



STREETBEES

**Clauses techniques pour l'aménagement
de trottoirs et revêtements permettant
l'accueil d'abeilles sauvages terrioles**

Rapport final (Novembre 2022)

Rédaction: Grégoire Noël¹, Violette Van Keymeulen¹, Olivier Van Damme², Sylvie Smets², Julien Ruelle³, & Frédéric Francis¹

¹ Laboratoire d'Entomologie Fonctionnelle et Evolutive, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, 2 Passage des Déportés, B-5030 Gembloux, Belgique.

² Centre de Recherche Routière, Boulevard de la Woluwe, 42, B-1200 Bruxelles, Belgique.

³ Service Développement de la Nature, Bruxelles Environnement, Avenue du Port, 86C/3000, B-1000 Bruxelles, Belgique.

Coordinateurs et gestionnaires du projet : Grégoire Noël et Frédéric Francis

Design expérimental: Grégoire Noël, Violette Van Keymeulen, Olivier Van Damme, Sylvie Smets et Frédéric Francis

Analyses et recommandations : Grégoire Noël, Violette Van Keymeulen, Olivier Van Damme et Sylvie Smets

Terrain, identification et mise en collection : Grégoire Noël, Violette Van Keymeulen, Olivier Van Damme et Sylvie Smets

Experts sollicités : Yvan Barbier et Julie Bonnet

Comité de lecture: Eric Flamée (Bruxelles Mobilité), Pascal Fostiez (Bruxelles Mobilité), Olivier Evrard (Brulocalis) & Carine Defosse (Urban.Brussels).

Ed. Resp. : B. Dewulf & B. Willocx – Av du Port 86C/3000 - 1000 Bruxelles.

Photo de garde : Nid de dasypode à culottes *Dasypoda hirtipes* (F.) dans un revêtement urbain à Bruxelles (© Alain Pauly).

Les données, contenus, textes et illustrations sont la propriété de Bruxelles Environnement et des auteurs identifiés.

CITATION SUGGÉRÉE

Noël G., Van Keymeulen V., Van Damme O., Smets S., Ruelle, J., & Francis F. (2022). *Streetbees – Clauses techniques pour l'aménagement de trottoirs et revêtements permettant l'accueil d'abeilles sauvages terricoles*. Rapport final. Bruxelles : Bruxelles Environnement.

Contacts auteurs : gregoire.noel@uliege.be / gregoirenoel@hotmail.com / v.vankeymeulen@gmail.com

Contact administration : nature@environnement.brussels



TABLE DES MATIÈRES

Messages principaux.....	5
1. Introduction	6
2. Objectifs de la mission	6
3. Matériels & méthodes	7
3.1. Recensement des sites	7
3.2. Validation des sites	10
3.3. Diagnostic sur site	11
3.4. Diagnostic en laboratoire	14
3.5. Analyse statistique	15
4. Résultats.....	16
4.1. Recensement participatif	16
4.2. Distribution des nids et espèces recensées	16
4.3. Analyse des revêtements et analyse granulométrique	18
5. Discussion	27
5.1. Recensement participatif	27
5.2. Espèces recensées	27
5.3. Analyse des revêtements et analyse granulométrique	29
6. Conclusions	32
7. Synthèse des Résultats et Recommandations de l'étude	33
8. Production scientifique et Rayonnement de l'étude.....	34
9. Bibliographie	35



EN BREF...

- Une étude relativement pionnière, avec peu voire pas de littérature scientifique sur ce sujet précis.
- Recensement de **22 espèces d'abeilles et guêpes terricoles** nichant dans les trottoirs bruxellois, elles sont inoffensives pour l'humain.
- Les espèces recensées démontrent l'existence d'écosystèmes peu connus au sein des trottoirs urbains.
- Aucune des espèces d'abeilles ou abeilles coucous ne représente d'enjeu de conservation en Belgique, mais **2 abeilles coucous sont considérées comme vulnérables sur** le territoire bruxellois : le sphécode nain et le sphécode des sables (*Sphecodes miniatus* et *Sphecodes pellucidus*).
- **Une guêpe, *Lindeni*us *pygmaeus armatus*, pourrait faire l'objet d'un enjeu de conservation** : elle n'avait été observée que 2 fois en Belgique depuis 1950, pour 4 nouvelles observations dans le cadre de cette étude. Deux autres espèces sont par ailleurs sur liste rouge en Allemagne.
- Caractéristiques communes entre les trottoirs habités par ces espèces : **joints non-liés ou dégradés, d'une largeur de 1 cm de moyenne, en pavés de grès ou dalles de béton, avec une texture sableuse en dessous.**
- Les trottoirs habités correspondent peu, voire pas du tout, aux normes actuelles en termes de confort piéton et d'esthétique du plan régional de mobilité Good Move, mais sont un support essentiel pour la biodiversité urbaine.
- Plusieurs espèces sont retrouvées au niveau des pas et seuils de façades, de maisons et escaliers ; des observations qui n'avaient pas été signalées dans la littérature jusqu'à présent.
- De nombreux nids de fourmis ont également été signalés, mais n'ont pas été étudiés ; il s'agit d'une piste à explorer pour l'avenir.



1. INTRODUCTION

Les pollinisateurs – les abeilles en particulier – jouent un rôle central dans l'équilibre des écosystèmes. En effet, par leur activité de pollinisation, ils assurent la reproduction, le maintien et le brassage génétique de plus de 87,5 % des angiospermes à l'échelle mondiale (Ollerton *et al.*, 2011). Or, les plantes zoogames sont également à la base de nombreuses chaînes trophiques ; la pollinisation soutient donc tant la diversité végétale, que la diversité animale et, plus largement, une diversité d'habitats. Les services écosystémiques qui en découlent sont nombreux et participent significativement au bien-être des populations humaines. Bien qu'il n'existe pas d'évaluation de l'Union internationale pour la conservation de la nature (IUCN) du statut de menace de l'ensemble des pollinisateurs à l'échelle du globe, les évaluations à l'échelle régionale font état de niveaux élevés de menaces sur certaines espèces d'abeilles, notamment en Europe (Nieto *et al.*, 2014). En Belgique, on considère que 39 % des espèces d'abeilles sont en déclin tandis que 30 % sont menacées d'extinctions et 12 % sont régionalement éteintes (Drossart *et al.*, 2019).

Les causes de ce déclin sont largement pilotées par les pratiques socio-économiques des communautés humaines, telles que l'intensification des pratiques agricoles et le développement urbain, qui perturbent profondément les habitats naturels tout en limitant la disponibilité de ressources essentielles à la pérennité des populations de pollinisateurs (Potts *et al.*, 2010). Paradoxalement, certaines études tendent à démontrer que les milieux urbains peuvent constituer une « zone refuge » pour certaines espèces (Hall *et al.*, 2017). Or, une grande partie des paysages urbains reste encore constructible, et la littérature scientifique reste quant à elle peu fournie au sujet de l'écologie des abeilles sauvages en ville (Banaszak-Cibicka & Żmihorski, 2012; Hernandez *et al.*, 2016; Antoine & Forrest, 2020). Dès lors, l'étude des facteurs contribuant à la valeur « refuge » des matrices urbaines semble pertinente. Ce travail permettra une première exploration du potentiel des revêtements urbains en tant que ressources de nidification pour les abeilles terricoles.

Par rapport à une introduction plus complète sur le sujet, plus d'informations sont disponibles dans la synthèse bibliographique remise dans le cadre de la présente mission (Noël *et al.*, 2020) et dans le travail de fin d'étude de Violette Van Keymeulen (2020).

2. OBJECTIFS DE LA MISSION

L'étude réalisée visait à déterminer les conditions favorables à la nidification d'abeilles terricoles en voiries, par l'analyse de trottoirs et terrains revêtus où des populations sont installées et connues. L'étude visait à déterminer notamment :

- Les largeurs des joints et matériaux de jointoiment des revêtements modulaires.
- Les matériaux des lits et couches de pose (granulométrie, matériau lié/non lié, etc.).
- La typologie des fondations.
- L'influence de ces différents éléments sur les espèces rencontrées (au regard de leur écologie : profondeur et structure des nids, etc...).

L'étude devait permettre de formuler des **recommandations d'aménagement** aisément compréhensibles des **bureaux d'études, architectes et entreprises de construction** au travers de **clauses et dessins techniques**. Ces recommandations devant être considérées au regard des dispositions applicables du cahier de charges type 2015 de Bruxelles Mobilité (CCT 2015), qui détermine les clauses techniques pour les aménagements et travaux de voiries, en particulier ses chapitres D « Terrassement », E « Fondations et sous-fondations » et F « Revêtements ».

La révision de ce document étant prévue pour 2022, il faudra tenir compte des résultats de la présente étude dans le but d'y intégrer des dispositions cohérentes avec les objectifs de conservation de la nature. Par ailleurs, les recommandations formulées devaient également concerner la **gestion des chantiers en voiries**, pour garantir la préservation des communautés installées.



3. MATÉRIELS & MÉTHODES

La majorité du chapitre se base sur le matériel et méthodes du travail de fin d'étude de Violette Van Keymeulen (2020).

3.1. Recensement des sites

À l'heure du lancement de la mission « Streetbees » en Septembre 2019, seuls 4 sites de nidifications sur trottoirs avaient été identifiés et confirmés sur la Région de Bruxelles-Capitale (Pauly, 2019). Afin d'augmenter l'effort d'échantillonnage et de pouvoir capter un maximum de variabilité, il était donc nécessaire de construire une base de données plus fournie quant à la localisation des nids. Au vu des ressources temporelles et logistiques dont nous disposions, nous avons fait le choix de nous appuyer sur un processus de sciences citoyennes et de récolter un maximum de données de type « opportunistes ». Celles-ci sont définies comme les données non ou peu protocolées issues d'observations ponctuelles qui divergent dans le temps, l'espace et dans la méthodologie utilisée pour les récolter. Elles s'opposent aux données standardisées et il s'agit généralement de données de présences seules (sans absences).

Dans le cadre de cette étude, nous avons opté pour une méthode de science citoyenne de type *crowdsourcing* (Newman *et al.*, 2017). D'une part, nous avons exploité les données présentes sur la plateforme de recensement participative <https://observations.be/> (consulté le 09/03/2021) et d'autre part, nous avons créé et activement diffusé une enquête participative auprès des citoyens bruxellois ([sur le site de Bruxelles Environnement](#), consulté le 09/03/2021, page dépubliée depuis). D'autre part, nous avons contacté les organismes susceptibles de détenir des informations de localisation qui n'auraient pas été recensées par les deux méthodes citées précédemment (Tableau 1).

Tableau 1 - liste des organismes contactés dans le but de capter de nouvelles informations de localisations d'abeilles nichant dans les trottoirs

Organismes concernés	Date de contact
19 communes de Bruxelles	03 Mars 2020
Société Royale Belge d'Entomologie	06 Mars 2020
Apis Bruoc Sella	06 Mars 2020
Natagora Bruxelles	06 Mars 2020

Exploitation des bases de données internet

La plateforme *observations.be* permet l'encodage et le partage sur internet de milliers de données d'observations naturalistes en Belgique. Une observation correspond à la fois à (i) un couple genre-espèce, (ii) un nom d'observateur, (iii) des informations spatio-temporelles sur l'observation : date (jour/mois/année) et heure, ville et commune, coordonnées GPS et coordonnées Lambert 1972, carte avec localisation, (iv) une éventuelle photo du/des spécimen(s) observé(s) et (v) d'éventuels commentaires et détails quant aux nombres d'individus observés, leur sexe, leur stade de vie, leur comportement, le protocole d'observation ainsi que la méthode de comptage et de capture utilisée (Figure 1). L'observation peut également faire l'objet d'une validation par des experts.



Andrène vague

Andrena vaga PANZER, 1799

commun ▲
native ■

Hyménoptères Andrenidae Andrena **Andrena vaga** espèce

75 imago nid

2018-04-11 16:30

Florence

Molenbeek-Saint-Jean/Sint-Jans-Molenbeek (BR)

accepté (avec preuves)

GPS 50.8545, 4.2930

Lambert 1972 144665 171572

précision 10m

source losse waarneming

Options ▾

Itinéraire



bourgade d'*Andrena vaga* avec du ramelage de pollen. Au moins 75 nids, vu qu'il y a plusieurs nouveaux sur le trottoir. Il est possible qu'il y en ait plus que 75.

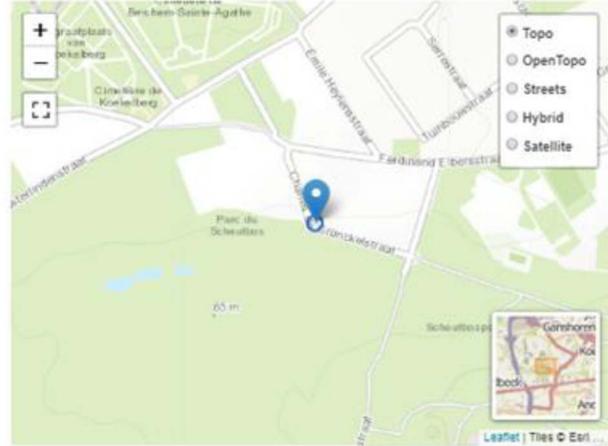


Figure 1- illustration d'une page de recensement d'abeille solitaire sur trottoir sur le site observations.be

Dans le cadre de cette étude, la plateforme a été sondée du 1^{er} janvier 2020 au 1^{er} février 2020. Parmi toutes les observations recensées sur ce site, un premier tri a été effectué en isolant celles qui concernaient les 4 espèces d'abeilles solitaires préalablement identifiées comme nidifiant dans les trottoirs par Alain Pauly en 2019, soit *Andrena barbilabris* (Kirby 1802), *Dasypoda hirtipes* (Fabricius 1793), *Lasioglossum laticeps* (Schenck 1868) et *Panurgus calcaratus* (Scopoli 1763). Deux filtres ont ensuite été superposés : le premier afin de restreindre les observations sur le territoire de Bruxelles-Capitale, et le second dans le but de prendre en compte toutes les observations provenant des années 1999 à 2020. Enfin, les données retenues sont celles dont plus d'un spécimen était observé et dont l'une de ces trois conditions était remplie :

- la carte de géolocalisation indiquait que l'observation d'une bourgade ;
- la photo révélait un nid sur le revêtement de sol ;
- le commentaire stipulait que le nid était situé entre les dalles/pavés d'un trottoir.

Captage des sites connus et non-recensés

Afin de capter les informations de localisation détenues par les acteurs des services publics et certaines associations naturalistes de Bruxelles, mais non recensées sur observations.be, un contact a été établi par e-mail avec 22 institutions suggérées par le service Développement Nature de Bruxelles Environnement (Tableau 1).

Diffusion d'un formulaire de recensement

Afin d'augmenter notre force de prospection, nous avons également décidé d'inciter les citoyens de la région bruxelloise à signaler activement la localisation des nids présents sur trottoir en période d'émergence. Pour ce faire, un article (voir Figure 2) et un formulaire ont été rédigés et mis en ligne en mars 2020, en collaboration avec le service communication de Bruxelles Environnement.

L'article contenait :

- un bref aperçu de la thématique du projet pour informer les lecteurs et introduire le contexte de l'étude ;
- une série d'indices pour identifier les nids (description, photos, possibilités de confusion) ;
- un lien vers le formulaire ;
- quelques consignes de sécurité (NB : à la date du 20 Avril 2020, au vu de la crise sanitaire du covid-19, deux consignes de sécurité ont été ajoutées afin de rappeler la nécessité de respecter les distanciations sociales et les mesures de confinement).





Figure 2 - Aperçu de l'article informatif lié au formulaire de recensements des nids d'abeilles sur trottoir sur le site de Bruxelles Environnement

Le formulaire d'encodage a été rédigé et conçu pour optimiser l'obtention de données de qualité tout en assurant une facilité de prise de données pour les participants. En effet, la prise des données demandée est peu chronophage, aisément réalisable à l'œil nu et ne demande aucune connaissance taxonomique. L'enquête était disponible sur le site de Bruxelles Environnement ; elle a été désactivée depuis). Sa structure générale est illustrée au sein du Tableau 2.

Tableau 2 - Canevas des questions formulées dans le cadre de l'enquête participative Streetbees (* stipule que le champ doit obligatoirement être rempli)

Champ à remplir	Type de réponse
Nom*	Alphanumérique
Prénom*	Alphanumérique
Acceptez-vous d'être éventuellement recontacté dans le cadre de cette étude ?*	Case à cocher : Oui / Non
Si tel est le cas, quel est votre adresse email ?	Alphanumérique
Si tel est le cas, quel est votre numéro de téléphone ?	Nombre entier, 15 caractères autorisés
Commune d'observation*	Liste déroulante, communes bruxelloises à sélectionner
Rue de l'observation*	alphanumérique
Numéro de la maison la plus proche ou autre élément de localisation*	alphanumérique
Date approximative de la dernière observation du nid	Format de type JJ/MM/AA
Photo du nid	Possibilité de téléchargement de fichier de moins de 2 Mo au format gif, jpg, jpeg ou png.
Commentaire éventuel	alphanumérique

Aceves-Bueno et ses collègues précisent dans leur étude de 2017 que la qualité des données issues de sciences citoyennes est variable. Afin d'assurer et d'augmenter la qualité des observations reçues par le biais du formulaire, plusieurs éléments ont été mis en place : (i) certains champs doivent être obligatoirement remplis, (ii) le champ « commune » ne permet que d'encoder des communes bruxelloises, afin d'éviter l'encodage de données en dehors de notre champ d'étude, (iii) le nom de la rue et le numéro de l'habitation sont deux champs obligatoires distincts afin de s'assurer d'obtenir des localisations précises et de réduire le champ de recherche pour les validations sur terrain ultérieures, (iv) la date approximative de la dernière observation du nid permet d'émettre une hypothèse quant à la période d'émergence de l'espèce en présence et permet de cibler le timing de validation sur terrain, (v) l'éventuelle photo du nid ou de l'insecte en présence permet de valider qu'il s'agit bien d'une observation sur trottoir, d'un nid d'abeille (et non d'une fourmilière) et/ou de guêpe, (vi) le commentaire permet de récolter des détails ou précisions que le participant souhaiterait apporter (espèce en présence, multiplicité des nids dans la rue...). Les moyens de contact, la date de la dernière observation et le téléchargement de la photo étaient



facultatifs afin de ne pas décourager les volontaires qui ne disposeraient pas de ces précisions, mais souhaiteraient néanmoins participer au recensement.

