

Relations plantes-insectes au sein et aux abords des murs végétaux

Auteur : Forget, Laetitia

Promoteur(s) : Mahy, Grégory; Boisson, Sylvain

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master en bioingénieur : gestion des forêts et des espaces naturels, à finalité spécialisée

Année académique : 2020-2021

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/13089>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative" (BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

RELATIONS PLANTES-INSECTES AU SEIN ET AUX ABORDS DES MURS VÉGÉTAUX.

FORGET LAETITIA

TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER BIOINGÉNIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS.

ANNÉE ACADEMIQUE 2020-2021

CO-PROMOTEURS : Dr. SYLVAIN BOISSON, Pr. GRÉGORY MAHY

© Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech.

Le présent document n'engage que son auteur.

RELATIONS PLANTES-INSECTES AU SEIN ET AUX ABORDS DES MURS VÉGÉTAUX.

FORGET LAETITIA

TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER BIOINGÉNIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS.

ANNÉE ACADÉMIQUE 2020-2021

CO-PROMOTEURS : Dr. SYLVAIN BOISSON, Pr. GRÉGORY MAHY

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont soutenue et aidée dans la réalisation de ce mémoire.

Je remercie tout particulièrement mes co-promoteurs, le Professeur Grégory Mahy et le Docteur Sylvain Boisson, pour leur disponibilité, leur enthousiasme, leur accompagnement et leurs conseils avisés tout au long de ce travail de fin d'études.

Ce fût un réel plaisir de travailler avec vous !

Merci à Lucas Contino et Alice Delmée pour les agréables moments passés ensemble sur le terrain. Merci Lucas pour ton aide technique mais aussi pour ton aide à l'identification.

Un grand merci à tous les membres de l'équipe de l'unité « Biodiversité et Paysages » pour leur dynamisme et leur accueil. Je tiens à remercier particulièrement Anna Delruelle d'avoir pris le temps d'écouter et de répondre à mes nombreuses questions. Merci pour ta bienveillance et ta gentillesse.

Je remercie le Professeur Frédéric Francis ainsi que Grégoire Noël et Julie Bonnet pour leurs conseils et leur aide à l'identification. Je remercie également Cynthia Thomas et Jeannine Bortels pour le prêt de matériel.

Je souhaite remercier Monsieur Mat et toute l'équipe du Centre culturel de Gembloux pour leurs partages et leur collaboration.

Ce travail signe l'aboutissement de mes cinq années d'études. C'est pourquoi je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont accompagnées.

Merci à l'ensemble du corps professoral de la Faculté de Gembloux Agro-Bio Tech pour la qualité de leur enseignement.

Merci à l'équipe Vagalume pour l'énergie transmise, les riches échanges et les beaux projets réalisés ensemble.

Un immense merci à vous mes ami.es, mes colocataires et à toi Pierre, sans qui la vie gembloutoise n'aurait pas été aussi enrichissante et palpitante. Vous avez été ma principale source de motivation et de bonne humeur durant ces années.

Je dédie ces dernières lignes de remerciement à mes très chers parents et à ma famille. Merci pour vos encouragements et votre soutien durant la réalisation de ce mémoire mais également durant ces cinq années d'études. Merci de m'avoir toujours soutenue dans mes choix de vie.

Abstract

Today, the expansion of cities, the fragmentation of natural landscapes and the biodiversity crisis are well-known phenomena that must be addressed. One of the many possible solutions is the implementation of green infrastructure in cities, such as green walls. These green wall systems are often touted for their support of biodiversity, yet very few studies have actually been conducted on the subject.

This thesis deals with biotic interactions and more specifically with plant-insect interactions taking place in green wall systems. The objective is to study these interactions while characterising the overall entomofaunal and floral diversity present on the green wall of the Cultural Centre of the city of Gembloux. An interest is also shown in the insertion and contribution of this wall in the city's green network.

To this end, pan traps were placed and observations were made on the wall of the ATRIUM57 and in the vegetated ecosystems located in the vicinity.

In general, the results of this study on the green wall of the ATRIUM57 indicate a low presence of floral visitors. The choice of floral species, their distribution within the wall, but also the orientation of the facade or the environment in which the wall is inserted are all elements that impact this presence/absence.

This thesis suggests new avenues for future research and proposes that this research be carried out over a longer period of time in order to better understand the potential that green walls can offer as supports for biodiversity.

Résumé

Aujourd’hui, l’expansion des villes, la fragmentation des paysages naturels, la crise de la biodiversité sont des phénomènes bien connus auxquels il faut faire face. Une des nombreuses solutions envisageables est celle de l’implantation en ville d’infrastructures vertes telles que les murs végétaux. Ces systèmes de murs végétalisés sont souvent vantés pour leur soutien à la biodiversité et cependant, très peu d’études ont réellement été menées sur le sujet.

Ce mémoire traite des interactions biotiques et plus particulièrement des interactions plantes-insectes se déroulant dans les systèmes de murs végétalisés. L’objectif est d’étudier ces interactions tout en caractérisant de manière globale la diversité entomofaunique et florale présente sur le mur vert du Centre culturel de la ville de Gembloux. Un intérêt est porté également sur l’insertion et la contribution de ce mur dans le maillage vert de la ville.

Pour se faire, des pièges ont été placés et des observations ont été effectuées sur le mur de l’atrium57 et dans les écosystèmes végétalisés situés aux alentours.

De manière générale, les résultats obtenus dans le cadre de cette étude réalisée sur le mur végétalisé de l’atrium57 indiquent une faible présence de visiteurs floraux. Le choix des espèces florales, leur répartition au sein du mur mais aussi l’orientation de la façade ou encore le milieu dans lequel le mur s’insère sont autant d’éléments impactant cette présence/absence.

Ce mémoire suggère de nouvelles pistes pour de futures recherches et propose que celles-ci soient réalisées sur une plus longue période afin de mieux cerner le potentiel que peuvent offrir les murs végétalisés en tant que supports à la biodiversité.

Table des matières

RELATIONS PLANTES-INSECTES AU SEIN ET AUX ABORDS DES MURS VÉGÉTAUX.....	1
Remerciements	5
Abstract	7
Résumé.....	8
1. Etat de l'art	13
1.1. Contexte général	13
1.2. Les systèmes de murs végétalisés	14
1.2.1. Définition et caractéristiques.....	14
1.2.2. Les murs végétalisés comme support à la biodiversité et plus particulièrement aux polliniseurs.	15
1.3. Les interactions plantes-insectes	17
1.3.1. Les polliniseurs : intérêts, caractéristiques et menaces.....	17
1.3.2. Effet de l'urbanisation sur les polliniseurs.....	18
1.3.3. Réseaux d'interaction plantes-polliniseurs.....	18
1.3.4. Traits et facteurs influençant la pollinisation	19
2. Contexte de l'étude	22
3. Objectifs.....	24
4. Matériels et méthodes	26
4.1. Etude de la diversité des visiteurs floraux et de leurs interactions au sein du mur végétalisé du Centre culturel de la ville de Gembloux.....	26
4.1.1. Site d'étude.....	26
4.1.2. Dispositif d'étude.....	26
4.1.3. Conditions climatiques lors de l'étude.....	28
4.1.4. Récolte des données.....	28
■ Caractérisation de la diversité globale d'insectes présente à l'échelle du mur et détermination des facteurs influençant cette diversité.	28
■ Analyse des ressources florales fournies par le mur végétalisé du Centre culturel de la ville de Gembloux et détermination des facteurs influençant ces ressources florales.....	30
■ Etude des interactions plantes-polliniseurs permettant d'établir un réseau de polliniseurs à l'échelle du mur	30
4.1.5. Choix des méthodes d'analyse des résultats	32

