> et autres>	X	X	X	X
Les Mégachiles de petite taille < <i>Stelis, Heriades</i> >	X	X	X	X
Les Terebrants Chalcidiens et autres	X	X	X	X
Les Chrysidés <Chrysididae>		X	X	
Les Guêpes <i>Cerceris</i> < <i>Cerceris</i> >		X	X	X
Les Guêpes Crabronidae difficiles à déterminer <Crabronidae>	X	X	X	X
Les Guêpes fouisseuses < <i>Bembix</i> >	X			X
Les Fourmis à double pétiole <Myrmicinae>	X	X	X	X
Les Fourmis à pétiole simple <Formicinae>	X	X	X	X
Les Fourmis difficiles à déterminer <Formicidae>	X		X	X
Les Ichneumons et autres <Ichneumonidae>	X	X	X	X
Les Pompiles <Pompilidae>		X		
Le Sphégien noir à ailes fumées < <i>Isodontia mexicana</i> >	X	X	X	X
Les Sphégiens à abdomen orange et noir < <i>Sphex</i> et autres>		X		
Les Sphégiens noirs < <i>Sphex</i> et autres>			X	
Les Tenthredes <autres>	X			
Les Tenthredes noir et fauve/orangé < <i>Allantus, Dolerus</i> et autres>	X			X
Les Guêpes maçonnés à abdomen court < <i>Odynerus</i> et autres>		X	X	

Les Guêpes maçonnes à abdomen long <Delta, Discoelius, Eumenes>			X	
Les Guêpes Polistes <Polistes>	X	X	X	X
Les Guêpes Vespula <Vespula, Dolichovespula>			X	
Lepidoptera				
Les Adèles unies <plusieurs Adelidae>		X		
Les Hespéries fauves <Ochlodes, Thymelicus>	X			X
L'Azuré des Nerpruns (femelle) <Celastrina argiolus>		X		X
Les Azurés bleus à chevrons oranges <Lysandra, Plebejus, Polyommatus>			X	
Les Azurés marrons à chevrons oranges <Polyommatus, Plebeius et autres>		X	X	
Le Cuivré commun <Lycaena phlaeas>			X	
Le Paon du jour <Aglais io>		X		
Le Satyre et autres <Lasiommata>	X			X
Les Piérides <Pieris>			X	X
Les Microlépidoptères difficiles à déterminer <Lepidoptera>		X	X	
Les Sésies <Sesiidae>			X	
Neuroptera				
Les Chrysopes <Chrysopidae>		X		
Orthoptera				
Les Criquets <Acrididae>	X	X	X	X
Les Sauterelles <Tettigonoidea>	X	X	X	X

RESUME

L'augmentation rapide des zones urbaines engendre une homogénéisation et un déclin de la biodiversité urbaine, notamment des pollinisateurs. Dans ce contexte, la végétalisation des toitures apparaît comme une solution pour ajouter à la matrice urbaine des espaces naturels et maintenir une diversité de pollinisateurs en ville. Elles sont cependant rarement pensées dans ce but. Nous avons donc voulu connaître leur rôle dans le maintien de la diversité spécifique des pollinisateurs urbains. Nos résultats montrent que les toitures végétalisées de tous types contribuent à maintenir une diversité complémentaire des pollinisateurs urbains. Nous avons montré que des toitures de surface importante, aux substrats profonds, placées à proximité d'espaces verts et sur des immeubles bas, contribuent au mieux à l'accueil de pollinisateurs urbains. Elles jouent alors un rôle de refuge dans une matrice urbaine dense.

Mots-clefs : Urbanisation, Espaces verts urbains, Toitures végétalisées, Pollinisateurs, SPIPOLL

ABSTRACT

Urbanization leads to homogenization and loss of urban biodiversity, particularly for pollinators. In this context, many cities are involved in action plans to increase biodiversity. Among different strategies, green roofs can be one solution to increase green spaces surface in urban areas and maintain urban pollinators. However, they are rarely made for that purpose. In this report; we analyzed the role of green roofs as habitats for urban pollinators and their contribution to pollinators' specific diversity. Our results show that green roofs contribute to maintain a complementary diversity no matter the type of design. We show that large roofs with deep soils situated near green areas and low buildings are the most suitable assets to maintain urban pollinators.

Key words: Urbanization, Urban green spaces, Green roofs, Pollinators, SPIPOLL