Des organismes relais ont été ensuite mobilisés afin que les informations puissent être transmises à leurs adhérents (Tableau 3). Les organismes préférentiellement contactés étaient des organismes naturalistes actifs sur Bruxelles ainsi que des entités publiques régionales et communales. En effet, nous avons supposé que les citoyens ayant une sensibilité naturalistes seraient plus à même de participer à l'enquête et nous souhaitions également récolter des informations au sein de chacune des communes bruxelloises. Notons qu'aucun contrôle n'a été effectué quant à l'activation de la diffusion par les organismes relais. De plus, par le biais des réseaux sociaux, les lecteurs ont été invités à diffuser eux-mêmes le formulaire à leurs contacts et le taux effectif de diffusion n'a donc pas pu être calculé.

Tableau 3 - Liste des organismes contactés en tant que points-relais dans le but de diffuser le formulaire de recensement afin de localiser les nids d'abeilles nichant dans les trottoirs

Organismes-relais de diffusion	Date d'envoi du formulaire
WildBnB (ULB)	10 Février 2020
19 communes bruxelloises	03 Mars 2020
Natagora Bruxelles	06 Mars 2020
Profil personnel	16 Mars 2020
Site de Bruxelles Environnement	10 Mars 2020
Entomologie Belgique	03 Avril 2020
Division « Espaces Verts » (Bruxelles Environnement)	03 Avril 2020
Centre de recherche routière	08 Avril 2020
Service public régional de Bruxelles / Bruxelles Mobilité	08 Avril 2020
Urban.brussels	08 Avril 2020
Brulocalis	08 Avril 2020
Laboratoire d'entomologie fonctionnelle et évolutive (Uliège)	08 Avril 2020
Bruxelles Nature	20 Avril 2020
Réseau Bruxelles – jardins collectifs	20 Avril 2020
Apis Bruoc Sella	20 Avril 2020
Tournesol-Zonnebloem	20 Avril 2020
Réseaux sociaux de Bruxelles Environnement	10 Mars 2020

3.2. Validation des sites

Le nettoyage de l'ensemble des données a été entamé au mois de mars 2020 et a été prolongé durant toute la durée de l'enquête participative. La vérification des données a été scindée en plusieurs étapes. Tout d'abord, ont été éliminés les sites dont le participant avait encodé :

- La localisation du nid d'un taxon en dehors de notre champ d'étude (fourmis, abeilles cavicoles...)
- un site de nidification non-situé sur un revêtement de sol (talus, parterre...)

Les validations de sites sur terrain ont eu lieu du 05 Avril 2020 au 20 Juillet 2020 entre 09h00 et 17h00 lors de journées ensoleillées avec un ciel dégagé, peu venteuses (moins de 15 km/h) et dont la température minimale journalière était au minimum de 15°C. En effet, ces conditions météorologiques correspondent aux périodes où les abeilles sont les plus actives (Ahrné *et al.*, 2009; Fortel *et al.*, 2014). Aucun itinéraire particulier n'a été suivi lors des vérifications de terrains. Néanmoins, les sites ont été sondés en fonction des dates d'émergence des espèces (abeilles de printemps au printemps, abeilles d'été en été) et de la dernière date d'observation si l'identification n'avait pas été précisée.

Une fois sur place, l'observateur examinait le revêtement de sol durant 15-30 minutes et le site était validé si : (i) une abeille ou une guêpe témoignait d'une activité d'entrée ou de sortie de son nid entre les dalles, (ii) une espèce coucou (cleptoparasite) patrouillait à proximité d'un tumulus implanté sur le trottoir. La présence seule d'un tumulus sans activité observée menait à une absence de validation. Comme l'illustre la Figure 3, les nids de fourmis, quant à eux, étaient reconnaissables à l'aide de plusieurs indices : les grains de sable étaient étalés sur la surface de la dalle et ne formaient pas de tumuli, le nid disposait de plusieurs entrées contiguës visibles et l'introduction d'une brindille au sein d'une des entrées révélait des fourmis qui tentaient de protéger leur territoire.





Figure 3 - Illustration de nids de fourmis (à gauche) et d'abeilles (à droite) nichant dans les trottoirs. Crédit photo : V. Van Keymeulen

3.3. Diagnostic sur site

Le prélèvement des données écologiques, pédologiques et le relevé des données liées à l'architecture externe des revêtements de sol ont été réalisés simultanément à la phase de validation. De plus, le nombre de nids a été estimé à travers le décompte des tumuli ainsi que des entrées de galeries, et la densité de nids a été approximée en divisant le nombre de nids par l'aire du trottoir accueillant la bourgade.

Relevés entomologiques

Au sein de chacun des sites validés par une visite de terrain, des individus ont été capturés afin de procéder ultérieurement à une identification « genre-espèce » et permettre à terme d'implémenter ces variables taxonomiques dans l'analyse des préférences édaphiques. Dans le but de capter un maximum de variabilité d'occupation des sites, un maximum d'individus morphologiquement différents ont été capturés sur les sites endéans les 30 minutes de visite. À partir de la mi-mai, d'autres Apoïdes ont également émergé, notamment des guêpes appartenant à la famille des Crabronides ; nous les avons donc pris en compte également, même si ce n'était pas prévu par les objectifs de la mission.

Les individus capturés au filet ont été directement placés dans un pilulier et mis à mort sur place à l'aide de l'introduction d'une goutte d'acétate d'éthyle ou d'alcool à 70°. Au vu du faible nombre d'individus prélevé et du caractère ponctuel des prélèvements et des conclusions émises par Gezon et ses collègues dans leur étude de 2015, l'impact sur la viabilité des populations sur place a été considéré comme négligeable. Chaque pilulier a été annoté d'un numéro d'échantillon (indépendant aux numérotations précédentes concernant la récolte des données de sites potentiels), d'une date de capture et d'un identifiant relatif au lieu de récolte. Dans certains cas, les spécimens ont été conservés dans un congélateur à - 20°C.

Echantillonnage des données pédologiques

L'influence de la texture du sol sur l'attractivité d'un site est prépondérante selon Cane (1991). Par conséquent, il est primordial d'étudier la granulométrie du substrat présent sous le revêtement de sol pour comprendre les préférences édaphiques des abeilles solitaires en milieu urbain.

Les échantillons pédologiques récoltés sur les revêtements de sol proviennent usuellement de l'extraction temporaire d'une dalle ou d'un pavé suivi de l'échantillonnage à l'aide d'une tarière pédologique du matériau issu de la couche de pose, de la fondation et de l'éventuelle sous-fondation. Néanmoins, le déplacement d'un pavé sur voirie est sujet à une demande auprès du gestionnaire de ladite voirie et nécessite la présence d'un expert. Or, la crise du Covid-19 – conditionnant la proximité sociale, les déplacements non-essentiels et mettant à mal l'organisation de l'ensemble des structures de travail – ne nous a pas permis de mener à bien ce projet.

Dès lors, les échantillons de sol ont été prélevés à partir des excavats de nids d'abeille (i.e. tumuli, Figure 4) et seul l'aspect granulométrique a pu être étudié. En effet, la mesure de la compacité du sol et de son humidité ne

peut pas être réalisée de manière fiable à partir de la terre excavée par les abeilles, et le tumulus laissé à l'air libre ne permet pas de refléter l'humidité présente dans le sol.



Figure 4 - Photographies de tumuli sur revêtements urbains. Crédit photo : V. Van Keymeulen

Au sein de chacun des sites validés, l'équivalent du volume d'un pilulier de tumuli a été prélevé et assorti du numéro d'échantillon du site. Lorsque celui-ci comportait plusieurs tumuli, le prélèvement s'effectuait sur au moins 3 excavats, afin de capter l'éventuelle variabilité présente sur le segment de trottoir. Lorsque l'ensemble des excavats présents n'atteignait pas le volume du pilulier, un échantillon était tout de même prélevé.

Variables liées aux revêtements de sol

Les variables liées au revêtement de sol ont été d'une part déterminées sur le terrain simultanément à la phase de vérification de l'emplacement des nids et d'autre part, déterminées *a posteriori* sur base de photographies prises systématiquement lors de ces mêmes visites de terrain. La prise de photographies a été standardisée comme suit : chaque visite de site a fait l'objet d'une photo globale montrant toute la largeur du revêtement, ainsi que d'une photo rapprochée sur 4 pavés et un nid. La localisation des nids a été renseignée par un triplet de variables « commune – rue - numéro de maison » et géo-localisée à partir du site <https://www.coordonnees-gps.fr/>, dernière consultation le 09/03/2021.

Au regard de la littérature scientifique sur les variables qui influencent la sélection des sites de nidification en milieu naturel, nous avons émis les hypothèses suivantes quant aux variables qui influençaient ce choix en milieu urbain : la nature du matériau de jointement, la largeur du joint, le type de revêtement et la position du nid sur le revêtement du sol.

En tant que zone d'entrée vers le matériau souterrain, la nature du matériau de jointoiment définit la dureté du substrat et influencerait donc la capacité des abeilles à y creuser une galerie, jouant ainsi un rôle de filtre dans la sélection des sites de nidification. Cette variable a été implémentée dans la base de données sous forme de variable qualitative nominale à 2 modalités : joint rigide dégradé / joint non lié.

Le type de revêtement a été évalué sur base de photographies par les agents du Centre de Recherche Routière (CRR) et classé selon 7 modalités : dalle en béton / dalle en céramique / pavé en béton / pavé en grès / pavé en grès et calcaire / pavé en porphyre / éléments en pierre bleue. Enfin, la position du nid sur le revêtement de sol a été implémentée en tant que variable qualitative nominale selon la nomenclature suivante : trottoir / pas de maison / cour interne / talus débordant sur trottoir / route avec trafic automobile / pas d'escalier / trottoir et pas de maison. Au total **79 sites ont été caractérisés** selon cette nomenclature.





Figure 5 - illustration des modalités de la variable qualitative « type de joint ». Joint rigide dégradé (à gauche) et joint non lié (à droite).
Crédit photo : V. Van Keymeulen

La largeur du joint impacte directement la possibilité de nidification des abeilles car si la largeur de joint est inférieure à la taille du corps de l'abeille, il ne permet pas à cette dernière d'y creuser une galerie. Cette mesure a été prise à l'emplacement de 6 nids au sein d'un même site (ou moins si le site accueillait moins de 6 nids) à l'aide d'une latte placée perpendiculairement aux deux dalles adjacentes et passant par l'entrée du nid.

Lorsque plusieurs espèces terricoles étaient présentes, nous avons pris les mesures de manière aléatoire sur site, sans distinction entre les espèces. Par la suite, une moyenne des mesures a été effectuée et implémentée dans la base de données. Il est fort probable que la variable « type de revêtement » influence la capacité de rétention thermique du sol et donc la température au sein du nid. Elle serait comparable à la présence de pierres à l'entrée du nid des abeilles en milieu naturel, tel qu'observé par Potts & Willmer (1997). Au total, **398 mesures de joints ont été effectuées sur 70 sites.**

Echantillonnage approfondi sur 2 sites

Initialement, 5 sites ont été sélectionnés afin que le CRR puisse réaliser sur chaque site une étude plus approfondie de la structure. En concertation avec Bruxelles Environnement, et au regard de la complexité institutionnelle et administrative (procédures sur Osiris) pour obtenir de la part des gestionnaires (*a fortiori* communaux) l'autorisation d'effectuer des fouilles sur un trottoir existant, le CRR a effectué des fouilles aux 2 endroits suivants :

- Trottoir en dalles de béton situé à l'avenue Coloniale n°24 à Watermael-Boitsfort ;
- Trottoir en pavés de grès situé à hauteur de la rue Dekens n°7 à Etterbeek.

Concrètement pour effectuer ces fouilles, le CRR a démonté un ou plusieurs éléments modulaires, évalué l'épaisseur et la nature de la couche de pose et, dans la mesure du possible, creusé la fondation afin d'en déterminer la nature. Un échantillon de 250-300 g de sable a été prélevé pour une détermination de la granulométrie.

Mesures de confort du revêtement

Comme évoqué lors du travail bibliographique réalisé dans le cadre de cette étude, la Région de Bruxelles-Capitale, au travers de son nouveau plan de mobilité Good Move approuvé par le Gouvernement le 5 mars 2020, impose un niveau de confort des revêtements piétons à atteindre lors de tout nouvel aménagement réalisé sur le territoire régional ou communal. Concrètement sur les itinéraires prioritaires pour les piétons (itinéraires piétons PLUS, CONFORT et magistrales piétonnes tels que définis dans Good Move), le niveau de confort doit être de minimum 8/10 d'après l'examen réalisé par le gestionnaire de voirie au moyen de la chaise d'auscultation agréée par le CRR. Pour les autres voiries, le niveau de confort doit être de minimum 6/10.

Complémentairement aux fouilles effectuées par le CRR et afin d'évaluer le confort des revêtements en place, des mesures avec la chaise d'auscultation ont été réalisées par le CRR en octobre 2020 sur les deux sites (Figure 6).





Figure 6 – Dispositif de la chaise d'auscultation à Watermael-Boitsfort. Crédit photo : O. Van Damme

3.4. Diagnostic en laboratoire

Identification des abeilles et guêpes terricoles

Dans le but de préparer la phase d'étalage dans des conditions optimales et rendre leur manipulation plus facile, les spécimens ont été dégelés et ré-humidifiés à la vapeur d'eau chaude. Quant aux spécimens mis à mort à l'aide d'alcool, ceux-ci ont été lavés à l'eau douce puis séchés sur papier absorbant avant d'être étalés. L'étalage consiste en la disposition d'un insecte dans une configuration standardisée afin de mettre en évidence des traits physiques et physiologiques permettant l'identification des individus. La méthodologie d'épingleage utilisée est illustrée à la Figure 7 et correspond aux méthodes standards utilisées par Mouret (2007).

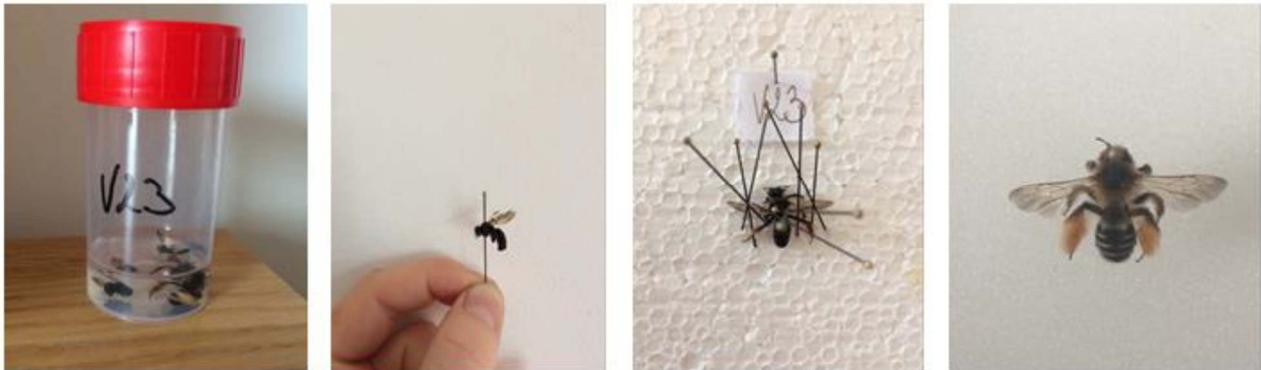


Figure 7 - Illustration des étapes d'épingleages des spécimens d'abeilles solitaires capturées sur terrain. Crédit photo : V. Van Keymeulen

L'identification des spécimens a été réalisée à l'aide de la clé d'identification issue de livre intitulé *Field Guide to the bees of Great Britain and Ireland* (2015) de Steven Falk et la clé des Halictidae de Belgique d'Alain Pauly (2019) pour les abeilles sauvages, ainsi que la clé de Jacques Bitsch et collègues (1997) concernant les spécimens sphéciformes. Tous les spécimens apiformes identifiés ont été vérifiés *via* les collections de référence du conservatoire entomologique du service, notamment les collections d'Alain Pauly pour les halictes capturées. Tous les spécimens sphéciformes ainsi que les chrysidés collectés ont été confirmés ou identifiés par Yvan Barbier (Département de l'étude du milieu naturel et agricole de la Région Wallonne) ainsi que les collections de Jean Leclercq (Professeur émérite ULiège). L'ensemble des individus collectés a été mis en collection dans une boîte au format standard (26x39cm).