4.2. Etude de la contribution du mur végétalisé de l'ATRIUM57 à la biodiversité entomofaunique de la ville de Gembloux.....	33
4.2.1. Comparaison des visiteurs floraux du mur végétalisé de l'ATRIUM57 avec ceux présents dans les différents écosystèmes végétalisés entourant ce mur.....	33
4.2.1.1. Site d'étude	33
4.2.1.2. Récolte des données	35
4.2.1.3. Choix des méthodes d'analyse des résultats.....	36
4.2.2. Comparaison des visiteurs floraux du mur végétalisé de l'ATRIUM57 avec ceux présents à l'échelle de la ville de Gembloux	37
4.2.2.1. Choix des méthodes d'analyse des résultats	37
5. Résultats	38
5.1. Etude de la diversité des visiteurs floraux et de leurs interactions au sein du mur végétalisé du Centre culturel de la ville de Gembloux.....	38
5.1.1. Caractérisation de la diversité globale d'insectes présente à l'échelle du mur et détermination des facteurs influençant cette diversité.	38
5.1.2. Analyse des ressources florales fournies par le mur végétalisé du Centre culturel de la ville de Gembloux et détermination des facteurs influençant ces ressources florales.	41
5.1.3. Étude des interactions plantes-polliniseurs permettant d'établir un réseau de polliniseurs à l'échelle du mur.....	45
5.2. Etude de la contribution du mur végétalisé de l'ATRIUM57 à la biodiversité entomofaunique de la ville de Gembloux.....	47
5.2.1. Comparaison des visiteurs floraux du mur végétalisé de l'ATRIUM57 avec ceux présents dans les différents écosystèmes végétalisés entourant ce mur.....	47
5.2.2. Comparaison des visiteurs floraux du mur végétalisé de l'ATRIUM57 avec ceux présents à l'échelle de la ville de Gembloux.	49
6. Discussion générale	50
❖ Principales forces et faiblesses de l'étude.....	52
❖ Pistes et recommandations pour une amélioration	53
7. Contribution personnelle	54
8. Conclusion et perspectives.....	55
9. Bibliographie.....	57
10. Annexes	64
❖ Annexe 1.....	64
❖ Annexe 2.....	65
❖ Annexe 3.....	66
❖ Annexe 4.....	68
❖ Annexe 5.....	69

1. Etat de l'art

1.1. *Contexte général*

Actuellement, l'urbanisation est un phénomène omniprésent dans nos sociétés. Selon les prédictions, l'étendue urbaine à l'échelle mondiale augmentera de 185 % d'ici 2030 par rapport à l'an 2000. Ce chiffre comprend la probabilité que plus de 5,87 millions de km² de terres seront converties en zones urbaines et que 1,2 million de km² de villes déjà existantes continueront à s'étendre (Seto, Güneralp and Hutyra, 2012). Cette croissance rapide est principalement due à l'augmentation de la population mondiale et au déplacement d'un grand nombre de personnes vers les milieux urbains (Bhatta, 2010; Chen *et al.*, 2020).

Malheureusement de nombreux inconvénients sont liés aux villes et à leur croissance. Un des problèmes majeurs est celui de la fragmentation des paysages et de la réduction des surfaces au sein des villes pouvant laisser place à des écosystèmes végétalisés (Bernier, 2011).

Nous assistons déjà depuis plusieurs années à une crise de la biodiversité (Barnosky *et al.*, 2011). A l'échelle des villes, il n'y a souvent que peu d'espaces permettant à la biodiversité de se développer. C'est pourquoi aujourd'hui, différentes possibilités existent pour modifier et repenser nos villes afin de parvenir à leur trouver un fonctionnement durable et d'en faire un environnement plus accueillant à la biodiversité et plus résistant aux changements climatiques (Mayrand and Clergeau, 2018).

Une des nombreuses solutions envisagées pour tenter d' enrayer la perte de biodiversité est celle de l'implantation d'infrastructures vertes. La première partie de cet état de l'art se focalise plus particulièrement sur les murs végétalisés. De fait, ils sont une source d'habitats pour la faune et la flore. Ils servent aussi de corridors pour la dispersion et le déplacement des espèces entre les espaces verts au sein de villes mais également entre l'environnement urbain et sub-urbain (Mayrand and Clergeau, 2018). Ils prennent place dans le maillage vert de la ville.

Dans le cadre de ce mémoire, ce sont plus particulièrement les interactions plantes-insectes/plantes-pollinisateurs au sein des murs végétalisés qui seront étudiées. C'est pourquoi la deuxième partie de cet état de l'art leur est dédiée.

1.2. Les systèmes de murs végétalisés

1.2.1. Définition et caractéristiques

Aujourd’hui, les murs végétalisés sont souvent vus comme des infrastructures permettant d’amener de la nature en ville. Cependant, cette vision des murs végétaux en tant qu’apport environnemental n’apparaît qu’à partir des années 1980. Pourtant, cela fait déjà plus de deux millénaires que les premiers murs verts sont apparus dans le bassin méditerranéen. Ceux-ci étaient principalement formés par des vignes et servaient d’apport en nourriture tout en fournissant de l’ombre (Dunnett and Kingsbury, 2008; Köhler, 2008).

De manière générale, les murs végétaux sont définis comme l’ensemble de systèmes permettant la croissance de plantes le long d’une surface verticale (Bernier, 2011; Mayrand and Clergeau, 2018).

Les murs végétaux peuvent être divisés en deux grands types : les façades vertes (green facades) et les murs vivants (living wall).

Les façades vertes reprennent les systèmes formés de plantes grimpantes plantées directement dans le sol ou dans un support et se développant le long d’un mur ou d’un treillis. Les murs vivants ou murs végétaux sont quant à eux formés de modules contenant du substrat dans lequel les plantes se développent. Dans ce cas, les plantes ne sont pas forcément des plantes grimpantes. Dans le cadre de ce mémoire, l’étude se fera sur un mur de type « modular living wall system » (Figure 1). (Hadba, Mendonça and Silva, 2017)

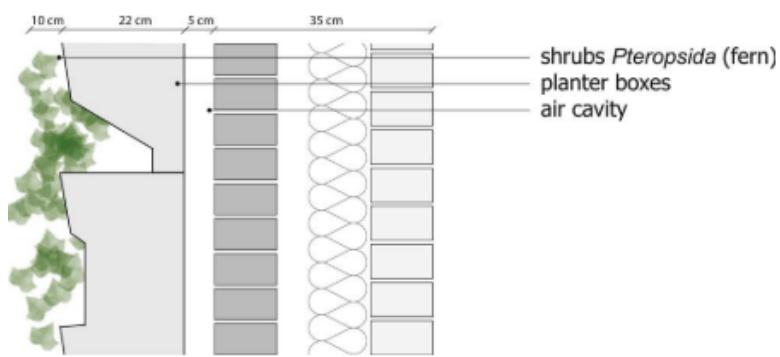


Figure 1. Modular Living wall system.

Les murs végétaux sont intéressants car ils peuvent contribuer à apporter de la végétation en ville tout en palliant le manque de surfaces horizontales. Il est cependant à noter que toutes les surfaces verticales ne sont pas aptes à accueillir une structure verte. Les techniques sont encore à perfectionner. Les surfaces verticales et l’aspect 3D des villes en tant que potentielles zones d’implantation de végétation ont très longtemps été ignorées/oubliées (Bernier, 2011; Chen et al., 2020).