Analyse pédologique

Cette analyse a été réalisée au sein du laboratoire de pédologie de la faculté Gembloux Agro-Bio Tech (Prof. Gil Colinet). Chacun des échantillons de tumuli collectés a fait l'objet d'une étude granulométrique en laboratoire de la manière suivante : ils ont été pesés à l'aide d'une balance préalablement tarée (précision 1/100) et passés au tamiseur (marque Haver & Boecker VWR) durant 10 minutes à une amplitude d'oscillation de 1 mm au travers de cinq tamis de mailles 1 mm, 500 µm, 200 µm, 100 µm et 50 µm.

Le choix des tamis a été réfléchi pour permettre de distinguer les sables des argiles et limons (seuil 50 µm) et différencier les sables très fins, fins, moyens et grossiers (Figure 8). Le temps de tamisage de 10 minutes et



l'amplitude d'oscillation de 1 mm correspondent à des standards usuellement utilisés pour des analyses de sable sur ce volume d'échantillon.

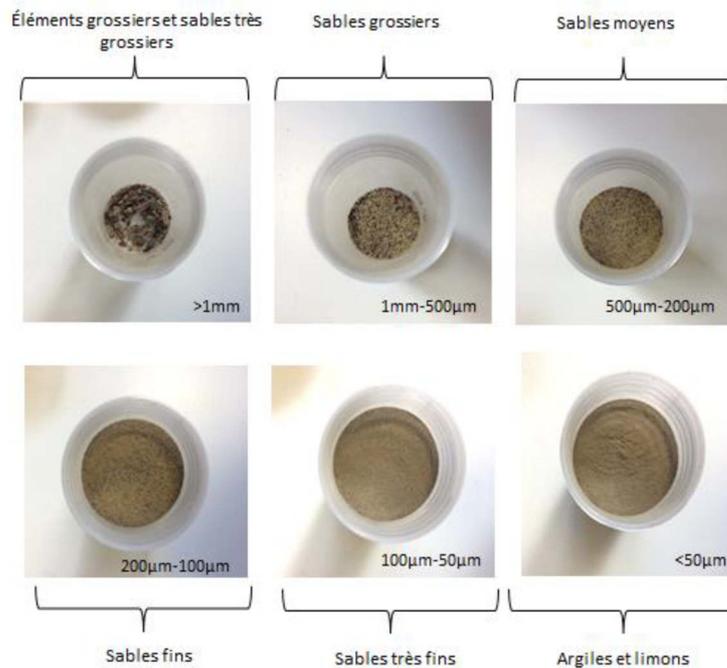


Figure 8 - Illustration des résultats du tamisage des tumuli d'abeilles solitaires nichant entre les trottoirs de la Région de Bruxelles-Capitale pour chaque tamis.

Les particules retenues par chaque tamis ont ensuite été pesées et leur valeur convertie en pourcentage par rapport au volume total de l'échantillon. Cette conversion permet de s'affranchir des variations de poids dues à l'humidité des échantillons et de créer un socle de comparaison commun entre des échantillons de poids divers.

Bien que le taux de particules de limons et d'argiles n'ait pas été distingué, nous pouvons approximer les textures moyennes et extrêmes des tumuli récoltés par le biais du triangle textural, en divisant également par moitié les pourcentages restants entre les classes de limons ou d'argiles. Au total, **53 sites comprenant des échantillons de tumuli ont fait l'objet de l'analyse granulométrique.**

Si plusieurs espèces étaient présentes sur le site nous avons labellisé l'échantillon par son abeille terricole la plus abondante d'après nos observations. S'il n'y avait que des guêpes, l'échantillon a été labellisé par la guêpe la plus abondante d'après nos observations.

Analyses granulométriques effectuées au CRR

Les deux échantillons de sable prélevés sur site ont été tamisés dans les laboratoires du CRR selon les exigences de la norme NBN EN 933-1 et 2, appliquée en technique routière. Le tamisage a été réalisé à sec. L'ouverture des tamis a été choisie pour se rapprocher le plus possible des tamis appliqués en pédologie, ceux-ci étant légèrement différents de ceux appliqués en technique routière. Ainsi le tamis de 100 µm a été remplacé par le 90 µm, et le tamis de 50 µm par celui de 63 µm.

3.5. Analyse statistique

Sur les jeux de données préparés, nous avons utilisé une ANOVA après une analyse statistique descriptive des données pour comparer les mesures de la taille des joints entre certaines les espèces terricoles majoritaires et entre leurs familles respectives (Tableau 4). Un test *post-hoc* de Tukey avec une correction de Bonferonni a été appliqué s'il y avait une différence significative détectée par l'ANOVA.

Nous avons également réalisé une régression linéaire univariée pour tester le lien entre la taille des abeilles ou guêpes capturées et la taille des joints. Nous avons mesuré, au moyen d'un pied à coulisse digital (Electronic Digital Caliper), la taille en longueur ainsi que la distance inter-tégulaire (distance entre les deux insertions des ailes) des individus femelles, ce qui est un proxy de leur taille (Kendall *et al.*, 2019).

Nous avons donc pris la taille moyenne des joints par site à l'espèce correspondante (N=80). Par rapport à l'analyse granulométrique, nous avons réalisé une analyse en composante principale (PCA) pour détecter s'il y avait des similarités de préférences granulométriques entre les espèces terricoles majoritaires ainsi qu'entre leurs familles respectives (Tableau 4).

4. RÉSULTATS

4.1. Recensement participatif

De la période du 1^{er} Avril au 31 Juillet 2020, 163 observations ont été encodées sur le formulaire de Bruxelles Environnement. Les communes de Woluwe-Saint-Lambert, Watermael-Boitsfort et Schaerbeek forment la tête du peloton, tandis que les communes de Molenbeek-Saint-Jean, Jette et Ganshoren le terminent (Figure 9).

Il n'y a pas eu d'encodage de la part des citoyens pour les communes de Saint-Josse-ten-Noode et Koekelberg. La fréquence de réponse au formulaire varie autour d'une moyenne de 1 entrée par jour avec un écart-type de 2 entrées. Deux pics sont à noter les 21 avril (11 entrées) et 3 juin 2020 (18 entrées). Nous avons également observé une légère croissance des fréquences d'encodage à travers le temps.

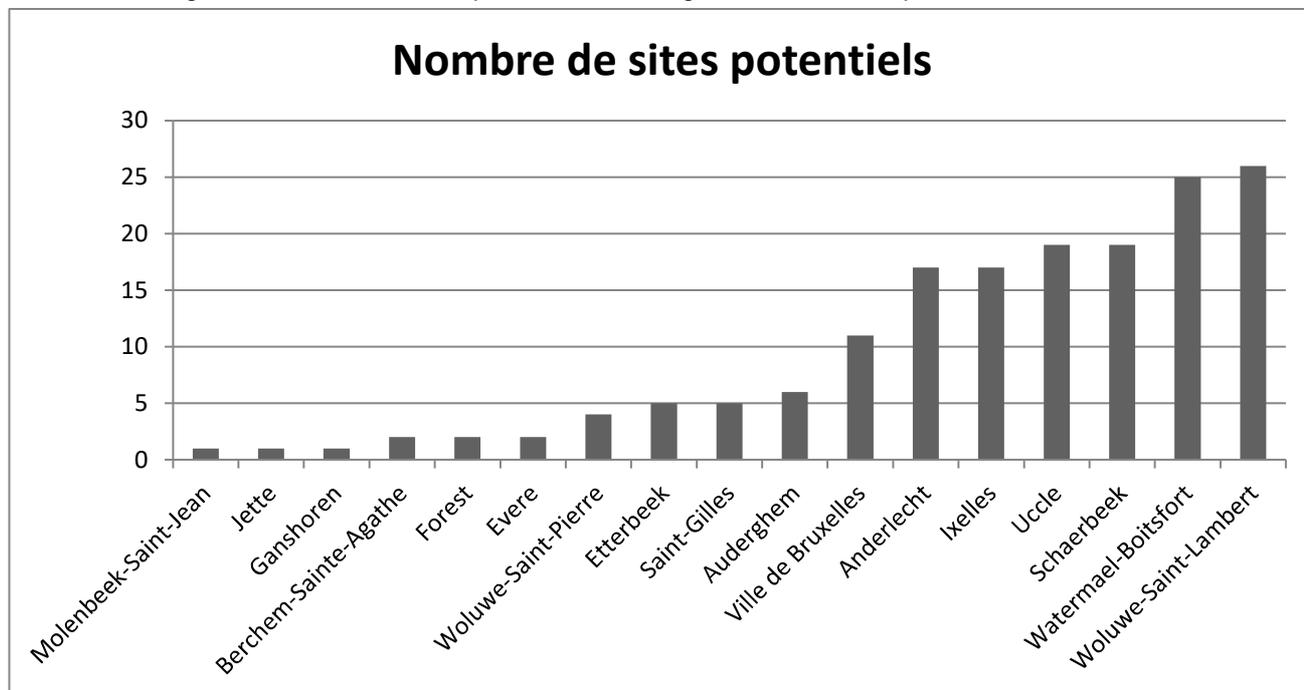


Figure 9 – Distribution des sites potentiels par commune, récoltés au moyen du formulaire d'encodage.

4.2. Distribution des nids et espèces recensées

Entre le 5 Avril et le 20 Juillet 2020, nous avons caractérisé **89 sites sur l'ensemble de la Région Bruxelles-Capitale** ayant rempli les critères de validations (Figure 10) (voir point 2.2). Les principales communes d'échantillonnage correspondent à Ixelles, Watermael-Boitsfort et Uccle (Figure 11) sur les 12 communes ayant été échantillonnées au moins une fois.

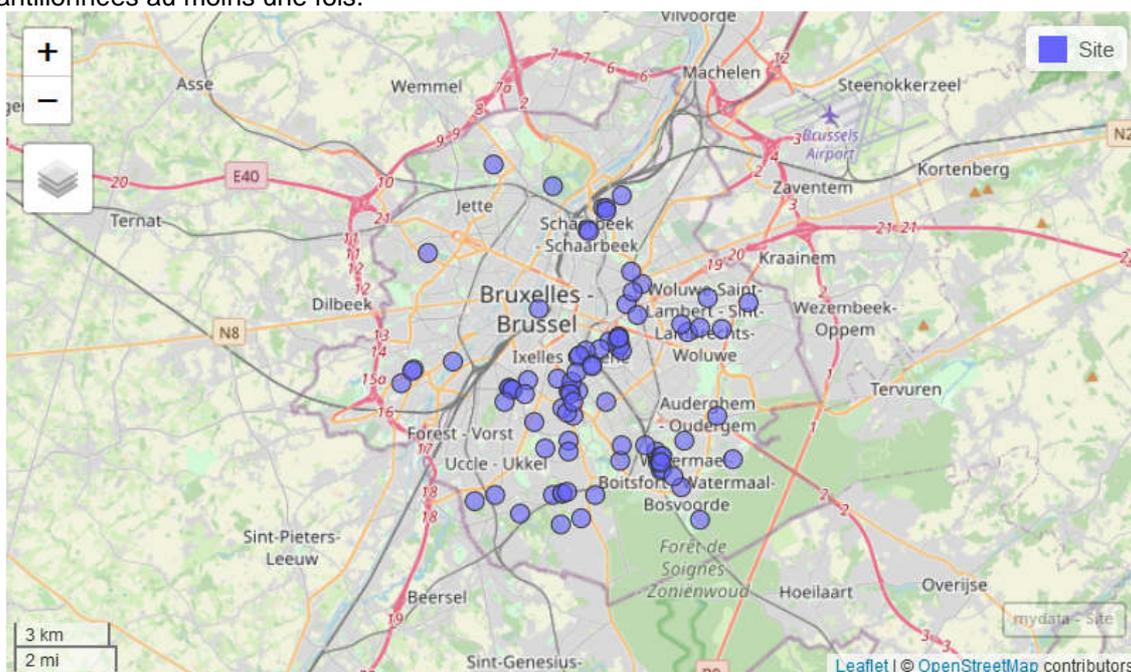


Figure 10 – Carte de la distribution des sites d'échantillonnage validés.

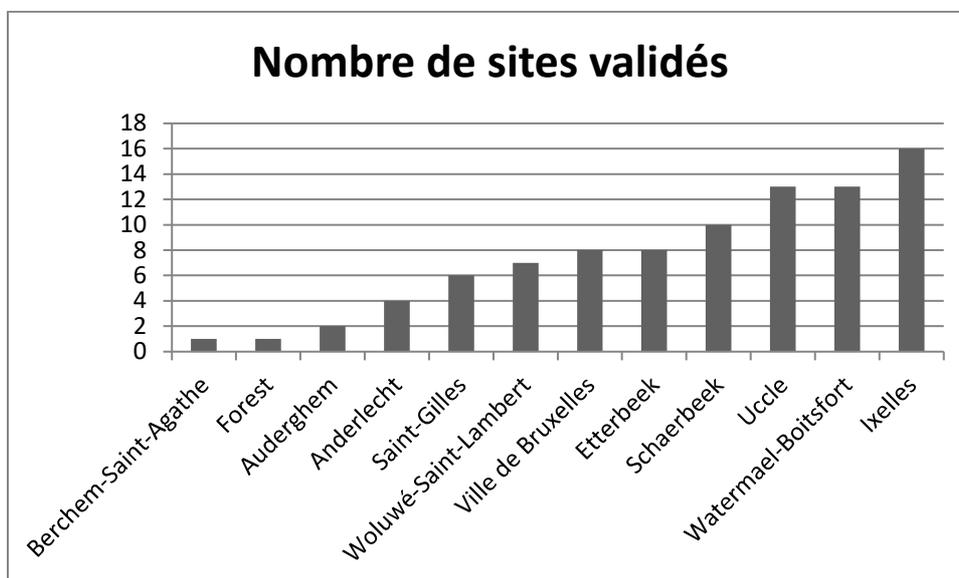


Figure 11 – Distribution des sites d'échantillonnage validés par commune.

Sur l'ensemble des sites, nous avons collecté 153 spécimens appartenant à 22 espèces différentes dont 11 espèces d'abeilles solitaires et 11 autres espèces d'Hyménoptères (Tableau 4).

Les espèces les plus abondantes retrouvées correspondent à *Andrena barbilabris*, *Cerceris arenaria*, *Lasioglossum laticeps* et *Hedychrum nobile* (Tableau 4). Nous avons également capturé 4 spécimens uniques d'abeilles appartenant aux espèces *Andrena flavipes* Panzer 1799, *Andrena haemorrhoea* (Fabricius 1781), *Halictus scabiosae* Rossi 1790 et *Lasioglossum morio* (Fabricius 1793).

Étant donné que ces quatre espèces n'ont été capturées qu'une seule fois et que nous n'avons pas pu confirmer la présence de leur nid dans les trottoirs grâce à une entrée dans le nid, nous les avons omis du jeu de données. Nous avons en outre ajouté à notre liste les espèces cleptoparasites associées : *Nomada alboguttata*, *Sphecodes* spp., *Hedychrum gerstaeckeri* et *H. nobile* (Tableau 4).

Tableau 4 - Liste des familles et des espèces d'apoïdes et de chrysidés collectées sur l'ensemble des sites d'échantillonnage. L'abondance de chacune des espèces est également représentée à droite de son identification.

Abeilles solitaires		Guêpes sphéciformes et chrysidés	
	Andrenidae 33		Crabronidae 49
<i>Andrena barbilabris</i> (Kirby 1802)	30	<i>Cerceris arenaria</i> (L.)	26
<i>Andrena vaga</i> (Panzer 1799)	3	<i>Cerceris quadricincta</i> (Panzer 1799)	4
	Melittidae 8	<i>Cerceris rybyensis</i> (L. 1791)	5
<i>Dasypoda hirtipes</i> (Fabricius 1793)	8	<i>Diodontus insidiosus</i> Spooner 1938	3
	Halictidae 36	<i>Gorytes planifrons</i> (Wesmael 1852)	1
<i>Lasioglossum fulvicorne</i> (Kirby 1802)	2	<i>Lindeniuss pygmaeus armatus</i> (Rossi 1794)	4
<i>Lasioglossum laticeps</i> (Schenck 1868)	20	<i>Mimesa lutaria</i> (Fabricius 1787)	2
<i>Lasioglossum sexstrigatum</i> (Schenck 1868)	7	<i>Oxybelus bipunctatus</i> Olivier 1812	2
<i>Sphecodes crassus</i> Thomson 1870	2	<i>Philanthus triangulum</i> (Fabricius 1775)	2
<i>Sphecodes miniatus</i> Hagens 1892	1		Chrysididae 22
<i>Sphecodes monilicornis</i> (Kirby 1802)	1	<i>Hedychrum gerstaeckeri</i> Chévrier 1869	4
<i>Sphecodes pellucidus</i> Smith 1845	3	<i>Hedychrum nobile</i> (Scopoli 1763)	18
	Apidae 5		
<i>Nomada alboguttata</i> (Herrich-Schäffer 1839)	5		

La plupart des sites comportait une espèce nidificatrice unique (sans compter les espèces cleptoparasites). Cependant, certains sites ont montré qu'une co-occurrence entre plusieurs espèces nidificatrices est possible que ce soit entre guêpes solitaires et abeilles solitaires mais également entre espèces d'abeilles différentes et entre espèces de guêpes différentes (Figure 12).