De nombreux autres avantages peuvent également être attribués aux murs végétalisés. Au-delà de l'aspect esthétique, la présence de végétation le long de murs peut jouer un rôle d'isolant thermique et acoustique. Les murs végétaux sont partie prenante dans la purification de l'air, la gestion de l'eau, mais aussi dans la diminution de l'effet des îlots de chaleur en milieu urbain. Un grand nombre d'avantages pourraient encore être cités, mais celui qui nous intéresse plus particulièrement est celui de support à la biodiversité et d'ainsi garantir une certaine durabilité environnementale au sein des villes. En effet, les murs végétaux peuvent servir d'habitats et de sources d'alimentation pour les oiseaux, les insectes et toute une série d'espèces (Bernier, 2011; Boisson *et al.*, 2020). Cet aspect sera abordé plus en détail au point suivant.

Malgré leurs nombreux avantages, il est à noter que les murs végétaux ont tout de même quelques aspects négatifs : leur coût est souvent conséquent et ils demandent également un certain entretien.

1.2.2. Les murs végétalisés comme support à la biodiversité et plus particulièrement aux pollinisateurs

Les espaces verts dans les villes sont souvent isolés les uns des autres (Lepczyk *et al.*, 2017) et jouent dès lors un rôle peu important dans le maintien de la biodiversité urbaine. Il est donc nécessaire de mettre en place des projets de verdissement des villes en augmentant la taille ou le nombre des espaces verts (Commission européenne, 2014). Les murs verts en tant que structures artificielles participent à ce verdissement des villes et servent de corridors écologiques facilitant la dispersion des espèces (Bernier, 2011).

Il a été montré que les toitures vertes jouent un rôle de support à la biodiversité en ville (Brenneisen, 2006; Madre *et al.*, 2014; Williams *et al.*, 2014). Cependant, étant isolées du sol, les bénéfices qu'elles fournissent sont limités (Francis, 2011). Les murs verts peuvent dès lors potentiellement servir de lien entre les espaces verts du sol et les toitures vertes présentes dans les villes (Francis, 2011; Mayrand *et al.*, 2018) et augmenter ainsi le potentiel d'accueil et de support à la biodiversité.

Il est important de noter que très peu d'études ont été réalisées jusqu'à présent sur les murs végétalisés et encore moins sur le lien entre les murs verts et la biodiversité. Seulement cinq études ont été trouvées (Chiquet, Dover and Mitchell, 2013; Madre *et al.*, 2015; Mayrand and Clergeau, 2018; Mayrand *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2020)

Les murs végétaux s'inscrivent dans une optique de développement durable de par leur influence à l'échelle locale, mais aussi globale. Cependant, pour s'inscrire totalement dans cette démarche, il est important de faire attention au choix des espèces plantées. Il est dès lors pertinent de garder une certaine cohérence en choisissant des espèces similaires à celles présentes dans les habitats naturels environnant les sites dans lesquels sont placés ces murs. Le choix de planter des espèces végétales indigènes permet de favoriser les espèces animales indigènes, de servir de lien avec les espaces naturels existants et de participer à la mise en avant des espèces locales (Perini and Rosasco, 2013; Boisson *et al.*, 2020; Bruxelles, 2020). Il faut cependant faire attention à ce que les végétaux soient adaptés aux systèmes de murs végétaux qui forment un biotope avec des conditions particulières (peu de substrat, sujet à la sécheresse, ...) (Dunnett and Kingsbury, 2008).

Dans la littérature, les études sur l'entomofaune retrouvée dans les murs végétaux sont quasi inexistantes. Seule l'étude de Madre *et al.* (2015) s'intéressant aux arthropodes et aux coléoptères dans les façades végétalisées a été trouvée. De cette étude, il ressort que la taille des murs végétalisés, quel que soit le type, n'affecte pas la richesse spécifique d'arthropodes présents en leur sein. Par contre, les microclimats ont une influence sur la richesse et la composition des communautés présentes. Les murs végétalisés implantés sur des bâtiments d'une hauteur supérieure à cinq étages peuvent également connaître des différences en termes d'abondance en arthropodes selon leur hauteur (MacIvor, 2016).

Bien que l'intérêt du grand public et de la communauté scientifique pour ces « nouvelles » infrastructures vertes ne cesse de croître, le potentiel des murs verts comme supports aux pollinisateurs reste donc un sujet encore non exploré dans la littérature scientifique. Seule une étude privée réalisée par un organisme luxembourgeois, Sound Ecology, a pu être identifiée sur ce sujet (Kayser, 2021).

1.3. *Les interactions plantes-insectes*

1.3.1. *Les polliniseurs : intérêts, caractéristiques et menaces.*

Les polliniseurs sont l'ensemble des organismes vivants effectuant l'action de pollinisation. La pollinisation par les animaux joue un rôle important dans la reproduction d'un grand nombre de plantes. En effet, les animaux permettent le transport du pollen de fleur en fleur (vers les stigmates des plantes). Ils interviennent dans la pollinisation de 87.5% des plantes à fleurs (angiospermes) (Ollerton, Winfree and Tarrant, 2011; Rader *et al.*, 2016; Baldock, 2020).

Au sein des polliniseurs se retrouve toute une série d'insectes tels que des abeilles, des abeilles sauvages mais aussi des fourmis ou encore des guêpes dans la famille des hyménoptères. À ces insectes s'ajoutent certains diptères comme par exemple les syrphes, des lépidoptères et même quelques coléoptères. Au-delà des insectes, certains oiseaux et même des chauves-souris participent à la pollinisation (Rader *et al.*, 2016).

Lorsqu'il est question de pollinisation entomogame, ce sont principalement les polliniseurs compris dans le clade Antophila (abeilles sauvages, bourdons, abeilles domestiques) mais aussi les syrphes qui sont considérés comme participant majoritairement à la pollinisation.

Les abeilles domestiques font partie de la famille des Apidae et se distinguent des abeilles sauvages par leur morphologie et leur comportement. Ce sont des individus eusociaux qui ont la capacité de ramener du pollen à la ruche grâce à leur morphologie (ils possèdent des corbiculae) (Falk, 2015).

Les abeilles sauvages sont reprises dans plusieurs familles, celles des Apidae, Halictidae, Colletidae, Megachilidae, Andrenidae, Mellitidae. Divers comportements sont observés chez les abeilles sauvages qui peuvent être, selon les espèces, solitaires, parasitiques ou eusociales (Falk, 2015). Les abeilles sauvages sont généralement plus efficaces dans l'induction de la production de fruits. Cependant, il est à noter que la visite des fleurs par ces abeilles n'affecte pas négativement les abeilles domestiques qui viennent également visiter ces fleurs et donc favoriser la formation future des fruits (Garibaldi *et al.*, 2014).

Dans l'ordre des diptères, les espèces de la famille des Syrphidae sont des polliniseurs. Ils sont reconnaissables par leur vol stationnaire, leurs couleurs semblables à celles des guêpes ou encore la présence d'une fausse nervure distinctive sur leurs ailes antérieures. Cette dernière est appelée la « *vena spuria* ». (Chinery, 2012)

Comme mentionné à plusieurs reprises, le rôle des polliniseurs est très important dans la reproduction des plantes. Malheureusement, le déclin de nombreux groupes de polliniseurs est observable de nos jours. Celui-ci est dû à divers facteurs tels que la perte d'habitat, la fragmentation (due entre-autre à l'urbanisation), les pesticides, ... (Potts *et al.*, 2010; Baldock *et al.*, 2015)

A l'avenir, les changements climatiques risquent d'affecter plantes et insectes. Ils induiront probablement diverses modifications qui pourront s'avérer bénéfiques ou néfastes à certaines espèces. (Baldock, 2020)

1.3.2. *Effet de l'urbanisation sur les pollinisateurs*

Partout à travers le monde, l'urbanisation s'artificialise de plus en plus. Elle est l'une des causes du déclin progressif de la majorité des pollinisateurs. Une perte de richesse spécifique, la disparition d'espèces rares, l'homogénéité au sein du pool de diversité globale sont autant d'impacts négatifs observables (Hernandez, Frankie and Thorp, 2009; Deguines *et al.*, 2016).

Malgré les effets négatifs de l'urbanisation, plusieurs études ont démontré que certains groupes de pollinisateurs, comme certaines espèces d'abeilles, sont positivement ou non-impactés par l'urbanisation (Baldock *et al.*, 2015; Persson *et al.*, 2020). Aucune différence notable en termes d'abondance entre la ville et la campagne n'a été relevée dans ces études.

Selon Baldock (2020), une grande disponibilité en ressources florales en milieu urbain limite les impacts négatifs sur les pollinisateurs de l'augmentation de zones imperméables.

Les îlots de chaleur, et donc le réchauffement urbain, peuvent quant à eux avoir des effets positifs sur les plantes et les insectes car ils induisent des périodes plus longues de croissance. Cependant, il faut garder à l'esprit que chaque espèce possède sa propre tolérance thermique (Burdine and McCluney, 2019).

1.3.3. *Réseaux d'interaction plantes-polliniseurs*

Entre plantes et insectes, une co-évolution s'observe. En effet, au fil des années, les traits floraux s'adaptent aux traits morphologiques, physiologiques voire même comportementaux des insectes (plus particulièrement des pollinisateurs) et inversement. Les partenaires prenant part aux interactions s'influencent l'un l'autre. Cela conduit au fait que « des interactions au sein même d'un niveau trophique (les plantes) peuvent influencer les interactions avec le niveau trophique supérieur (polliniseurs). » (Flacher, 2016).

Au sein des pollinisateurs, deux types d'espèces peuvent être distingués : les espèces généralistes et les espèces spécialistes. Les espèces généralistes sont dites polylectiques, ce qui signifie qu'elles peuvent aller récolter du pollen sur une grande variété de fleurs. Ces espèces sont plus nombreuses que les espèces spécialistes qui elles ne butinent que peu d'espèces de plantes (angiospermes) différentes. Les pollinisateurs monolectiques sont très rares surtout en Europe (Waser *et al.*, 2009; Falk, 2015).

Comme mentionné précédemment, les changements qui s'opèrent actuellement (changements climatiques, urbanisation, ...) affectent autant les plantes que les insectes et, de ce fait, également leurs interactions. La diversité des plantes indigènes diminue ces dernières décennies entraînant une perte de ressources florales et donc de nourriture pour les polliniseurs (Biesmeijer *et al.*, 2006; Lavergne, Molina and Debussche, 2006). Les plantes étrangères présentes dans une zone donnée entrent en compétition avec les plantes indigènes. Les polliniseurs généralistes se dirigent donc vers les plantes exotiques qui sont généralement des plantes ornementales morphologiquement plus attractives. Cela conduit à la diminution des plantes indigènes ce qui est problématique pour les polliniseurs spécialistes qui perdent leur source de nourriture (Traveset and Richardson, 2006; Lambdon *et al.*, 2008).

Pour améliorer la résistance des réseaux d'interactions plantes-insectes au sein des villes, un des leviers d'action est tout simplement celui de l'augmentation du nombre de plantes à fleurs (Baldock *et al.*, 2019).

1.3.4. *Traits et facteurs influençant la pollinisation*

Chez les polliniseurs, l'attrait pour une plante menant à des interactions dépend de plusieurs facteurs. Deux catégories de facteurs peuvent être mises en avant : celle qui reprend les traits liés aux signaux visuels et celle liée aux signaux olfactifs.

Les signaux visuels comprennent les traits floraux tels que la couleur, la taille, la morphologie mais aussi l'organisation des inflorescences, la vitrine florale ainsi que la présence de voisins exotiques ou plus attractifs (Vázquez, Chacoff and Cagnolo, 1967; Knopper *et al.*, 2016).

Premièrement, pour ce qui est de la couleur de la plante, chaque insecte ne perçoit pas la même longueur d'onde.

Ensuite, la taille de la fleur a également une influence. De fait, une corolle de grande taille a tendance à attirer plus de polliniseurs (Elle and Carney, 2003).

Selon la morphologie de la fleur, certains polliniseurs ne vont pas pouvoir extraire facilement le nectar étant donné la forme ou la longueur de leur langue qui est trop différente/petite (Klumpers, Stang and Klinkhamer, 2019).

La vitrine florale (le nombre de fleurs ouvertes à un même moment) influence l'attractivité. De même, une plante attractive peut avoir un effet positif ou négatif sur une plante présente à ses côtés qui l'est moins (Ohashi and Yahara, 2009; Flacher, 2016)

Les signaux olfactifs ont l'avantage d'être perceptibles par les polliniseurs à une plus grande distance que les signaux visuels (Junker, 2016).

Au-delà de l'attractivité, c'est principalement la récompense qui intéresse les polliniseurs.

Les deux récompenses les plus importantes pour les polliniseurs sont le nectar et le pollen (Palmer-Young *et al.*, 2019). Le nectar est une source de carbohydrates et est principalement composé de sucre (Francis *et al.*, 2019). La composition en nectar peut varier d'une espèce à l'autre et même d'un individu à l'autre au sein d'une même espèce (Herrera, Pérez and Alonso, 2006). Le nectar est donc source d'attraction et sa production est positivement corrélée avec les taux d'interactions avec des polliniseurs (Kudo and Harder, 2005). Le pollen, quant à lui, fournit des acides aminés et des lipides (Francis *et al.*, 2019). Chaque espèce possède un taux et une composition en nectar et pollen uniques qui permettent d'attirer divers groupes de polliniseurs (Palmer-Young *et al.*, 2019).

Finalement, il est important de noter que l'abondance des polliniseurs dépend également du contexte paysager, de l'aspect temporel (variation en fonction des saisons et même au sein d'une journée), des conditions abiotiques mais surtout de l'échelle d'étude considérée (Steffan-Dewenter *et al.*, 2002).

2. Contexte de l'étude

Ce travail de fin d'études s'inscrit dans le projet First Spin-Off MURVERT mené par la Faculté de Gembloux Agro-Bio Tech. Ce projet consiste en la création de murs végétalisés s'inscrivant dans le mouvement d'implantation d'infrastructures vertes au sein des villes. Ces murs sont conçus de manière à être semblables à des milieux naturels durables, innovants et sains pour l'environnement (Boisson et al, 2020). Ils ont pour rôle de favoriser la biodiversité, d'être une source d'alimentation pour les pollinisateurs, de participer à la purification de l'air ...

L'étude se déroule principalement sur le mur végétalisé qui se trouve à l'arrière du Centre culturel, l'ATRIUM57, situé Rue Moulin 57 à Gembloux. Ce mur a vu le jour en 2019 et est le fruit d'une collaboration entre la ville de Gembloux, le Centre culturel et la faculté Agro-Bio Tech.

3. Objectifs

L'objectif général de ce mémoire est d'étudier les interactions biotiques dans les systèmes de murs végétalisés et plus particulièrement celles ayant lieu entre les plantes et les insectes.

Afin de mener à bien cette étude, deux grands objectifs ont été poursuivis. Chacun de ces objectifs se situe à un niveau d'échelle d'étude différent.