Nous observons que toutes les espèces sont liées par au moins un lien les unes aux autres, excepté pour *Andrena vaga*. Les co-occurrences les plus prononcées pour les espèces terricoles se font entre *Cerceris arenaria* et *Lasioglossum pygmaeus*, entre *Cerceris rybiensis* et *Lasioglossum laticeps*, entre *Andrena barbilabris* et *Lasioglossum laticeps*, et entre *Dasypoda hirtipes* et *Cerceris arenaria*. Les liens entre les espèces cleptoparasites et leurs hôtes associés sont également présents : entre *Hedychrum nobile* et *Cerceris arenaria*, entre *Hedychrum gerstaeckeri* et *Mimesa lutaria*, entre *Hedychrum gerstaeckeri* et *Cerceris arenaria*, et entre *Sphecodes crassus* et *Lasioglossum laticeps*.

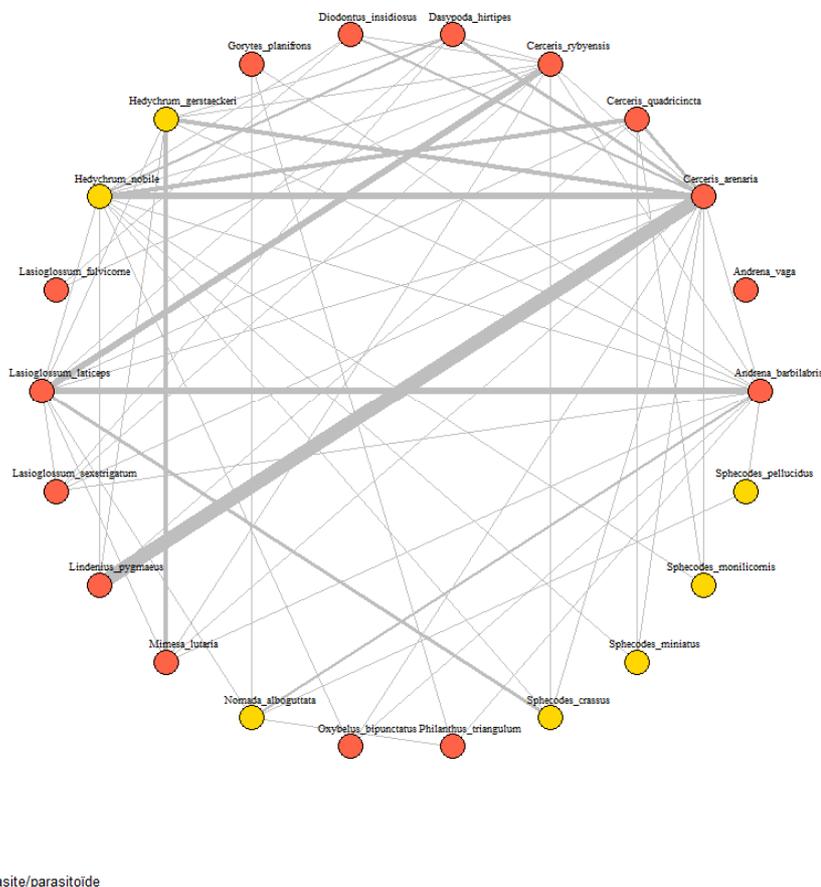


Figure 12 – Réseau de co-occurrence entre les espèces d'abeilles et de guêpes identifiées. Les couleurs rouges et jaunes représentent leurs comportements de nidification : terricole ou cleptoparasite/parasitoïde. Le lien (trait gris) entre deux espèces signifie qu'elles ont partagé le même site au moins une fois. L'épaisseur des liens est dépendante du nombre de fois où ces espèces cohabitent sur les mêmes sites.

4.3. Analyse des revêtements et analyse granulométrique

Variables liées aux revêtements de sol

Concernant la localisation des nids sur les revêtements (Figure 13A), la grande majorité des galeries observées se situent sur trottoir (53 sites, soit 67 %) mais certains ont également été localisés sur route (3 sites, soit 4 %), dans les cours internes de maison (8 sites, soit 10 %). Certains sites se situent au niveau des pas de maison uniquement (11 sites, soit 14 %) ou pouvaient parfois déborder sur les trottoirs (2 sites, soit 3 %) ; seulement un site a été caractérisé sur le pas d'escaliers (soit 1%). Un site a été caractérisé avec un débordement des bourgades du talus vers le trottoir (soit 1%).

Quant à la composition des revêtements (Figure 13B), ceux-ci sont majoritairement composés de dalles en béton (40 sites, soit 51 %) et de pavés en grès (29 sites, soit 37 %). Les autres sites sont respectivement composés de pavés en grès et calcaire (3 sites, soit 4 %), de pavés en béton (4 sites, soit 5 %), de dalles en céramiques (1 site, soit 1 %), de dalles en porphyre (1 site, soit 1 %) et d'éléments en pierre bleue (1 site, soit 1 %).

Les joints (Figure 13C) quant à eux sont majoritairement de nature non liée et totalisent 80% des sites rencontrés. À l'inverse, 20% des joints sont de nature rigides et dégradés laissant apparaître des ouvertures pour le passage des spécimens.



Le nombre de nids présents sur le trottoir présente quant à lui une grande variabilité et oscille entre 2 et 500 nids, avec une moyenne de 107 nids par site et une médiane de 50 nids par site. Cet écart entre la médiane et la moyenne révèle l'existence d'une distribution asymétrique contenant un petit nombre de données dont les valeurs sont élevées. Quant à la densité de nids, elle présente une moyenne de 12 nids/m² et oscille entre 0.167 et 100 nids/m². Elle présente une distribution asymétrique plutôt similaire à celle du nombre de nids, avec une médiane à 5 nids/m² suggérant qu'un petit nombre de données ont des valeurs de densité élevées.

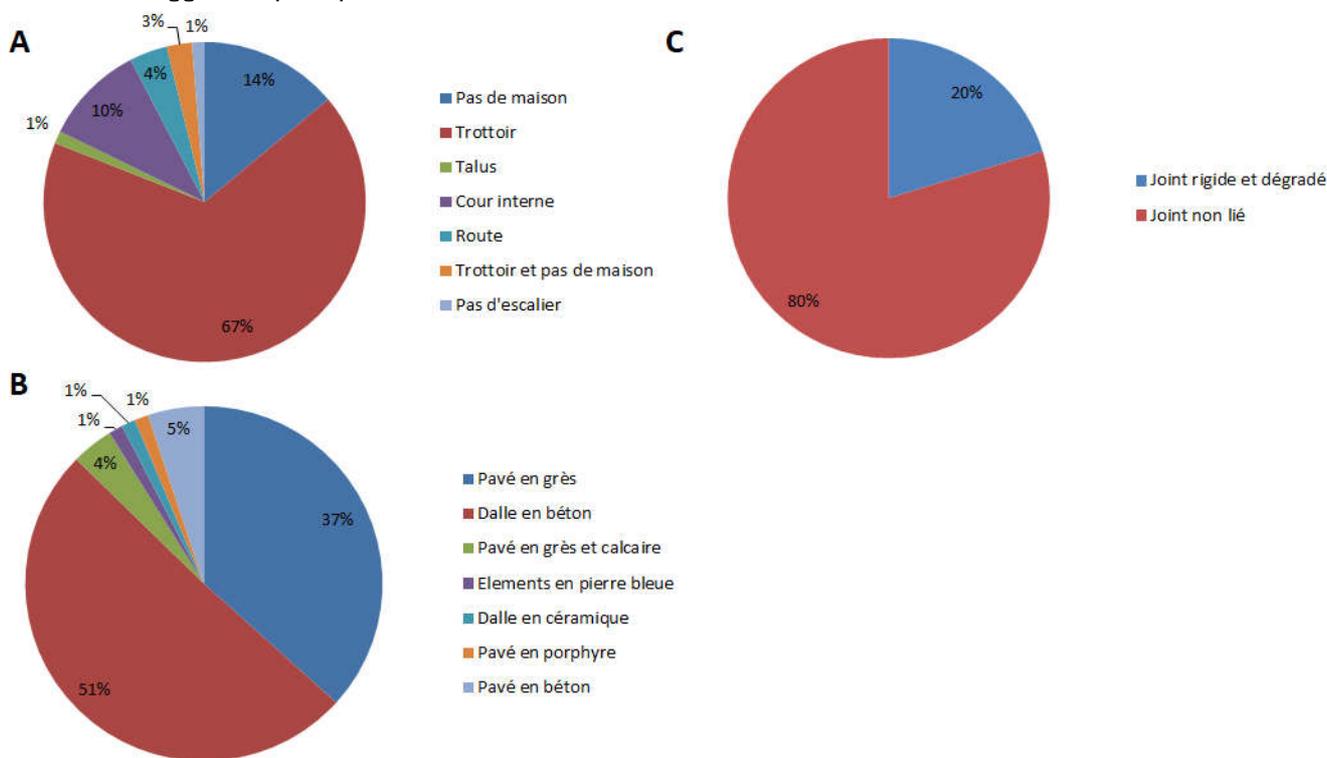


Figure 13 – Répartition (en %) de la localisation des nids sur les revêtements urbains par site (N = 79) (A), type de revêtements urbains sur lesquels se sont situés les nids (B), type de joints (C).

Taille des joints

Sur les 70 sites dont nous avons pu mesurer les largeurs de joint, la largeur moyenne des joints était de $1,08 \pm 0,57$ cm (N = 398) avec un maximum mesuré à 3,00 cm et un minimum à 0,20 cm.

Les détails par espèces sont donnés dans le Tableau 5 et mis en graphique à la Figure 14. L'ANOVA n'a pas permis de détecter une différence significative parmi les largeurs de joints moyennes entre les différentes espèces terricoles (degré de liberté = 9 ; Fstat = 1,97 ; p-valeur = 0,041). Le test *post-hoc* de Tukey n'a par ailleurs pas permis de détecter de paires d'espèces différentes au regard de la largeur des joints (p-valeur > 0,05). Ces résultats signifient qu'il n'y a *a priori* pas de lien entre l'espèce terricole et la largeur du joint du revêtement de trottoir.



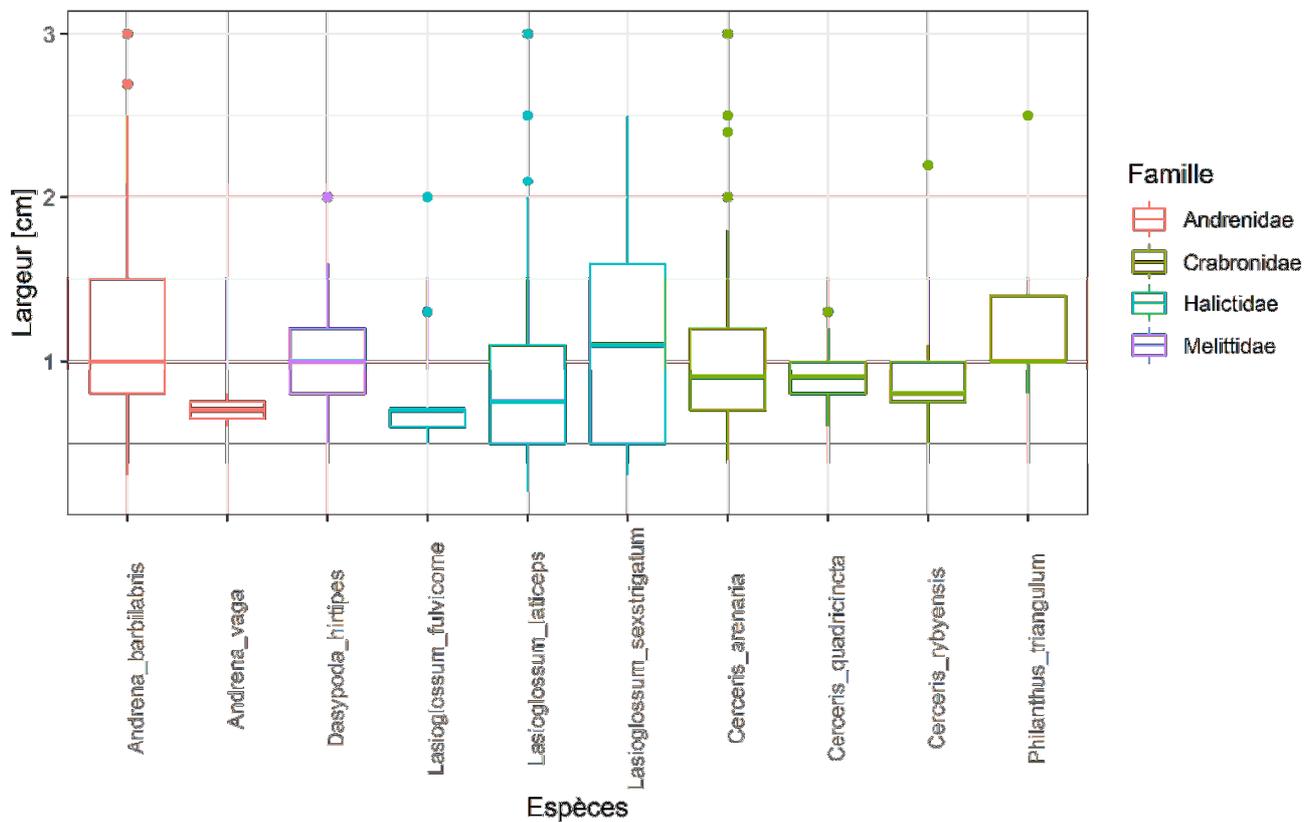


Figure 13 – Distribution des largeurs de joints pour l'entrée des nids (en cm) en fonction des différentes espèces terrioles et de leurs familles respectives : Andrenidae (rouge), Crabronidae (vert), Halictidae (bleu) et Melittidae (mauve).

Tableau 5 – Mesures de la largeur des joints présentant des nids d'espèces terrioles dans les revêtements urbains.

Espèces	Famille	Nombre de mesure	Largeur moyenne \pm écart-type [cm]	Largeur Min/Max [cm]
<i>Andrena barbilabris</i>	Andrenidae	145	1,20 \pm 0,62	0,3/3,0
<i>Andrena vaga</i>	Andrenidae	3	0,7 \pm 0,1	0,6/0,8
<i>Cerceris arenaria</i>	Crabronidae	110	1,04 \pm 0,51	0,4/3,0
<i>Cerceris quadricincta</i>	Crabronidae	9	0,91 \pm 0,23	0,6/1,3
<i>Cerceris rybyensis</i>	Crabronidae	7	1 \pm 0,56	0,5/2,2
<i>Dasypoda hirtipes</i>	Melittidae	29	1 \pm 0,34	0,4/3,0
<i>Lasioglossum fulvicorne</i>	Halictidae	11	0,82 \pm 0,44	0,5/2,0
<i>Lasioglossum laticeps</i>	Halictidae	56	0,93 \pm 0,63	0,2/3,0
<i>Lasioglossum sexstrigatum</i>	Halictidae	19	1,19 \pm 0,75	0,3/2,5
<i>Philanthus triangulum</i>	Crabronidae	9	1,27 \pm 0,51	0,8/2,5

Les régressions linéaires n'ont pas détecté d'influence de la distance inter-tégulaire (Fstat = 0.16 ; degré de liberté = 78 ; p-valeur = 0.69) (Figure 15A) et de la taille des individus terrioles en fonction de la largeur des joints mesurés (Fstat = 0.01 ; degré de liberté = 78 ; p-valeur = 0.92) (Figure 15B).

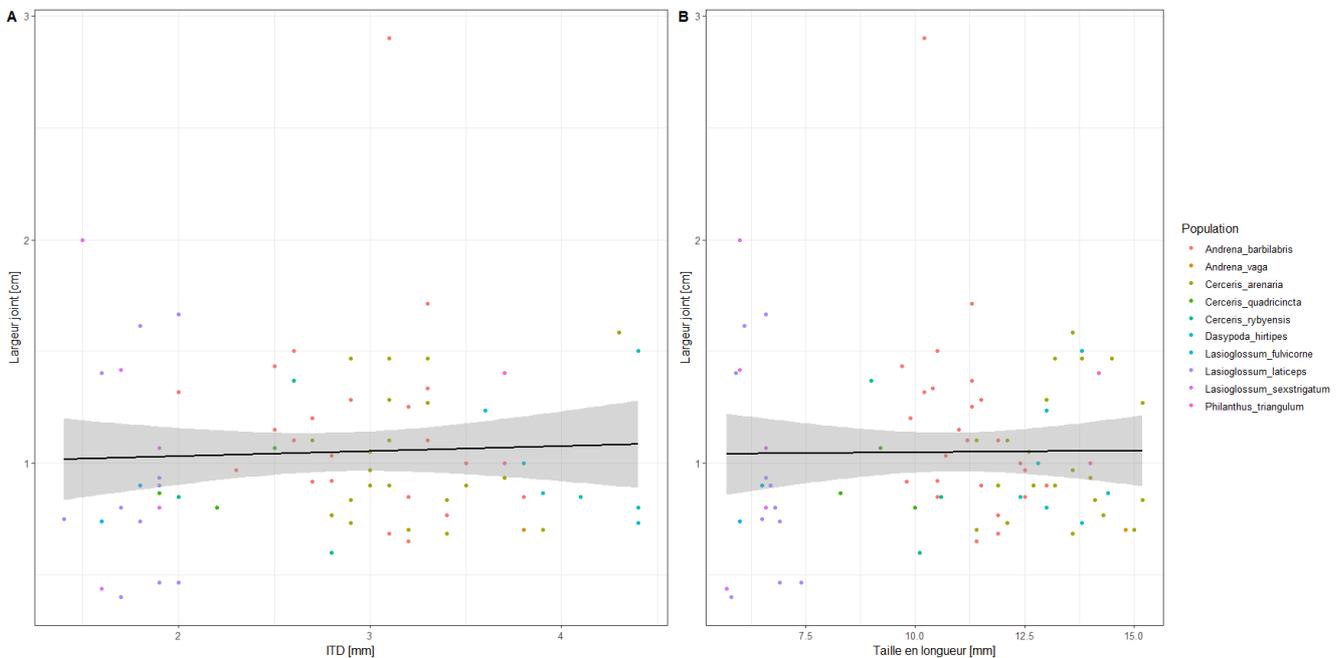


Figure 15 – Régressions linéaires mesurant si la distance inter-tégulaire (A) et la taille de l'individu (B) expliquent la largeur des joints mesurés. Les couleurs représentent les espèces terricoles. Les zones ombragées autour de la droite de régression correspondent à la région de 95% d'intervalle de confiance calculée à partir des moyennes.