- ❖ Le premier objectif consiste en **l'étude de la diversité des visiteurs floraux et de leurs interactions au sein du mur végétalisé du Centre culturel de la ville de Gembloux.**

Trois objectifs secondaires sous-tendent ce premier objectif :

1. **Caractérisation de la diversité globale d'insectes présente à l'échelle du mur et détermination des facteurs influençant cette diversité.**
2. **Analyse des ressources florales fournies par le mur végétalisé de Centre culturel de la ville de Gembloux et détermination des facteurs influençant ces ressources florales.**
3. **Étude des interactions plantes-pollinisateurs permettant d'établir un réseau de pollinisateurs à l'échelle du mur.**

- ❖ Le second objectif consiste en **l'étude de la contribution du mur végétalisé de l'ATRIUM57 à la biodiversité entomofaunique de la ville de Gembloux.**

Deux objectifs secondaires sous-tendent ce deuxième objectif :

1. **Comparaison des visiteurs floraux du mur végétalisé de l'ATRIUM57 avec ceux présents dans les différents écosystèmes végétalisés entourant ce mur.**
2. **Comparaison des visiteurs floraux du mur végétalisé de l'ATRIUM57 avec ceux présents à l'échelle de la ville de Gembloux.**

4. Matériels et méthodes

4.1. Etude de la diversité des visiteurs floraux et de leurs interactions au sein du mur végétalisé du Centre culturel de la ville de Gembloux.

4.1.1. Site d'étude

L'étude permettant d'atteindre le premier objectif se déroule au sein du mur végétalisé de l'ATRIUM57 situé à l'arrière du Centre culturel de la Ville de Gembloux (coordonnées : 50°33'48.6"N, 4°41'35.5"E). Il est composé des trois façades orientées respectivement au Nord, Nord-Ouest et Sud-Ouest (Figure 2). Le mur dans son ensemble présente une surface d'environ 170 m².

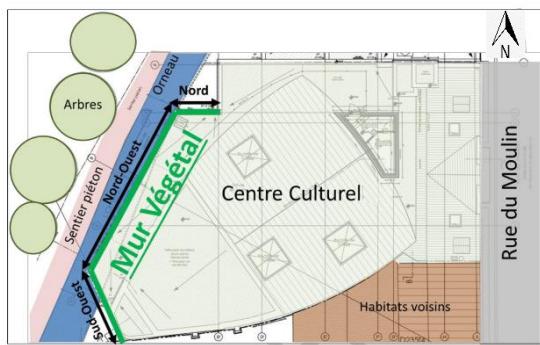


Figure 2. Orientation des trois façades du mur végétalisé de l'ATRIUM57 (Unité Biodiversité et Paysages, 2019b, 2019a).

4.1.2. Dispositif d'étude

Le mur est composé de 393 bacs de type balconnière. Leur longueur varie de 0,6 à 1,2 mètres. Les autres dimensions quant à elles restent fixes et sont reprises dans la Figure 3. Les bacs sont répartis sur l'ensemble des façades de la manière présentée à la Figure 4 (Unité biodiversité et paysage, 2019)

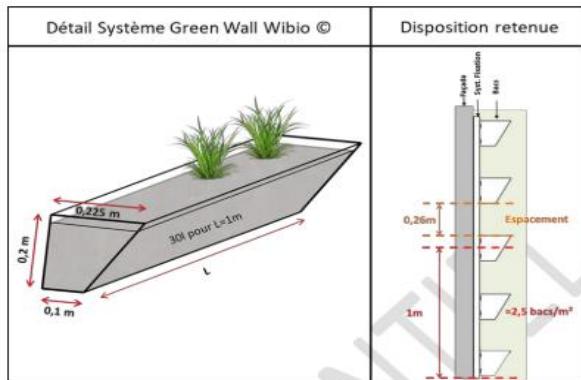


Figure 3. Dimensions des bacs de type balconnière formant le mur végétalisé de l'ATRIUM57 (Unité Biodiversité et Paysages, 2019b, 2019a).

Le substrat présent dans les bacs est composé d'un mélange de terreau horticole, de pierres de lave (Pouzzolane), de billes d'argile (Argex) et de substrat léger (Zinco) et ce, dans des proportions bien déterminées. Le détail de ces proportions est sous convention de confidentialité.

Lors de la création du mur, deux grandes zones ont été délimitées (Figure 4) :

- ❖ La zone 1 se retrouve sur la façade Nord et sur une moitié de la façade Nord-Ouest. La végétation choisie pour cette zone est semblable à celle retrouvée dans des écosystèmes d'éboulis ombragés et de forêts de ravins.
- ❖ La zone 2 se retrouve sur la façade Sud-Ouest et sur l'autre moitié de la façade Nord-Ouest. La végétation choisie pour cette zone est semblable à celle retrouvée dans des écosystèmes de pelouses mésophiles et de falaises calcaires mosanes.

De par leurs orientations différentes, chacune des façades possède son propre microclimat qui peut avoir un effet par exemple sur la phénologie des plantes (Olliff-Yang and Ackerly, 2020).

La zone 1 et la zone 2 de la façade centrale n'ayant respectivement pas la même orientation que la zone 1 et la zone 2 situées sur les autres façades, elles sont donc considérées comme deux zones d'études à part entière. Ces zones sont dès lors renommées zone Nord-Ouest (1) et zone Nord-Ouest (2).

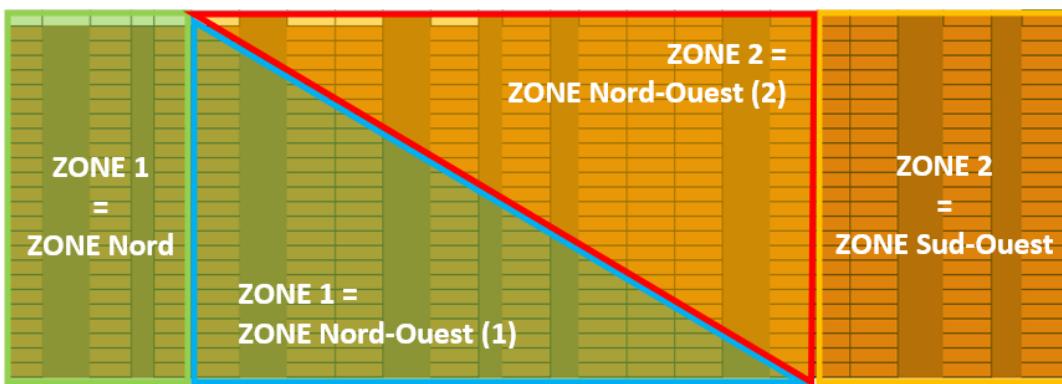


Figure 4. Répartition en « ZONES » des bacs de type balconnière sur l'ensemble de la surface formant le mur végétalisé de l'ATRIUM57.

Le mur végétalisé est composé de 26 espèces de plantes différentes dont 16 espèces sont des espèces entomogames (Annexe 1). Chaque bac contient un assortiment bien défini de trois à six plantes en fonction de sa longueur. Sur l'ensemble du mur, les assortiments de plantes forment deux types de bacs, ceux dits structurants et ceux dits diversifiés-fleuris. Un plan de plantation a été conçu préalablement à la construction du mur (Annexe 2). Malheureusement, ce dernier n'a pas été totalement respecté lors de la plantation et une nouvelle identification partielle de la répartition des plantes au sein du mur a dû être réalisée. La quantité de plants par espèce initialement plantés (Annexe 2) a également varié. Certaines espèces, et plus particulièrement *Cymbalaria muralis*, se sont dispersées et ont colonisé de nouveaux bacs. De nouvelles espèces sont également apparues sur le mur telles que *Stellaria media* et *Geranium robertianum*.

4.1.3. Conditions climatiques lors de l'étude

Les bilans climatiques mensuels de mai, juin et juillet qualifient de manière générale ces mois de mois très humides (IRM, 2021c, 2021b, 2021a). Le mois de mai s'est avéré également froid et venteux (IRM, 2021c). Le mois de juin quant à lui a été chaud (IRM, 2021b) à l'inverse du mois de juillet pour lequel aucun jour de chaleur (max >30°C) n'a été enregistré. Pendant la majorité du mois de juillet, les températures moyennes étaient inférieures à la normale (IRM, 2021a). Ces affirmations sont basées sur la comparaison des données mensuelles de 2021 de précipitations et de températures avec celles enregistrées entre 1981 et 2020 (Annexe 3).

Dans le cadre de cette étude, des thermomètres sont placés dans les différentes zones d'études afin de connaître la moyenne des températures sur le mur et les variations possibles entre les zones. Le protocole de mesure est repris dans le point suivant.

4.1.4. Récolte des données

Afin de répondre à l'objectif principal présenté dans cette partie, trois objectifs secondaires sont posés. Celui de caractériser la diversité globale d'insectes présents à l'échelle du mur, celui d'estimer les ressources alimentaires fournies par le mur et celui d'étudier plus particulièrement les interactions entre les plantes et les polliniseurs. Pour chaque objectif secondaire, un dispositif d'échantillonnage est mis en place.

- *Caractérisation de la diversité globale d'insectes présente à l'échelle du mur et détermination des facteurs influençant cette diversité.*

La méthode de collecte utilisée afin de connaître la diversité d'hexapodes captée par le mur végétalisé est semblable à celle des « pan traps » (Westphal *et al.*, 2008). Des récipients de trois couleurs différentes (bleu, jaune et blanc) forment le dispositif de piégeage. Dans le cadre de cette étude, des récipients carrés de 12 cm de côté et de 6 cm de profondeur ont été colorés intérieurement à l'aide de bombes de couleur réfléchissant les rayons UV. L'extérieur des récipients a été peint en noir afin de réduire le biais qui serait généré par la capture d'espèces attirées uniquement par la présence des dispositifs. Les récipients sont placés côte à côte par trois dans un support semblable à ceux utilisés pour les balconnières (Figure 5).



Figure 5. Dispositif de piégeage.

Chaque piège est accroché à l'avant d'un des bacs formant le mur. Une distance minimale de 5 mètres entre chaque dispositif de piégeage est respectée (Droege *et al.*, 2010). Au final, ce sont deux dispositifs de piégeage qui sont placés dans chaque zone et donc un total de huit pièges qui sont répartis sur l'infrastructure verte.

L'échantillonnage s'effectue entre le 11 mai et le 8 juillet 2021 et ce, une à trois fois par semaine, toutes les deux semaines, selon les conditions météorologiques et les disponibilités de la nacelle élévatrice utilisée pour récolter les données. Les pièges sont placés en matinée aux alentours de 9h et récupérés vers 17h. Ceux-ci sont posés et relevés dans un même ordre et l'heure exacte de ces actions est à chaque fois notée (Gezon *et al.*, 2015).

Le choix des jours d'échantillonnage dépend des conditions météorologiques. En effet, les meilleures conditions pour capter la diversité entomologique (principalement volatile) sont réunies lors des journées sans pluie, ensoleillées et avec des températures minimales de 15°C (Westphal *et al.*, 2008). Afin de connaître la température minimale et maximale observée sur la durée de l'échantillonnage, un thermomètre est placé dans chacune des zones.

Une fois capturés, les insectes sont placés dans de l'alcool dénaturé à 70%. Les insectes sont séparés selon leur taille : les plus de 5 mm et les moins de 5 mm (Froment and Mahy, 2017). Vient ensuite l'étape de l'étalement suivi par celle de l'identification. Pour l'ensemble des insectes l'ordre est déterminé et les insectes de plus de 5 mm sont identifiés en allant jusqu'à la famille à l'aide de clés d'identification (Delvare and Pierre, 1989; Mignon, Hauburge and Francis, 2016). Une vérification par des experts de Gembloux Agro-Bio Tech est réalisée en aval.

- *Analyse des ressources florales fournies par le mur végétalisé du Centre culturel de la ville de Gembloux et détermination des facteurs influençant ces ressources florales.*

Ce sous-objectif permet de déterminer le nombre et les caractéristiques des fleurs présentes sur le mur végétalisé de l'ATRIUM57.

Premièrement, la quantité ainsi que la variation du nombre de fleurs par espèce sont calculées à l'aide des données d'unités florales récoltées par unité d'observation dans le protocole établi pour « l'étude des interactions plantes-polliniseurs permettant d'établir un réseau de polliniseurs à l'échelle du mur ».

Ensuite, il s'agit de connaître la quantité de nectar produite par les espèces florales du mur végétalisé. Le nectar est un liquide sucré généralement sécrété par les nectaires des plantes. Cette ressource florale attire les insectes butineurs et joue un rôle important dans la pollinisation des espèces végétales dites entomophiles (Larousse, 2021). Le nectar est une importante source d'énergie dans l'alimentation des insectes tels que les abeilles (Baude et al., 2016). Le nectar présent à l'échelle du mur joue donc un rôle dans l'apport de nourriture pour l'entomofaune urbaine.

Cependant, il est à noter que le nectar est majoritairement composé de sucre et que la quantité de sucre est variable selon les espèces (Witt et al., 1999). La quantité de sucre peut donc servir d'unité de comparaison entre les espèces afin de connaître leur apport nutritionnel. La quantité de sucre est donc déterminée pour l'ensemble des espèces florales du mur vert à l'aide de la littérature.

- *Etude des interactions plantes-polliniseurs permettant d'établir un réseau de polliniseurs à l'échelle du mur*

La collecte des données permettant l'étude des interactions plantes-polliniseurs se fait au sein du mur de l'ATRIUM57. Une unité d'observation correspond à la plus petite longueur de bac, soit 70 cm. En hauteur, l'unité d'observation comprend deux bacs (+/- 66 cm). Chaque zone compte quatre unités d'observation placées à quatre hauteurs différentes. Ces unités sont choisies au préalable et sont composées de plantes entomophiles (Annexe 4)

Lors des quatre premières journées d'échantillonnage, les observations sont réalisées sur 16 unités d'observation fixes. Les semaines suivantes, pour pallier le manque de ressources florales dans une partie de ces unités, les observations sont réalisées dans certaines des unités d'observation fixes et dans d'autres unités d'observation créées et ciblées en fonction de la présence de ressources florales ce jour-là sur le mur végétal (Tableau 1).

Tableau 1. Unités d'observation selon les différentes dates d'échantillonnage sur le mur de l'ATRIUM57 (Gembloux, 2021)

Date d'observation	Nombre et type d'unités d'observation	Nombre total d'unités d'observation
12 mai	16 fixes	16
27 mai	16 fixes	16
31 mai	16 fixes	16
1 ^{er} juin	16 fixes	16
7 juin	7 fixes ; 9 ciblées	16
8 juin	7 fixes ; 7 ciblées	14
10 juin	7 fixes ; 10 ciblées	17
8 juillet	12 fixes ; 6 ciblées	18
TOTAL		129

Un temps d'observation de 10 minutes par unité a été défini sur base de l'étude de Fijen and Kleijn (2017). Celui-ci est réduit à 7 minutes pour une question de faisabilité sur le terrain. Ce temps permet de parcourir l'ensemble des unités d'observation en une demi-journée. L'ordre d'observation des unités est aléatoire et varie d'un jour d'échantillonnage à un autre.

Avant observation des interactions plantes-polliniseurs, les unités florales (définition d'unité florale selon Baldock *et al.* (2015)) ouvertes présentes sont comptées par espèce et par unité d'observation.

Dans cette partie de l'étude, ce sont uniquement les hyménoptères du clade Antophila ainsi que les diptères de la famille des Syrphidae qui sont observés et échantillonnés. En effet, cela reprend la majorité des insectes considérés comme jouant un rôle important dans la pollinisation.

Lors de la phase d'observation, les insectes entrant en contact avec une unité florale sont répertoriés. Le nombre d'interactions ainsi que l'(les) espèce(s) végétale(s) concernée(s) par ces interactions sont notés. Une fois observé, l'individu est capturé à l'aide d'un filet ou d'un récipient avec couvercle. Durant ce temps, le chronomètre est arrêté.