Analyse granulométrique

La méthode d'analyse granulométrique utilisée ne nous a pas permis de distinguer les taux d'argiles et de limons. Le taux de sable des échantillons est toujours supérieur à 85 %, et le taux de limons & argiles toujours inférieur à 10 %, ce qui positionne l'ensemble des échantillons au sein de l'angle inférieur gauche du triangle des textures de l'USDA (Figure 16). Selon la classification de l'USDA, tous les échantillons des collectes de tumuli des bourgades sont caractérisés par une texture sableuse et homogène.

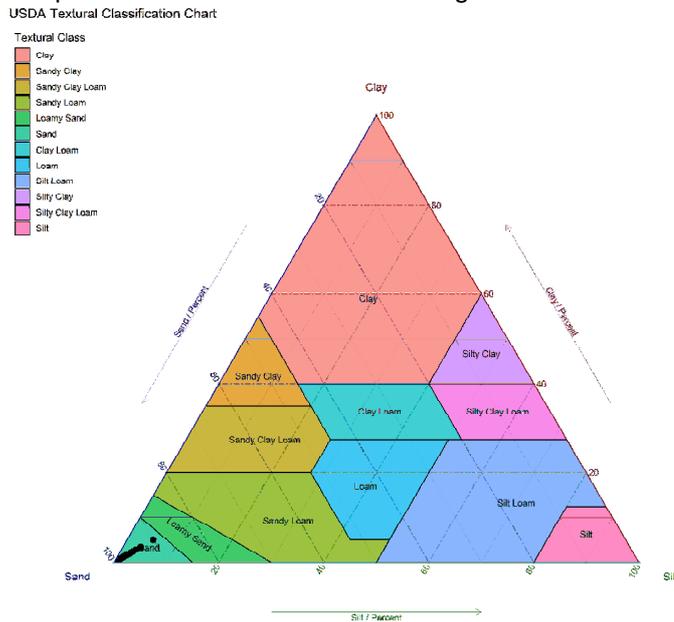


Figure 16 – Triangle textural de l'USDA et localisation de l'ensemble des textures des échantillons de tumuli prélevés (points noirs, N=53)

Les échantillons sont généralement composés d'une faible proportion de particules supérieures à 1 mm de diamètre (i.e. sables très grossiers moyenne < 2,91 %) et inférieures à 50 µm (i.e. argiles et limons, moyenne : 2,61 %) dont la dispersion est faible et l'écart-type inférieur à 2 %. Les particules de diamètre 500 µm-200 µm, quant à elles, sont les plus représentées au sein des échantillons (i.e. sables moyens, moyenne : 41,71 %). Néanmoins, il s'agit également de la classe granulométrique la plus dispersée, avec une amplitude de 60,49 % et un écart-type de 14,20 %. Quant aux fractions intermédiaires, les échantillons contiennent en moyenne 7,47 % de particules de classe 1 mm-500 µm (i.e. sables grossiers, écart-type : 4,19%), 13,40 % de particules de diamètre 100 µm-50 µm (i.e. sables très fins) et 31,90 % de 200 µm-100 µm (i.e. sables fins) d'écart-type valant respectivement 9,38 et 9,37 % (Figure 17).



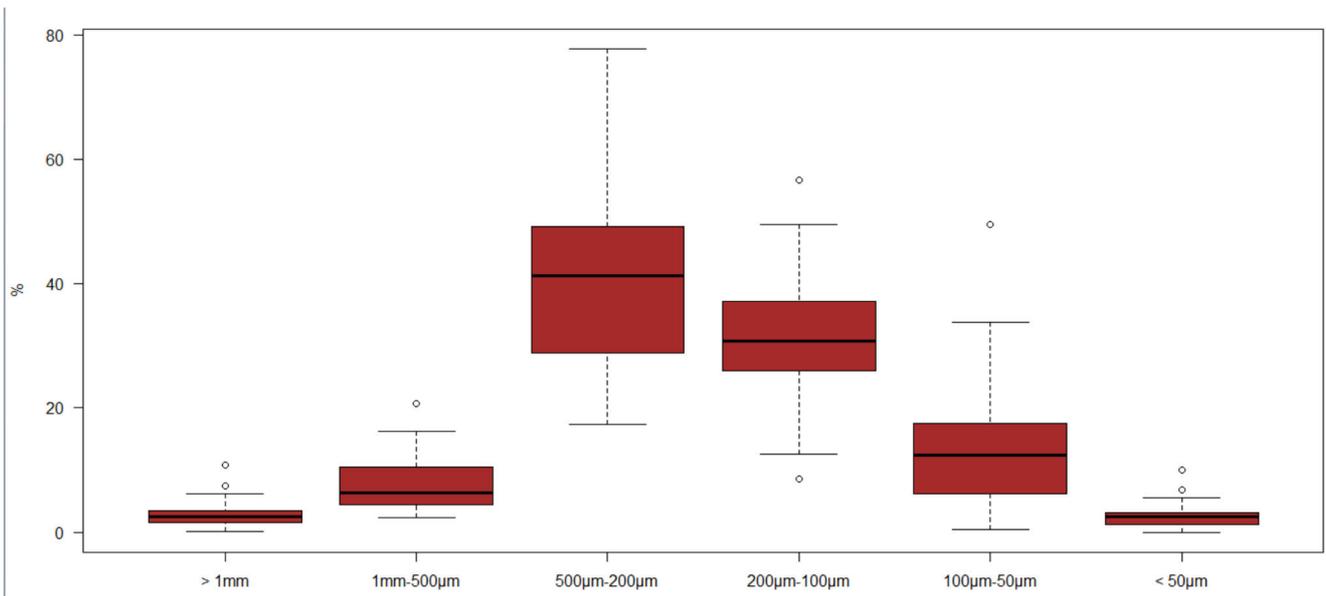


Figure 17 - Boxplot des variables quantitatives liées aux taux de fractions granulométriques des tumuli d'abeilles solitaires nichant dans les trottoirs de la Région de Bruxelles-Capitale.

L'analyse multivariée (PCA) de nos échantillons sableux ne nous permet pas de distinguer des groupements ou des discontinuités en fonction des espèces terricoles ou de leurs familles respectives (Figure 18).

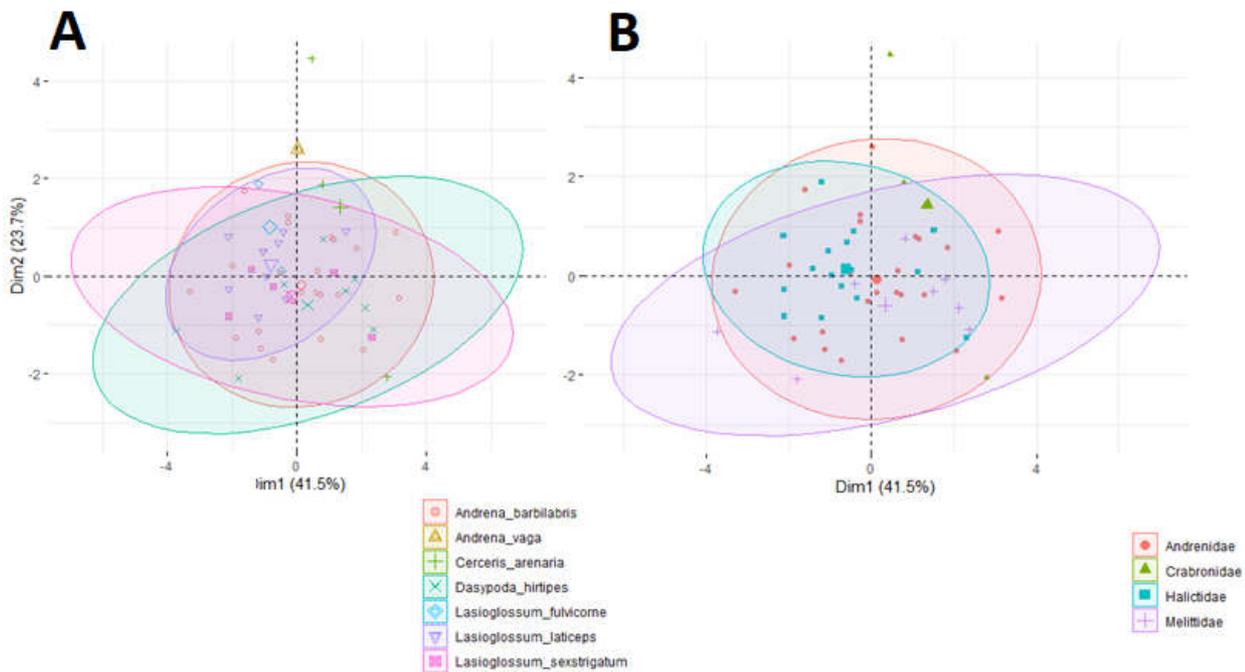


Figure 18 – Graphique de l'analyse en composante principale (PCA) des données granulométriques des échantillons de tumuli collectés par regroupement des espèces terricoles (A) et familles de ces espèces (B). Les dimensions 1 et 2 montrent 65.2 % de la variance cumulée. Les couleurs et formes des points représentent les espèces terricoles (A) ou leurs familles (B). Les ellipses sont à 80% de confiance.

Échantillonnage approfondi sur 2 sites

- Fouille avenue Coloniale n°24 (Figure 19) :

Note : La couche de pose était constituée d'une couche épaisse de mortier, contrairement à ce qui était attendu en présence de joints de type sableux (mais mélangé par endroits à du mortier). Le démontage du revêtement a été limité à une seule dalle pour ne pas déstabiliser la structure. De ce fait, il n'a pas été possible de creuser la fondation pour en déterminer l'épaisseur.



- Dalles en béton 30 x 30 cm, probablement posées à plein bain de mortier, les joints non remplis de mortier (ou abimés) sont en sable.
- Largeur des joints : très irrégulière, entre 1 et 15 mm (moyenne 8mm).
- Épaisseur de la couche de mortier : 3-4 cm, irrégulière.
- Couche de sable jaune (fondation ou couche de pose), prélèvement fait pour analyse granulométrique.



Figure 19 – Fouille du CRR sur l'Avenue Coloniale 24, Watermael-Boitsfort. À gauche : Enlèvement de la dalle en béton. À droite : Dalle de béton et épaisseur du mortier de profil. Photo : Sylvie Smets.

- Fouille Rue Dekens n°7 (Figure 20) :
 - Pavés platine en grès (12 x 12) cm, épaisseur 9 cm, joints en sable.
 - Largeur des joints : moyenne 5 mm.
 - Couche de pose : en sable jaune, la base se mélange avec la fondation, épaisseur de quelques centimètres. Prélèvement pour granulométrie.
 - Fondation : empierrement avec quelques débris de brique, épaisseur 35 cm, couche de pose comprise.
 - Sous-fondation ou sol : matériau induré, non identifié.

Observations d'ordre écologique : La présence de 4 taxons a pu être attestée :

- *Andrena barbilabris* (2 individus vivants) trouvés à 20 et 27 cm de profondeur.
- *Lasioglossum laticeps* (1 individu mort, identification à confirmer) trouvé à 7 cm de profondeur.
- Fourmis (5 individus vivants) trouvés à différentes profondeurs.
- Chambres contenant des cadavres de chareçons (z=10,20 et 30 cm) + œufs nous menant à l'hypothèse de la présence de *Cerceris arenaria*.



1



2



3



4



5



6

Figure 20 – Fouille Rue Dekens, Etterbeek - 1 : Démontage des pavés ; 2 : Profil des premiers cm - photo : Violette Van Keymeulen; 3 : Fouille de la fondation en sable jaune ; 4 : Galerie dans la couche de pose/fondation ; 5 : Cadavre de charançon ; 6 : *Andrena barbilabris* dans la fondation (20-27 cm de profondeur) - Photo : Sylvie Smets.

Mesure de la granulométrie des échantillons prélevés sur site

L'analyse granulométrique des deux échantillons de sable prélevés sur site n'est pas tout à fait comparable à celles réalisées sur le sable des tumuli, considérant la légère différence des limites des classes (90 μm au lieu de 100 μm , et 63 μm au lieu de 50 μm). Cependant, on note que la catégorie la plus représentée des sables de fondation est la classe de 200 à 90 μm , alors que la classe de 500 à 200 μm est la plus représentée dans les excavats des tumuli, sur base toutefois d'un échantillon largement plus important.

On note également que le pourcentage de matière inférieure à 63 μm est de 4,5 % en moyenne. Il y a donc moins de 4,5 % de la fraction limono-argileuse (silt + argile, limites 2 et 50 μm) et on se situe donc dans une texture majoritairement sableuse (Figure 21), à l'instar des matériaux récupérés sur les tumuli.

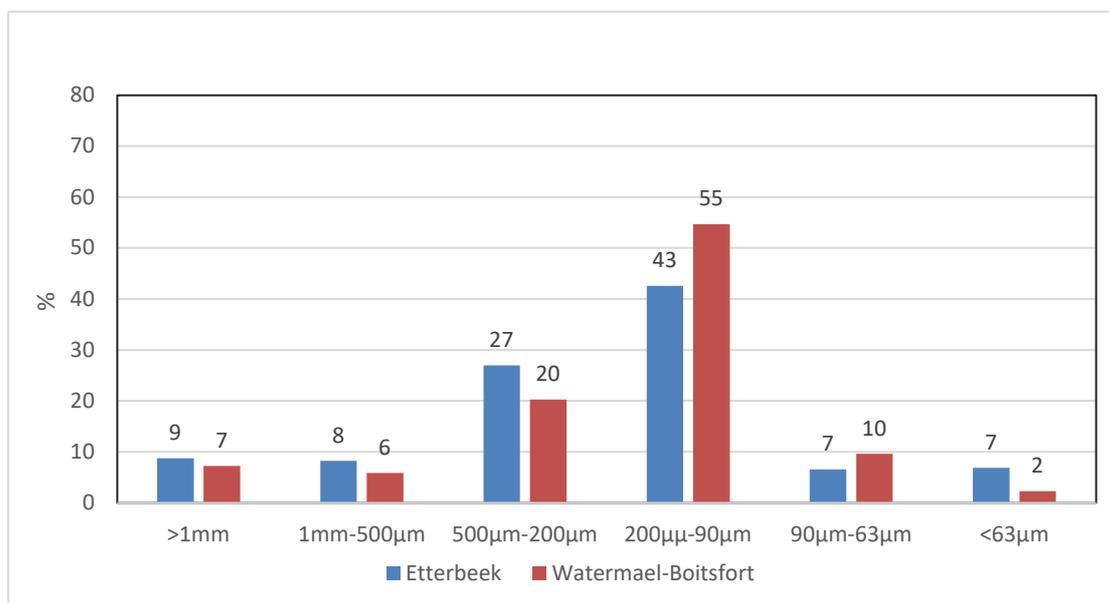


Figure 21 – Répartition granulométrique du sable prélevé sous la couche de mortier (Watermael-Boitsfort) et de couche de pose (Etterbeek) prélevés sur site.

Mesures de confort du revêtement

Les résultats des mesures réalisées avec la chaise d'auscultation sont les suivants :

- Avenue Coloniale n°24 à Watermael-Boitsfort. Cette voirie constitue un itinéraire piéton prioritaire (niveau confort) au plan Good Move et doit donc présenter un niveau de confort minimum de 8/10. Le niveau mesuré sur le revêtement situé sur la partie centrale du trottoir, où se situent les nids et donc les tumulis, est de **7,1/10**. Elle est en revanche de 8,3/10 sur le revêtement situé à côté de cette zone de nidification (Figure 22).



Figure 22 – Résultat du niveau confort de l'Avenue Coloniale 24 à Watermael-Boitsfort sur la partie centrale contenant les sites de nidification, et sur une partie de revêtement située à côté des nids.