L'échantillonnage a lieu entre le 11 avril et le 8 juillet 2021 et ce une à trois fois par semaine toutes les deux semaines, selon les conditions météorologiques et la disponibilité de la nacelle élévatrice.

Tout comme pour l'échantillonnage par piégeage présenté au point précédent, le choix des jours d'échantillonnage dépend des conditions météorologiques. Les journées sans pluie, ensoleillées et avec des températures minimales de 15°C sont idéales pour observer les interactions plantes-polliniseurs (Westphal *et al.*, 2008).

Une fois capturés, les pollinisateurs sont placés dans de l’alcool dénaturé à 70%. Vient ensuite l’étape d’étalement suivi par celle d’identification. Les insectes sont identifiés en allant, dans la mesure du possible jusqu’à l’espèce à l’aide de clés d’identification (Verlinden, 1994; Falk, 2015; SAPOLL, 2018; Pauly, 2019). Une vérification par des experts de Gembloux Agro-Bio Tech est réalisée en aval.

4.1.5. Choix des méthodes d’analyse des résultats

Les analyses statistiques pour ce premier objectif sont exclusivement des analyses descriptives. Le protocole ayant dû être adapté à mi-parcours, le nombre d’unités varie selon les jours d’échantillonnage. C’est pourquoi aucune analyse de la variance n’est réalisée.

Les données sont principalement traitées à l’aide du logiciel Excel (version 2016).

La richesse spécifique du mur végétalisé est déterminée et représente le nombre d’espèces différentes observées sur le mur vert.

Le nombre de captures sur toute la durée de l’étude étant peu élevé, les indices liés à l’abondance ne peuvent pas être calculés. Il en est de même pour les indices de connectivité et d’imbrication (nestedness) qui ne peuvent être pris en compte dans l’étude des interactions entre les plantes et les pollinisateurs.

Le réseau de pollinisateurs à l’échelle du mur végétalisé de l’ATRIUM57 est réalisé à l’aide du logiciel Rstudio, version 4.0.3 (R Studio Team, 2020). La structure des interactions entre les plantes et les insectes est représentée à l’aide de la commande « plotweb » du package « bipartite » (Dormann, Fruend and Gruber, no date)

4.2. Etude de la contribution du mur végétalisé de l'ATRIUM57 à la biodiversité entomofaunique de la ville de Gembloux.

Le deuxième objectif traite de la contribution du mur végétalisé en termes de diversité entomofaunique. Deux sous-objectifs découlent de cet objectif. Le premier concerne la comparaison des visiteurs floraux du mur végétalisé de l'ATRIUM57 avec ceux présents dans les différents écosystèmes végétalisés entourant ce mur. Le second est également une comparaison des visiteurs floraux du mur végétalisé mais cette fois avec ceux présents à l'échelle de la ville de Gembloux.

4.2.1. Comparaison des visiteurs floraux du mur végétalisé de l'ATRIUM57 avec ceux présents dans les différents écosystèmes végétalisés entourant ce mur.

4.2.1.1. Site d'étude

Les observations de visiteurs floraux sont faites dans cinq écosystèmes végétalisés urbains présents dans un rayon de 100 mètres autour du mur vert de l'ATRIUM57 (Figure 6).

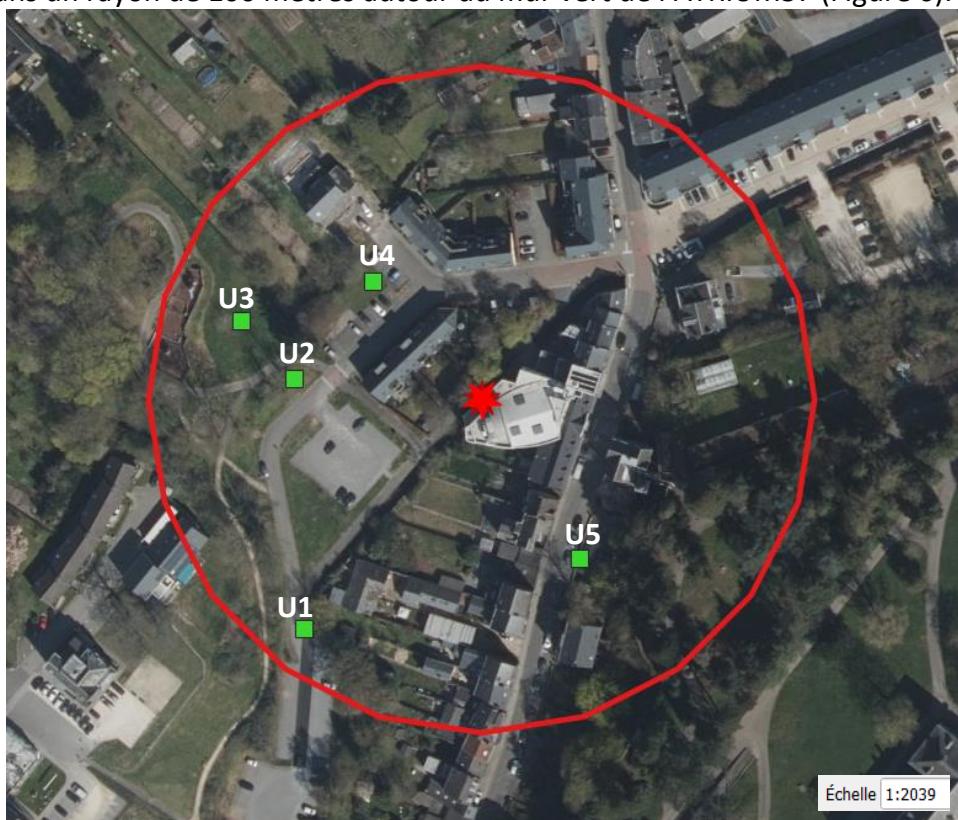


Figure 6. Cartographie des écosystèmes végétalisés urbains étudiés dans un rayon de 100 m autour du mur vert de l'ATRIUM57 (Gembloux, 2021). U1 : unité 1, parterre fleuri ; U2 : unité 2, bord de route ; U3 : unité 3, parc ; U4 : unité 4, bac potager urbain, U5 : unité 5, à l'ombre des arbres.

Ces cinq écosystèmes sont :

- Un parterre de fleurs en bordure de l'Orneau – Unité 1 (Figure 7).



Figure 7. Ecosystème végétalisé : parterre de fleurs au bord de l'Orneau (Gembloux, 2021)

- Une zone enherbée en bord de route – Unité 2 (Figure 8).



Figure 8. Ecosystème végétalisé : bord de route (Gembloux, 2021)

- Une zone fleurie dans un parc géré en tonde tardive – Unité 3 (Figure 9).



Figure 9. Ecosystème végétalisé : parc (Gembloux, 2021)

- Un bac potager urbain – Unité 4 (Figure 10).



Figure 10. Ecosystème végétalisé : bac potager urbain (Gembloux, 2021)

- Une zone à l'ombre des arbres – Unité 5 (Figure 11).



Figure 11. Ecosystème végétalisé : à l'ombre des arbres (Gembloux, 2021)

4.2.1.2. *Récolte des données*

La collecte des données permettant d'étudier les interactions plantes-polliniseurs dans les différents écosystèmes végétalisés urbains se fait au sein d'une unité d'observation par écosystème. L'unité d'observation comprise dans les écosystèmes végétalisés est de même taille que celle fixée lors de l'étude des interactions plantes-polliniseurs sur le mur végétalisé, soit un carré de 70 sur 70 cm.

Un temps d'observation de 7 minutes par unité a été défini pour être comparable au temps d'observation fixé pour l'étude réalisée sur le mur de l'atrium57. Ce temps permet de parcourir l'ensemble des unités d'observation en une demi-journée. L'ordre d'observation des unités est aléatoire et varie d'un jour d'échantillonnage à un autre.