- Rue Dekens n°7 à Etterbeek. Cette voirie ne constitue pas un itinéraire piéton prioritaire (à l'échelle du niveau quartier) au plan Good Move et doit donc seulement présenter un niveau de confort minimum de 6/10. Le confort moyen mesuré sur la rue Dekens est de 6,2/10. Cependant différents revêtements sont présents sur le trottoir, à savoir des pavés de béton, des dalles de béton et des pavés de grès. Les résultats détaillés par section de mesure de 5 mètres montrent très clairement que la section en pavé de grès, où nichent les abeilles, présente un niveau de confort nettement insuffisant, variant entre **-3/10 et 1/10 (moyenne = -0,6/10)** (Figure 23).



Figure 23 – Résultat du niveau confort de Rue Dekens 7 à Etterbeek, sur la partie pavée accueillant les sites de nidification, et sur une partie de revêtement située à côté des nids.

Tableau 6 – Tableau détaillé des mesures de confort réalisées sur la rue Dekens sur une portion de trottoir de 60 m. Le revêtement où nichent les abeilles est situé entre les blocs à 15 et 35 m.

Résultats détaillés							
début bloc [m]	Fin bloc [m]	Vitesse [m/s]	Pente long. [%]	Pente transv. [%]	Confort Score /10	event	Remarques
0	5	1,0	2,9	0,5	10	0	
5	10	1,0	1,9	1,3	10	0	
10	15	1,0	2,4	3,4	10	0	
15	20	1,1	2,5	4,6	6	1	chgt revêtement
20	25	1,1	2,9	5,0	-3	0	
25	30	1,1	3,3	3,5	1	0	
30	35	1,1	3,2	3,5	0	0	
35	40	1,1	2,9	5,0	7	1	chgt revêtement
40	45	1,1	3,0	6,5	8	0	
45	50	1,1	3,4	8,3	8	0	
50	55	1,1	2,5	10,1	7	0	
55	60	1,0	2,2	8,4	9	0	



5. DISCUSSION

5.1. Recensement participatif

Notre étude nous a permis de constater que les données encodées n'étaient homogènes ni dans le temps ni dans l'espace. Ces observations concordent avec les conclusions de Royle (2005) et Giraud (2016) et leurs collègues qui stipulent que l'utilisation de données non protocolées issues de sciences citoyennes engendre une force de prospection spatio-temporelle variable.

La disparité des fréquences d'encodage pourrait s'expliquer par la mise en place du *lockdown* au milieu du mois de mars 2020, la crise sanitaire de la covid-19 ayant interdit aux citoyens de sortir de chez eux et donc de repérer et signaler les sites potentiels de nidification. *A contrario*, l'augmentation des températures et du taux de diffusion du formulaire au cours du temps, ainsi que le déconfinement progressif durant les semaines qui ont suivi, ont probablement eu un impact positif sur le taux de réponse au formulaire.

Quant à la dispersion spatiale des encodages et des observations de nids, elle pourrait résulter d'une réelle disparité des localisations de nids d'abeilles, ou des divergences entre les campagnes de communication des administrations communales, mais également de la réceptivité et du profil socio-économique des citoyens. La faible participation des citoyens est reliée particulièrement à ce qu'on appelle le « croissant pauvre » de Bruxelles, c'est-à-dire les zones concentrant depuis plusieurs décennies les populations les moins favorisées sur le plan économique, notamment à Molenbeek-Saint-Jean ou encore Anderlecht. Ces questions mériteraient un approfondissement par le biais d'une étude régionale de géographie sociale.

Afin de réduire ces biais et de capter un maximum de variabilité, nous avons diffusé autant que faire se peut le formulaire et récolté un maximum de données pour augmenter la taille de notre échantillon. De plus, chaque commune bruxelloise a été contactée individuellement en tant que source d'information et d'organisme-relais afin d'assurer une couverture spatiale de l'étude la plus large possible. Quant à la régularité temporelle des données, nous avons pris soin de lancer une seconde campagne de recensement participatif au début du mois de juin 2020 et de garder le contact avec les participants de la salve printanière à travers un remerciement collectif.

Enfin, nous pouvons nous interroger sur la représentativité des sites mis en évidence par rapport au réel nombre de bourgades nichant dans les trottoirs sur le territoire de la Région de Bruxelles-Capitale, et donc sur la réelle variabilité de sites captée par notre étude.

L'une des réponses à cette question réside dans l'hétérogénéité de la détectabilité des sites, qui représente un biais fréquent en sciences participatives (Royle *et al.*, 2005; Kéry *et al.*, 2009; Dorazio, 2014). En effet, on peut supposer que les nids situés dans des rues fréquentées, abritant de grandes bourgades ainsi que de grandes espèces identifiées telles que les *Andrena* spp., *Dasyposa hirtipes*, *Philanthus triangulum* ou encore *Cerceris* spp. (avec leurs tumuli respectifs) sont plus sujets à être détectés. À l'inverse, les petites espèces nichant dans les trottoirs telles que les *Lasioglossum* spp. ou encore les micro-crabronides prédateurs (Tableau 4) passeront plus facilement sous nos radars, car celles-ci sont localisées dans des rues peu fréquentées, abritant de petites bourgades avec des tumuli peu visibles.

On peut donc émettre l'hypothèse que les grandes espèces ont été surreprésentées, tandis que les petites ont été sous-représentées dans notre effort d'échantillonnage. Concernant les entrées présentant des erreurs de détection – fréquentes dans le cadre de *crowdsourcing* (Yoccoz *et al.*, 2001; Chen *et al.*, 2013; Coron *et al.*, 2018) – celles-ci ont été identifiées et éliminées du jeu de données à travers la phase de validation sur terrain. Les multi-comptages, fréquents également dans les processus de sciences participatives (Warton *et al.*, 2013; Renner *et al.*, 2015; Guélat & Kéry, 2018; Vereecken *et al.*, 2021), ont pu être écartés *via* la comparaison des lignes d'entrées.

5.2. Espèces recensées

Concernant les espèces identifiées, ce travail a tout d'abord permis de mettre en lumière l'existence de la cohabitation entre plusieurs bourgades d'espèces d'abeilles terricoles au sein des voiries. Au vu de notre échantillonnage, il est difficile de réellement déterminer s'il existe des séparations entre les espèces nidificatrices ou si elles se partagent les nids. Par ailleurs, nos observations ont montré que les revêtements urbains peuvent également accueillir une toute autre cohorte de taxons qui cohabitent au sein d'un même segment de trottoir, tels que les guêpes solitaires (Crabronidae) ou encore les colonies de certaines espèces de fourmis (Formicidae).

Les colonies de fourmis n'ont pas été identifiées dans le cadre de la présente mission, alors que nous avons observé que leurs nids sont plus abondants dans les trottoirs par rapport aux bourgades de guêpes et d'abeilles terricoles. Certaines de ces colonies appartiennent à l'espèce *Tetramorium* sp. (L.) (Stéphane DeGreef ULB, communication personnelle). Toutefois, une étude semble nécessaire pour faire la lumière de la diversité potentielle des Formicidae nichant dans les trottoirs bruxellois.

Par rapport aux guêpes et abeilles nidificatrices des trottoirs, certaines de leurs espèces cleptoparasites ont également été collectées sur les points d'intérêt, ce qui renforce l'idée qu'un véritable écosystème vit dans ces trottoirs, avec au moins deux niveaux trophiques. Ces individus appartiennent notamment aux guêpes parasites



(Chrysididae), abeilles coucous (dont *Sphecodes* spp. et *Nomada* spp.) et mouches parasites (par ex. *Metopia* spp. ; non capturée dans le cadre de l'étude).

Nous avons également pu confirmer certaines observations du phénomène de nidification sur voiries réalisée par Alain Pauly en 2019 pour les espèces de *Dasyglossum hirtipes*, *Lasioglossum laticeps* et *Andrena barbilabris* – cette dernière ayant également été mentionnée par Falk (2015) – mais, par contre, nous n'avons pas pu confirmer la nidification de *Panurgus calcuratus* (Scopoli 1763) appartenant aux Andrenidae. Il se peut que nous ayons manqué de noter la présence de cette abeille spécialiste des épervières (*Heriacium* spp. Asteraceae) du fait de sa phénologie plutôt estivale, sa période d'activité allant de fin juin à fin août (Rasmont & Haubruge, 2002).

A contrario, certaines espèces d'abeilles terricoles nichant sous les revêtements urbains et identifiées par notre travail n'avaient, à notre connaissance, jamais fait l'objet d'une observation auparavant dans la littérature scientifique. Il s'agit de *Andrena vaga*, *Lasioglossum sexstrigatum* et *L. fulvicorne*.

Ces **6 espèces d'abeilles terricoles trouvées** dans le cadre de cette étude font partie des espèces communes et non concernées par un statut d'extinction en Belgique, avec des populations stables, voire même pour *Andrena barbilabris* des populations signalées en augmentation (Drossart *et al.*, 2019).

Il n'y a donc pas d'enjeu de conservation majeur pour ces espèces au niveau des voiries, au vu de leur bonne répartition et de leur nidification non exclusivement associée aux trottoirs. Elles sont toutes polylectiques (i.e. généralistes sur le plan alimentaire), excepté pour *Andrena vaga* et *Dasyglossum hirtipes* qui sont des abeilles spécialistes respectivement des saules (*Salix* spp.) et de certains genres d'Asteraceae (Rasmont & Haubruge, 2002).

Les **5 espèces d'abeilles coucous** telles que *Nomada alboguttata* et *Sphecodes* spp. sont également épargnées par un statut d'extinction en Belgique (Drossart *et al.*, 2019), mais **deux espèces sont reprises comme vulnérables dans la liste rouge bruxelloise** établie dans le cadre du projet d'Atlas régional des abeilles sauvages : *Sphecodes miniatus* (cleptoparasite de *Lasioglossum sexstrigatum*, *L. pauxillum* et *L. punctatissimum*) et *S. pellucidus* (cleptoparasite de *Andrena barbilabris* et *Lasioglossum leucozonium*).

Par rapport aux données de co-occurrence avec leurs hôtes terricoles, il est possible que *Lasioglossum laticeps* soit un nouvel hôte pour le patrouilleur *Sphecodes crassus*, mais nous ne pouvons pas le confirmer par une entrée dans le nid. Nous avons également capturé un *Sphecodes monilicornis*, coucou potentiel de *Lasioglossum laticeps* (Bogusch, 2003). Nous pouvons appuyer les observations de présence en grand nombre de *Sphecodes miniatus* sur *Lasioglossum sexstrigatum* faites par Vegter (1993). Trois spécimens de *Sphecodes pellucidus* et cinq de *Nomada alboguttata* ont été capturés sur des sites de son hôte *A. barbilabris* (Witt, 1992; Rasmont & Haubruge, 2002).

À notre connaissance, les **guêpes terricoles** n'ont jamais été recensées dans les revêtements urbains par la littérature scientifique. Notre document constitue donc la première mention écrite de ces espèces dans les trottoirs. À notre plus grand étonnement, la diversité de ces espèces sphéciformes, appartenant toutes à la famille des Crabronidae, est plus importante que celle des abeilles terricoles.

D'un point de vue écologique, ce sont toutes des espèces complètement solitaires dont les adultes peuvent également vivre en bourgades, avec une densité et une abondance de nids substantielles sur certains segments de trottoirs (Bitsch & Leclercq, 1993). Les adultes sont en général nectarivores, mais capturent des proies en les paralysant pour le développement de leurs larves carnivores.

Philantus triangulum, le philanthe apivore, aussi appelé « le loup des abeilles » (i.e. *beewolf*), est une espèce de crabronide prédatrice, largement répandue en Europe, même si elle a régressé en Belgique (Leclercq, 1973). Elle est quasi-spécialiste des abeilles mellifère (*Apis mellifera*), mais peut exceptionnellement s'accommoder d'autres genres d'abeilles sauvages (e.g. *Andrena* spp., *Dasyglossum* spp.) (Bitsch *et al.*, 1997).

Les trois espèces de *Cerceris* capturées sont également des guêpes solitaires nichant dans des substrats sableux, mais qui capturent et paralysent pour leurs larves carnivores des petits coléoptères, notamment des Curculionidae ou Chrysomelidae pour *Cerceris arenaria* et *C. quadricincta*, tandis que *C. rybyiensis* s'est spécialisée dans la capture de petites espèces d'halictes (Bitsch *et al.*, 1997). *Hedychrum gerstaeckeri* et *H. nobile* sont des guêpes parasitoïdes connues de leurs nids. À l'heure actuelle, il n'y a pas de liste rouge des espèces de Crabronides en Belgique, mais nous noterons toutefois que *Cerceris quadricincta* est inscrite sur liste rouge des espèces menacées de disparition en Allemagne (Haeseler & Schmidt, 1984).

À notre surprise, d'autres espèces de Crabronides appartenant à d'autres genres, plus petites et capturées en moins grande abondance, font également partie des habitantes des trottoirs : il s'agit de *Gorytes planifrons*, *Diodontus insidiosus*, *Mimesa lutaria*, *Oxybelus bipunctatus* et *Lindenius pygmaeus armatus*.

Leurs nids sont souvent constitués d'une galerie simple débouchant sur la/les cellules larvaires. Du point de vue comportemental, elles agissent de la même manière que les *Cerceris* spp., les adultes capturent et paralysent des proies pour le développement de leurs larves carnivores. Les proies sont constituées principalement d'individus appartenant aux familles de Cicadellidae, Fulgoridae, Cercopidae, Membracidae, des micro-diptères ou des micro-hyménoptères (Bitsch & Leclercq, 1993; Bitsch *et al.*, 1997, 2007). Ce sont donc des prédateurs principalement généralistes. Du point de vue de la conservation, ce sont des espèces communes en Belgique (Y.



Barbier, communication personnelle) ne disposant pas de statut de conservation en Belgique, même si *Gorytes planifrons* est inscrite sur liste rouge d'Allemagne (Haeseler & Schmidt, 1984).

Cependant, *Lindeniuss pygmaeus armatus* est une espèce qui est peu commune en Belgique, seulement deux observations rapportées depuis 1950, malgré son aire de répartition assez large en Europe (Bitsch & Leclercq, 1993). Celle-ci a fait l'objet d'une observation sur 4 sites différents à Bruxelles ce qui indiquerait qu'elle nicherait durablement sur les trottoirs bruxellois et pourrait donc faire l'enjeu d'un projet de conservation.

Une autre découverte importante a été que les bourgades de guêpes solitaires se mélangent avec celles des abeilles terricoles, notamment *Cerceris arenaria* et *Dasypoda hirtipes* dans une grande série de sites. Nous n'avons pas pu vérifier si elles partageaient également les mêmes entrées de nids. Si c'est le cas, il serait intéressant d'aller excaver le nid et d'observer le partage de la structure de leurs cellules larvaires. Le processus de colonisation du site serait également intéressant d'étudier ainsi que leurs phénologies.

Rappelons également que le nombre d'espèces prélevées sur site n'est le reflet que de captures sur un laps de temps de 15-30 minutes. Il est donc hautement probable que la réelle diversité par site n'ait pas été captée, tout comme il est probable que le nombre de bourgades composites ait été sous-estimé. De plus, les occurrences et densités de nids ont probablement été biaisées. En effet, celles-ci ont été basées sur le dénombrement des tumuli. Or, nous n'avons pas fait la distinction entre les tumuli provenant de l'activité d'excavation des guêpes de ceux provenant des abeilles ; qui plus est, certains nids étaient exempts de tumuli.

Enfin, notons que les bourgades sont des systèmes dynamiques et les recensements effectués ne sont que le reflet d'un instant t de la vie des populations et communautés d'abeilles, ce qui suggère que nous avons certainement manqué des espèces qui émergent à d'autres moments dans l'année. D'un point de vue spatial, cette étude ne s'est cadrée que dans la capitale belge dans des conditions d'urbanisation et climatiques qui lui sont propres. De ce fait, élargir cette étude à d'autres grandes villes (e.g. Paris, Berlin...) pourrait mettre en lumière d'autres espèces d'abeilles et guêpes terricoles nichant dans les revêtements urbains et qui présentent potentiellement des enjeux de conservation différents.

5.3. Analyse des revêtements et analyse granulométrique

Revêtement

Au vu du caractère neuf de l'étude des sites de nidification des espèces terricole sur trottoir, peu de ressources sont disponibles pour comparer nos résultats avec des études actuelles ou antérieures sur le sujet. C'est la raison pour laquelle un grand nombre d'hypothèses et de questions sont soulevées dans cette partie du document. Les analyses révèlent que la grande majorité des revêtements où nichent les abeilles solitaires sont composés de pavés en grès ou de dalles en béton. Cela suggère que l'épaisseur du pavage ainsi que son type affectent peu la préférence de sites de nidification, et ce toutes espèces confondues. Ces constatations posent de nombreuses questions. En effet, ces divergences d'épaisseur de pavages questionnent une éventuelle multiplicité des formes de galeries au sein du substrat. Même si nous avons pu déterminer la profondeur à laquelle nous avons trouvé des individus d'*Andrena barbilabris* à 20 et 27cm sur le site d'Etterbeek (Figure 20), les tunnels plongent-ils en profondeur à travers les différentes couches qui composent le trottoir ou s'étendent-ils sur les premiers centimètres sous le pavage ? De plus, nous pouvons nous demander si le choix de l'emplacement de nidification résulte d'une préférence pour les dalles en béton et les pavés en grès en particulier, ou si leur emplacement provient simplement d'une plus haute disponibilité de ces types de pavage sur le territoire régional. Notre étude n'a pas approfondi ces questions, mais elles mériteraient néanmoins des recherches ultérieures.

La totalité des sites présente une ouverture au niveau des joints, qui permet aux individus de creuser leur galerie. L'ouverture des joints observée résulte soit de l'absence pure et simple de matériau de jointoiement, soit de la présence de joints de type non lié, soit de la dégradation d'un joint de type lié (Centre de recherches routières, 2018). Lorsque des nids étaient observés sur des sites comportant des joints de type lié, on pouvait en effet observer simultanément que l'état général du revêtement était fort dégradé (car fort ancien) et que les joints rigides étaient en voie de fragmentation. Notons qu'en termes de confort et de stabilité, les structures continues (e.g. asphalte) et modulaires à joints étroits et de type lié sont actuellement les plus recommandées (Bruxelles Mobilité, 2019) et mettent donc en lumière un porte-à-faux entre les exigences de la Région de Bruxelles-Capitale en termes de mobilité, et les opportunités écologiques (installation de la faune, infiltration des eaux, etc.). Ce porte-à-faux avait déjà été identifié dans la commande de Bruxelles Environnement, et rapporté dans la synthèse bibliographique en début de projet (Noël *et al.*, 2020).

La présence de galeries au départ de joints rigides (i.e. joint fermé), mise en avant dans les résultats, est quant à elle plutôt étonnante. En effet, ces structures sont a priori complètement fermées et imperméabilisées, ne permettant pas la nidification des insectes. Dans le cahier de charges type de Bruxelles Mobilité (CCT 2015), la pose de dalles en béton peut être réalisée à plein bain de mortier, mais dans ce cas le jointoiement se fait au mortier (voir §F.4.1.2.2.2). Cette exigence exclut en principe la possibilité de nidification pour les insectes. Néanmoins, nous avons observé une nidification sur ce type de revêtement dans près de 20% des cas rapportés par la présente étude, ce qui peut être expliqué par la dégradation du joint rigide, permettant ainsi un accès aux matériaux sous-jacents, apparemment propices à la nidification (fondation en empierrement non lié). Nous



pouvons émettre plusieurs hypothèses quant à la raison de cette dégradation. D'une part, une piètre qualité du joint pourrait impacter la durabilité et la cohésion du matériau et le rendre plus enclin à une désagrégation lors de perturbations quelconques (fissurations par retrait, épisodes de gel/dégel...). D'autre part, l'ancienneté du joint pourrait également avoir une influence sur son état de détérioration actuelle. Enfin, la présence d'une fondation de type souple (non liée) combinée à une couche de pose de type rigide et imperméable peut mener à des désordres lors du passage de véhicules au niveau des voies de garage. Un autre scénario consiste à se demander si ces espèces terricoles participent à la dégradation des structures modulaires, et en particulier de leurs joints, si elles profitent opportunément de la présence d'une structure préalablement dégradée pour nicher, ou s'il s'agit d'une combinaison des deux hypothèses.

Comme évoqué dans la littérature, un revêtement dont les matériaux de jointoiment sont non-liés est théoriquement toujours couplé avec des couches sous-jacentes perméables et drainantes (i.e. sables, gravillons, empièrrements) afin d'éviter la stagnation de l'eau dans la structure et sa détérioration (Centre de recherches routières, 2018). Cette association de matériaux porte le nom de pose souple non-liée et concerne près de 80 % des sites rencontrés dans notre étude. Elle semble concorder avec les critères de choix de texture à tendance sableuse et de drainage du matériau pédologique généralement requis par les abeilles terricoles. En effet, comme le précise Wuellner (1999), un sol trop engorgé, inondé ou trop sec peut mettre à mal la capacité de survie des individus au stade larvaire et immature. La présence d'abeilles terricoles sur un même segment de trottoir depuis plusieurs années suggère toutefois un succès de reproduction et, par conséquent, que des conditions optimales de pérennisation des individus peuvent être trouvées au sein de ces revêtements urbains. Dans le cadre de ce travail, seule la granulométrie du sable présent à l'interface entre la couche de pose et la fondation a été étudiée, aussi pourrait-il se révéler intéressant d'étudier également la composition des autres matériaux, tant au niveau du joint que de la couche de pose et des autres strates qui composent le trottoir.

Les largeurs de joints usuellement rencontrées à Bruxelles varient de 1 mm à 1,5 cm en fonction de la forme du pavage et du diamètre maximum du matériau de jointoiment. Une augmentation de la largeur entre deux dalles ou pavés est susceptible de conduire à une dégradation du revêtement. Or, dans le cadre de nos observations, nous avons pu constater que les largeurs de joints accueillant des entrées de galeries oscillaient autour d'une moyenne plus large de 1,08 cm (avec un écart-type de 0,57 cm) sans réelle distinction entre les espèces ou les familles d'Apoïdes. Cela suggère que ces espèces d'abeilles et guêpes terricoles tendent à nicher dans des trottoirs à joints relativement larges au vu des standards utilisés. Par ailleurs, nos résultats nous montrent que la taille des joints n'est pas fonction de la taille des individus, ce qui sous-entend que les espèces terricoles n'ont pas de largeur préférentielle en fonction de leur taille. La limite morphologique pour que les apoïdes puissent passer à travers un diamètre donné correspond à la distance des extrémités de leur thorax (distance inter-tégulaire, ou ITD), qui est la partie la plus indurée de leur corps. L'ITD oscille entre 0,2 cm et 0,45 cm, ce qui est suffisant pour leur permettre de traverser les joints les moins larges.

Quant aux résultats relatifs à la localisation des sites sur le revêtement, ils nous ont permis de mettre en lumière des phénomènes jusqu'à présent non recensés (à notre connaissance) dans la littérature. En effet, bien que nos observations suggèrent que la majorité des individus nichent sur les trottoirs uniquement, nous avons également observé des sites de nidifications au niveau des pas (seuils) de maisons et des pas d'escaliers. Cette constatation s'accompagne d'une absence de joint le long de ces façades, ce qui permet un accès plus facile à la strate sableuse sous les trottoirs pour les espèces terricoles. Ce sont principalement les *Lasioglossum* spp. qui préfèrent nidifier dans ce type de localisation, ce qui leur permet également de bénéficier d'un réchauffement de l'entrée de leur nid par des rayonnements solaires touchant d'abord les façades des maisons. Nous pouvons nous interroger sur l'ampleur de ces phénomènes de nidification hors-trottoirs, sachant que notre formulaire portait l'attention en particulier sur les trottoirs et non sur ces localisations subsidiaires. Cette absence de joints le long des maisons est courante en ville, ce qui suggère que l'on a probablement sous-estimé la réelle abondance de ces halictidés en Région de Bruxelles-Capitale. Selon nos observations de terrain, ces halictidés seraient donc les principaux habitants de la strate sableuse sous les trottoirs. Il est donc hautement probable que la proportion de sites présents sur ces localisations insoupçonnées soient sous-estimée et bien plus importante que ce que révèlent nos chiffres.

L'ensemble des observations met en exergue que la minéralisation et le revêtement des surfaces en milieu urbain n'est pas toujours associée à une perte nette des possibilités de nidification, comme l'ont suggéré Cane (2006) et Fortel (2016) et leurs collègues. Au contraire, notre étude permet de mettre en évidence l'opportunité que peuvent représenter ces infrastructures construites en termes de ressources de nidification dans la ville. Nos observations tendent plutôt à confirmer l'hypothèse émise par Alain Pauly en 2019, qui stipule que les revêtements anciens – dont le sol présent sous les pavés est sableux et dont les joints ne sont pas cimentés – sont les plus accueillants pour les abeilles terricoles et par conséquent pour les guêpes terricoles également.

Analyse granulométrique

Les résultats de l'analyse granulométrique révèlent que les échantillons de tumuli prélevés correspondent tous à une texture de type « sableux » dans le triangle USDA. En effet, les échantillons sont composés en grande



majorité de sables (> 85 %) et, en faibles proportions, de limons, d'argiles et d'éléments grossiers. En référence à la nomenclature des sables de l'Association Internationale de la Science du Sol (1930), les échantillons contiennent une majorité de sables moyens, une proportion intermédiaire de sables grossiers, fins et très fins, ainsi qu'un faible taux de sables très grossiers. Cette classe de texture est cohérente avec les observations réalisées par Cane (1991) sur 32 espèces d'abeilles terricoles aux États-Unis, par Vereecken (2006) sur *Andrena vaga*, par Malyshev (1935) et Michez (2007) sur *Dasypoda hirtipes*, et par Falk (2015) sur les 6 espèces d'abeilles terricoles étudiées, qui tous stipulent que la nidification de ces espèces prend notamment place sur un sol à texture sableuse. Néanmoins, alors que ces auteurs relèvent une multitude de textures utilisées telles que les loams limoneux et les loams argileux pour Cane, les sols argilo-sableux également pour Vereecken ou encore des sols argileux également pour Michez, notre étude ne met en évidence qu'un seul et même type de texture utilisé par les abeilles pour creuser leurs galeries dans les revêtements en voiries. Ce qui signifie que la couche de pose pourrait être homogène à travers tous les trottoirs bruxellois (ce qui peut s'expliquer par la standardisation des pratiques et matériaux via le cahier de charges type pour les travaux de voiries). Favoriser une granulométrie sableuse et homogène dans les chantiers et réaménagements urbains ne ferait par ailleurs que sélectionner des espèces ou des populations préférant ce type de texture.

Par ailleurs, il pourrait se révéler intéressant de définir si cette tendance est généralisée aux populations urbaines, en comparant la granulométrie des matériaux extraits par les espèces urbaines sur trottoirs avec la granulométrie des sols utilisés par les mêmes espèces urbaines hors-trottoirs, ainsi que des excavats issus des populations de milieux ruraux et naturels. Notons que ces affirmations se basent sur l'hypothèse que les échantillons de tumuli sont représentatifs de l'ensemble de la matrice pédologique dans laquelle sont creusées les galeries. Étant donné l'absence (à notre connaissance) de littérature scientifique à ce sujet, il serait pertinent dans le futur de comparer la composition des tumuli avec l'ensemble de la composition du sol entourant les galeries pour confirmer ou infirmer cette hypothèse. En outre, certains paramètres tels que la couverture de végétation, le pourcentage de matière organique, le drainage, la température, l'exposition et l'aspect du sol n'ont pas été étudiés dans le cadre de ce travail, mais ont été identifiés par la littérature comme des facteurs impactant le choix des nids. Il serait donc intéressant d'étudier ultérieurement ces paramètres, d'évaluer les tendances globales et de comparer ces caractéristiques par espèce, afin d'augmenter les connaissances à ce sujet, peu fournies actuellement (Cope *et al.*, 2019; Antoine & Forrest, 2020). Encore moins d'études ont été réalisées sur les préférences édaphiques des guêpes sphéciformes, même si nos résultats montrent que ces espèces suivent les préférences granulométriques des abeilles terricoles. Citons tout de même l'ensemble de l'œuvre de Jacques Bitsch en 1997, 1999 et 2007 qui a centralisé les connaissances du comportement de nidification de ces espèces sphéciformes identifiées dans ce projet.

Mesures de confort du revêtement

Les résultats collectés montrent très clairement que les sites de nidification coïncident avec les zones où le revêtement présente un niveau de confort piéton insuffisant au regard des exigences de mobilité fixées par le plan régional Good Move. Ce manque de confort est lié à la combinaison de plusieurs facteurs : la largeur des joints, la non-planéité du revêtement et son état de dégradation.



6. CONCLUSIONS

Afin de localiser les phénomènes de nidification des abeilles solitaires en voiries au sein de la Région de Bruxelles-Capitale, différentes campagnes de recensement participatif ont été réalisées. Celles-ci nous ont permis de confirmer la localisation de **89 sites répartis sur quasi l'ensemble du territoire bruxellois**.

À notre grande surprise, une **biodiversité plus conséquente qu'attendue** nous attendait sur le terrain. Notre échantillonnage a permis d'élargir l'identification à d'autres hyménoptères volants, notamment des guêpes terricoles, mais également leurs guêpes parasitoïdes associées. Un total de **22 espèces nichant dans ces trottoirs** a été détecté, dont certaines qui pourraient faire l'objet d'enjeux de conservation à l'échelle régionale ou nationale.

Plusieurs types de bourgades ont également été identifiés. La plupart d'entre elles abritaient une seule et même espèce d'abeilles ou de guêpes, tandis que d'autres étaient composites, abritant à la fois des abeilles et des guêpes solitaires. Nous pensons que nous **sous-estimons** la réelle biodiversité entomologique de ce qui niche sous les trottoirs, ainsi que leur réelle incidence, car nous n'avons réalisé ici qu'une étude ponctuelle dans le temps et dans l'espace.

La couche de granulométrie **sableuse** sous le trottoir ainsi que **son accessibilité – conditionnée par la nature des joints** – semblent être les principaux facteurs d'influence du choix des sites de nidification pour ces espèces terricoles. De plus, nous confirmons que la **texture des échantillons des tumuli est similaire** à la texture des échantillons prélevés sur site directement sous le revêtement de trottoir. L'ensemble des excavats de nids prélevés sont de **texture sableuse** et contiennent en moyenne une proportion majoritaire de sables moyens (41,71 %), une proportion intermédiaire de sables fins (31,90 %), très fins (13,40 %) et grossiers (7,47 %) ainsi qu'un faible taux de particules de sables très grossiers (< 2,91 %).

La plupart des trottoirs rencontrés ont une largeur comprise **entre 2 et 3 mètres**. Les revêtements sont tous des revêtements modulaires, composés **de pavés en grès ou de dalles en béton**, dont **les joints mesurent en moyenne 1,08 cm** de largeur ; nous avons également observé des sites de nidification sur joints rigides dégradés.

Certains nids étaient localisés hors des trottoirs, situés à l'intersection des façades et trottoirs, au seuil de portes ou d'escaliers, tandis que d'autres se situaient dans des cours de maisons, des entrées de garages ou sur des voiries fréquentées par les voitures. Le non-jointement des pas de maisons, pour que certaines espèces aient un accès à la strate sableuse sous le trottoir, n'est pas vraiment envisageable en pratique, au vu des risques de dégradations et d'infiltration d'eau le long des façades.

Par ailleurs, nous avons également constaté lors de 2 mesures de confort effectuées sur des trottoirs que les sites de nidification coïncident avec les zones où le revêtement présente un **niveau de confort piéton insuffisant** au regard des exigences de mobilité fixées par le plan Good Move. Ces zones riches en biodiversité sont donc les zones les plus susceptibles d'être **réaménagées à court terme** par le gestionnaire de la voirie. **Ces réaménagements détruiront très probablement les nids et bourgades existantes.**



7. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS ET RECOMMANDATIONS DE L'ÉTUDE

Au vu de ces analyses, un trottoir accueillant pour les espèces terricoles est constitué de **pavés en grès ou de dalles en béton avec une largeur de joint non-lié d'1 cm** (Figure 24). Cependant le choix de la largeur de joints dépend de différents paramètres. Ainsi selon le cahier de charges type de 2015, le § F.4.1.2.2.2 exige pour les revêtements de dalles de béton une largeur de joints de 2 mm dans le cas de matériau non lié et le §F.3.1.1.2.5.1 exige une largeur de joint de maximum 10 mm pour les revêtements en pavés de pierre naturelle. De manière générale, les bonnes pratiques préconisent une largeur de joints la plus réduite possible, mais compatible avec le diamètre maximal du granulat utilisé. Il paraît donc difficile de modifier les exigences du cahier des charges type, celles-ci découlant des règles de bases pour garantir la durabilité du revêtement en termes de durée de vie.

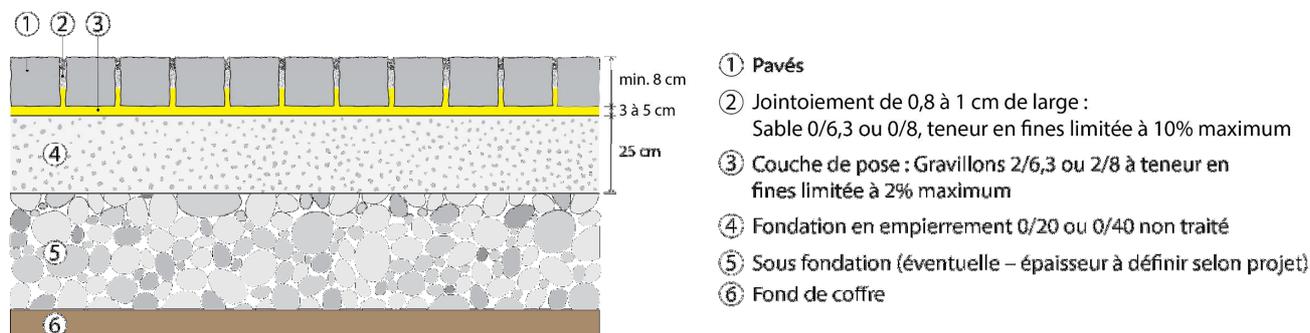


Figure 24 – Structure d'un trottoir type qui permettrait l'accueil des espèces d'Hyménoptères terricoles.

Ce trottoir accueillant les espèces terricoles n'est cependant qu'un archétype provenant des résultats de notre étude, nous concevons qu'il existe également des alternatives d'aménagement des revêtements urbains qui permettraient probablement d'accueillir de la biodiversité urbaine. Afin de potentiellement conserver cette biodiversité, il est important d'offrir une structure favorable à une nouvelle nidification. Concrètement sur les trottoirs (min. 2 m depuis les façades), ainsi que sur les cheminements naturels au sein des places et zones piétonnes, les revêtements à utiliser pour favoriser la nidification tout en tenant compte des contraintes en termes de durabilité et de confort du revêtement, sont les **revêtements modulaires en dalles de béton posés en mode souple (joints non liés) et non accessibles aux véhicules motorisés**. En dehors de ces zones, d'autres types de revêtements comme les pavés en pierre naturelle posés en mode souple avec des joints de par exemple 1 cm et non accessible aux véhicules motorisés peuvent également être utilisés. Dans tous les cas, le gestionnaire devra néanmoins être conscient que dès qu'un véhicule lourd circulera, même occasionnellement sur cette structure souple, celle-ci se dégradera rapidement.

Dans le cas des pavés de béton posés en mode souple et afin d'offrir une largeur de joint suffisante pour permettre aux abeilles de nicher, l'utilisation des **pavés bétons drainants à joints élargis est une piste à envisager**. Cependant ce type de revêtement n'est pas toujours propice au confort de l'utilisateur et il n'est pas certain que les abeilles apprécieront ces matériaux drainants généralement plus grossiers que ceux qui ont été étudiés, et par moments beaucoup plus humides. Avec ce type de revêtement traditionnellement déconseillé en aménagement de trottoir, des précautions doivent être prises pour éviter que l'eau ne s'infilte le long des façades et une étude de sol doit être réalisée au préalable (perméabilité, drainage). Cette option est à étudier. Des applications de pavés en béton préfabriqués avec joints végétalisés ont été réalisées récemment et mériteraient un suivi sur le plan de la biodiversité et sur le plan de la durabilité technique que ce type de revêtement peut offrir.

En termes de **pratiques d'entretien des revêtements urbains**, nous préconisons un arrachage des mauvaises herbes (même si celles-ci peuvent être source de pollen et de nectar pour les insectes) à une fréquence d'une à deux fois l'année (fin mai et/ou début août en fonction de la taille de la végétation) au moyen de techniques mécaniques de type débroussailluse. Nous ne recommandons pas l'utilisation de l'eau bouillante pour éradiquer les adventices, car de l'eau bouillante pourrait occasionner des dégâts dans les nids des espèces terricoles.

De plus, nous conseillons la mise en place de campagnes localisées de sensibilisation des habitants aux abeilles terricoles urbaines dans le but d'éviter les comportements de destruction des nids découlant d'une méconnaissance de l'écologie de ces espèces. Ces abeilles sont en effet solitaires et non dangereuses pour l'humain. Dans un même ordre d'idée, il serait intéressant d'assurer une continuité entre l'éventuelle sensibilisation « Streetbees » et les actions « fleurs de trottoir, balades botaniques urbaines » proposées par Bruxelles Environnement (ou toute autre initiative similaire) afin d'amorcer et de renforcer un changement de paradigme quant aux critères esthétiques de la ville (trottoirs « propres » et ville anthropocentrée vs trottoirs multifonctionnels et ville biocentrée).

Nous suggérons en outre la mise en place de nouvelles études pilotes visant à étudier la possibilité de concevoir des trottoirs multifonctionnels pouvant répondre simultanément aux enjeux de confort, durabilité, accueil de l'entomo-biodiversité et infiltration des eaux de pluie. Soit par le biais d'avancées technologiques permettant l'ouverture des joints et la présence d'un matériau de drainage pérennes dans le temps, soit par la différenciation



des trottoirs avec une zone centrale dédiée aux piétons (absence de joints ou joints fins) et une zone périphérique dédiée à l'accueil des abeilles et l'infiltration des eaux (joints larges, matériau drainant, végétalisé ou non), soit par la création et/ou le maintien d'une bande végétalisée périphérique aux revêtements tels qu'actuellement existants à Bruxelles (Figure 25), le long des façades et des aménagements en voiries.

De telles observations ouvrent la voie à de nombreuses recherches dans le domaine de l'écologie urbaine.



Figure 25 – Trottoirs présents dans la commune d'Uccle qui disposent de parterres enherbés ou sans végétation permettant l'accueil des espèces d'Hyménoptères terricoles.

8. PRODUCTION SCIENTIFIQUE ET RAYONNEMENT DE L'ÉTUDE

Au terme de cette étude, plusieurs productions et communications vulgarisées et scientifiques ont été réalisées. Nous listons :

- La synthèse bibliographique remise au printemps 2020 (Noël *et al.*, 2020).
- Le travail de fin d'étude de Violette Van Keymeulen suite à son stage à Bruxelles Environnement (2020).
- Des publications temporaires sur le site de Bruxelles Environnement pour la campagne d'inventaire participatif, relayées par certaines institutions communales ou régionales.
- Une communication présentée lors du concours AIGx 2020 le 05/11/2020 sur « Préférences écologiques des abeilles solitaires sur revêtement urbain : format Pecha Kucha » (Van Keymeulen, 2020b).
- Une présentation des avancées du projet au laboratoire d'Entomologie Fonctionnelle et Evolutive en Octobre 2020 par G. Noël.
- Une publication par le Centre de recherches routières (newsletter juin-juillet-août 2021).
- Une communication orale lors du Groupe de Recherche Pollineco effectuée en Novembre 2021 à Toulouse
- Un pre-print scientifique des résultats principaux de la recherche effectuée, disponible ici <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2021.12.15.472743v1>
- Une présentation prévue lors du Congrès belge de la route en avril 2022 (V. Van Keymeulen).

Afin de faire rayonner au niveau international cette étude, certains éléments feront l'objet de plusieurs publications scientifiques dans des revues à comité de lecture.



9. BIBLIOGRAPHIE

- ACEVES-BUENO E., ADELEYE A.S., FERAUD M., HUANG Y., TAO M., YANG Y. & ANDERSON S.E. 2017: The accuracy of citizen science data: A quantitative review. — *Bull. Ecol. Soc. Am.* **98**: 278–290.
- AHRNÉ K., BENGTTSSON J. & ELMQVIST T. 2009: Bumble bees (*Bombus* spp.) along a gradient of increasing urbanization. — *PLoS One* **4**: e5574.
- ANTOINE C.M. & FORREST J.R.K. 2020: Nesting habitat of ground-nesting bees: a review. — *Ecol. Entomol.* **46**: 143–159.
- BANASZAK-CIBICKA W. & ŽMIHORSKI M. 2012: Wild bees along an urban gradient: Winners and losers. — *J. Insect Conserv.* **16**: 331–343.
- BITSCH J., BARBIER Y., GAYUBO S.F., SCHMIDT K. & OHL M. 1997: Hyménoptères Sphecidae d'Europe Occidentale - Volume 2. Faune de France, 429 pp.
- BITSCH J., DOLLFUSS H., BOUCEK Z., SCHMIDT K., SCHMID-EGGER C., GAYUBO S.F., ANTROPOV A. V. & BARBIER Y. 2007: Hyménoptères Sphecidae d'Europe Occidentale - Volume 3. Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles, 480 pp.
- BITSCH J. & LECLERCQ J. 1993: Hyménoptères Sphecidae d'Europe Occidentale - Volume 1. Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles, 325 pp.
- BOGUSCH P. 2003: Biologie vybraných druhů kleptoparazitických včel (Hymenoptera: Apocrita, Apoidea). [Biology of selected cuckoo bee species (Hymenoptera: Apocrita, Apoidea)]. Charles University in Prague, .
- CANE J.H. 1991: Soils of ground-nesting bees (Hymenoptera: Apoidea): Texture, moisture, cell depth and climate. — *Source J. Kansas Entomol. Soc.* **64**: 406–413.
- CANE J.H., MINCKLEY R.L., KERVIN L.J., ROULSTON T.H. & WILLIAMS N.M. 2006: Complex responses within a desert bee guild (Hymenoptera: Apiformes) to urban habitat fragmentation. — *Ecol. Appl.* **16**: 632–644.
- CENTRE DE RECHERCHES ROUTIERES. 2018: Exigences performantielles de matériaux de jointoiement pour revêtements modulaires.
- CHEN G., KÉRY M., PLATTNER M., MA K. & GARDNER B. 2013: Imperfect detection is the rule rather than the exception in plant distribution studies. — *J. Ecol.* **101**: 183–191.
- COPE G.C., CAMPBELL J.W., GRODSKY S.M. & ELLIS J.D. 2019: Evaluation of nest-site selection of ground-nesting bees and wasps (Hymenoptera) using emergence traps. — *Can. Entomol.* **151**: 260–271.
- CORON C., CALENGE C., GIRAUD C. & JULLIARD R. 2018: Bayesian estimation of species relative abundances and habitat preferences using opportunistic data. — *Environ. Ecol. Stat.* **25**: 71–93.
- DORAZIO R.M. 2014: Accounting for imperfect detection and survey bias in statistical analysis of presence-only data. — *Glob. Ecol. Biogeogr.* **23**: 1472–1484.
- DROSSART M., RASMONT P., VANORMELINGEN P., DUFRÈNE M., FOLSCHWEILLER M., PAULY A., VERECKEN N.J., VRAY S., ZAMBRA E., D'HAESELEER J., ET AL. 2019: Belgian Red List of bees. 140 pp.
- FALK S. 2015: Field Guide to the Bees of Great Britain and Ireland. Bloomsbury Publishing, London, 432 pp.
- FORTEL L., HENRY M., GUILBAUD L., GUIRAO A.L., KUHLMANN M., MOURET H., ROLLIN O. & VAISSIÈRE B.E. 2014: Decreasing abundance, increasing diversity and changing structure of the wild bee community (Hymenoptera: Anthophila) along an urbanization gradient. — *PLoS One* **9**: e104679.
- FORTEL L., HENRY M., GUILBAUD L., MOURET H. & VAISSIÈRE B.E. 2016: Use of human-made nesting structures by wild bees in an urban environment. — *J. Insect Conserv.* **20**: 239–253.
- GEZON Z., WYMAN E., ASCHER J.S., GEZON Z.J., WYMAN E.S., ASCHER J.S. & INOUE D.W. 2015: The effect of repeated, lethal sampling on wild bee abundance and diversity. — *Methods Ecol. Evol.*
- GIRAUD C., CALENGE C., CORON C. & JULLIARD R. 2016: Capitalizing on opportunistic data for monitoring relative abundances of species. — *Biometrics* **72**: 649–658.
- GUÉLAT J. & KÉRY M. 2018: Effects of spatial autocorrelation and imperfect detection on species distribution models. — *Methods Ecol. Evol.* **9**: 1614–1625.
- HAESELER V. & SCHMIDT K. 1984: Rote Liste der Grabwespen (Sphecoidea). Rote Liste des gefährdeten Tiere und Pflanzen in der Bundesrepublik Deutschland. pp. 47–49.
- HALL D.M., CAMILO G.R., TONNETTO R.K., OLLERTON J., AHRNÉ K., ARDUSER M., ASCHER J.S., BALDOCK K.C.R., FOWLER R., FRANKIE G., ET AL. 2017: The city as a refuge for insect pollinators. — *Conserv. Biol.* **31**: 24–29.
- HERNANDEZ J.L., FRANKIE G.W. & THORP R.W. 2016: Ecology of urban bees: A review of current knowledge and directions for future study. — *Cities Environ.* **2**: 1–15.
- KENDALL L.K., RADER R., GAGIC V., CARIVEAU D.P., ALBRECHT M., BALDOCK K.C.R., FREITAS B.M., HALL M., HOLZSCHUH A., MOLINA F.P., ET AL. 2019: Pollinator size and its consequences: Robust estimates of body size in pollinating insects. — *Ecol. Evol.* **9**: 1702–1714.
- KÉRY M., DORAZIO R.M., SOLDAAT L., VAN STRIEN A., ZUIDERWIJK A. & ROYLE J.A. 2009: Trend estimation in populations with imperfect detection. — *J. Appl. Ecol.* **46**: 1163–1172.
- LECLERCQ J. 1973: Statistique et destin des guêpes et des abeilles solitaires de l'entre-Vesdre-et-Meuse (Liège, sa banlieue orientale et le Pays-de-Hervé). — *Natuurhistorich Maanbl.* **62**: 159–168.
- MALYSHEV S.I. 1935: The nesting habits of solitary bees: A comparative study. 108 pp.
- MICHEZ D. 2007: Monographic revision of the Melittidae s. l. (Hymenoptera: Apoidea: Dasypodidae, Meganomiidae, Melittidae).
- MOURET H., CARRE G., ROBERTS S.P.M., MORISON N. & VAISSIÈRE B.E. 2007: Mise en place d'une collection d'abeille (Hymenoptera, Apoidea) dans le cadre d'une étude de la biodiversité. — *Osmia* **1**: 8–15.



- NEWMAN G., CHANDLER M., CLYDE M., MCGREAVY B., HAKLAY M., BALLARD H., GRAY S., SCARPINO R., HAUPTFELD R., MELLOR D., *ET AL.* 2017: Leveraging the power of place in citizen science for effective conservation decision making. — *Biol. Conserv.* **208**: 55–64.
- NIETO A., ROBERTS S.P.M., KEMP J., RASMONT P., KUHLMANN M., CRIADO M.G., BIESMEIJER J.C., BOGUSCH P., DATHE H.H., RÚA P.D. LA, *ET AL.* 2014: European Red List of Bees. 98 pp.
- NOËL G., VAN KEYMEULEN V., VAN DAMME O., SMETS S. & FRANCIS F. 2020: Synthèse bibliographique : STREETBEES - Clauses techniques pour l'aménagement de trottoirs et revêtements permettant l'accueil d'abeilles sauvages terricoles.
- OLLERTON J., WINFREE R. & TARRANT S. 2011: How many flowering plants are pollinated by animals? — *Oikos* **120**: 321–326.
- PAULY A. 2019: Contribution à l'inventaire des abeilles sauvages de la Région de Bruxelles-Capitale et de la Forêt de Soignes (Hymenoptera: Apoidea). — *Belgian J. Entomol.* **79**: 1–160.
- POTTS S.G., BIESMEIJER J.C., KREMEN C., NEUMANN P., SCHWEIGER O. & KUNIN W.E. 2010: Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. — *Trends Ecol. Evol.* **25**: 345–353.
- POTTS S.G. & WILLMER P. 1997: Abiotic and biotic factors influencing nest-site selection by *Halictus rubicundus*, a ground-nesting halictine bee. — *Ecol. Entomol.* **22**: 319–328.
- RASMONT P. & HAUBRUGE É. 2002: URL: <http://www.atlashymenoptera.net/default.aspx>.
- REGION DE BRUXELLES CAPITALE 2015 : CCT2015 – cahier de Charges Type relatif aux voieries en Région de Bruxelles Capitale
- RENNER I.W., ELITH J., BADDELEY A., FITHIAN W., HASTIE T., PHILLIPS S.J., POPOVIC G. & WARTON D.I. 2015: Point process models for presence-only analysis. — *Methods Ecol. Evol.* **6**: 366–379.
- ROYLE J.A., NICHOLS J.D. & KÉRY M. 2005: Modelling occurrence and abundance of species when detection is imperfect. — *Oikos* **110**: 353–359.
- VAN KEYMEULEN V. 2020a: Travail de de fin d'études : Préférences écologiques des abeilles solitaires sur revêtements urbains Université de Liège, Liège, Belgique, .
- VAN KEYMEULEN V. 2020b: Préférences écologiques des abeilles solitaires sur revêtement urbain : format Pecha Kucha.1.
- VEGTER K. 1993: Gastheren van enige soorten Sphecodes in Drenthe (Hymenoptera: Apidae). — *Entomol. Ber.* **53**: 67–70.
- VEREecken N., TOFFIN E., GOSSELIN M. & MICHEZ D. 2006: Observations relatives à la biologie et la nidification de quelques abeilles sauvages psammophiles d'intérêt en Wallonie. 1. Observations printanières. — *Parcs Reserv.* **61**: 12–20.
- VEREecken N.J., WEEKERS T., MARSHALL L., D'HAESELEER J., CUYPERS M., VANORMELINGEN P., PAULY A., PASAU B., LECLERCQ N., TSHIBUNGU A., *ET AL.* 2021: Five years of citizen science and standardized field surveys reveal a threatened urban Eden for wild bees in Brussels, Belgium. — *Insect Cons. and Div.* **14**:868-876
- WARTON D.I., RENNER I.W. & RAMP D. 2013: Model-Based Control of Observer Bias for the Analysis of Presence-Only Data in Ecology. — *PLoS One* **8**: e79168.
- WITT R. 1992: Zur Bionomie der Sandbiene *Andrena barbilabris* (Kirby 1802) und ihrer Kuckucksbienen *Nomada alboguttata* Herrich-Schäffer 1839 und *Sphecodes pellucidus* Smith 1845. — *Drosera* **1**: 47–81.
- WUELLNER C.T. 1999: Nest site preference and success in a gregarious, ground-nesting bee *Dieunomia triangulifera*. — *Ecol. Entomol.* **24**: 471–479.
- YOCCOZ N.G., NICHOLS J.D. & BOULINIER T. 2001: Monitoring of biological diversity in space and time. — *Trends Ecol. Evol.* **16**: 446–453.



INFO



**bruxelles
environnement**
.brussels 

02 775 75 75

WWW.ENVIRONNEMENT.BRUSSELS