Avant observation des interactions plantes-polliniseurs, les unités florales (définition d'unité florale selon Baldock et al., 2015) ouvertes présentes sont comptées par espèce et par unité d'observation.

Ce sont uniquement les hyménoptères du clade Antophila, ainsi que les diptères de la famille des Syrphidae, qui sont observés et échantillonnés. Les individus de l'espèce *Apis mellifera* reconnaissables à première vue sont relâchés en fin de journée.

Lors de la phase d'observation, les insectes entrant en contact avec une unité florale sont répertoriés. Le nombre d'interactions ainsi que l'(les) espèce(s) végétale(s) concernée(s) par ces interactions sont notés. Une fois observé, l'individu est capturé à l'aide d'un filet ou d'un récipient avec couvercle. Durant ce temps le chronomètre est arrêté.

L'échantillonnage a lieu à huit reprises dans le courant du mois de juin 2021. Le choix des jours d'échantillonnage dépend des conditions météorologiques. Les journées sans pluie, ensoleillées et avec des températures minimales de 15°C sont idéales pour observer les interactions plantes-polliniseurs (Westphal et al., 2008).

Une fois capturés les polliniseurs sont placés dans de l'alcool dénaturé à 70%. Vient ensuite l'étape de l'étalement et de l'identification; tous les insectes sont identifiés en allant, dans la mesure du possible, jusqu'à l'espèce à l'aide de clés d'identification (Verlinden, 1994; Falk, 2015; SAPOLL, 2018; Pauly, 2019). Une vérification par des experts de Gembloux Agro-Bio Tech est réalisée en aval.

La quantité de sucre pour l'ensemble des espèces florales présentes dans les écosystèmes végétalisés urbains est déterminée à l'aide de la littérature (Arnan et al., 2014; Baude et al., 2016; Stawiarz et al., 2020).

4.2.1.3. Choix des méthodes d'analyse des résultats

Afin de comparer les communautés d'insectes présentes sur le mur vert et dans les écosystèmes végétalisés entourant le mur, les données de présence-absence sont utilisées. En effet, l'abondance pouvant être fortement biaisée, ce sont donc uniquement les présences/absences des espèces qui sont comparées.

La méthode utilisée pour comparer ces données est l'analyse des correspondances (CA - Correspondance Analysis). Dans le cas de données binaires (présence-absence) permettant d'analyser des communautés, cette méthode d'analyse est conseillée (Hirst and Jackson, 2007).

Les autres données, telles que le nombre moyen de fleurs par unité d'observation, sont calculées à l'aide du logiciel Excel (version 2016).

4.2.2. Comparaison des visiteurs floraux du mur végétalisé de l'ATRIUM57 avec ceux présents à l'échelle de la ville de Gembloux.

Au travers de ce deuxième sous-objectif, le souhait est de comparer les visiteurs floraux identifiés dans la première partie de ce rapport avec ceux présents à l'échelle de la ville de Gembloux et qui sont extraits de la base de données fauniques de Gembloux et de Mons (BDFGM).

Pour ce faire, les données depuis 2011 sont retenues. Ces données comprennent toutes les espèces du clade Antophila identifiées dans un carré de 4x4 km centré sur le mur vert de l'ATRIUM57 (Figure 12). Les dimensions ont été choisies sur base d'un rayon de 2 km autour du mur ce qui correspond à la distance de butinage que peut parcourir une grosse abeille mellifère (Greenleaf *et al.*, 2007)

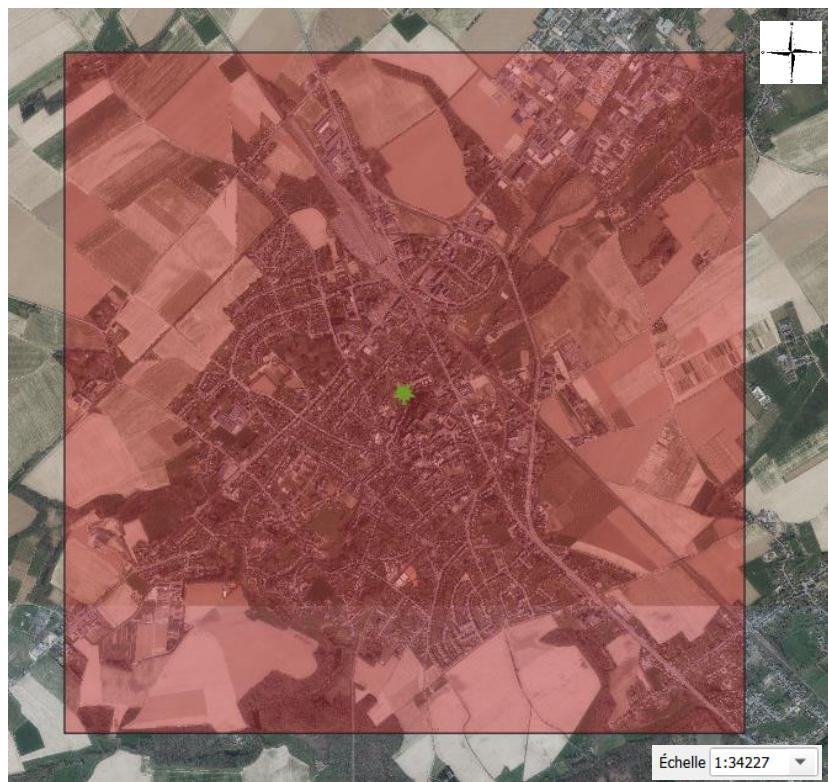


Figure 12. Cartographie du Carré de 4x4 km centré sur le mur végétalisé de l'ATRIUM57 (Gembloux, 2021)

4.2.2.1. Choix des méthodes d'analyse des résultats

Les données récoltées au sein du mur végétalisé sont comparées avec les données récupérées dans la base de données fauniques.

L'abondance pouvant être fortement biaisée, ce sont donc uniquement les présences/absences des espèces qui sont comparées.

5. Résultats

5.1. Etude de la diversité des visiteurs floraux et de leurs interactions au sein du mur végétalisé du Centre culturel de la ville de Gembloux

5.1.1. Caractérisation de la diversité globale d'insectes présente à l'échelle du mur et détermination des facteurs influençant cette diversité.

Dans l'ensemble des pièges posés sur le mur végétalisé, 331 insectes ont été récoltés. Parmi ceux-ci, différents ordres et différentes familles sont représentés (Tableau 2). Les insectes ont été séparés en fonction de leur taille : < 5 mm ou > 5 mm. 294 insectes soit 88,82% ont une taille inférieure à 5 mm et 37 insectes soit 11,18% ont une taille supérieure à 5 mm.

L'identification des insectes révèle que la majorité des insectes de plus de 5 mm sont des *Diptera* (68%) suivis des *Hymenoptera* (27%). Trois autres ordres ont pu être identifiés : les *Coleoptera*, les *Ephemeroptera* et les *Trichoptera*. La famille la plus commune est celle des *Anthomyiidae* suivie de celle des *Halictidae*.

Tableau 2. Diversité d'insectes sur le mur végétalisé de l'ATRIUM57 (Gembloux, 2021). Ce tableau présente l'identité jusqu'à la famille, le nombre et le pourcentage d'insectes récoltés de mai à mi-juillet à l'aide de pan traps.

	Nombre	Pourcentage*
Insecte de plus de 5 mm	37	11,18
COLEOPTERA	2	5,41
Chrysomelidae	2	100
DIPTERA	22	59,46
Anthomyiidae	15	68,18
Calliphoridae	1	4,55
Muscidae	3	13,64
Syrphidae	3	13,64
EPHEMEROPTERA	2	5,41
HYMENOPTERA	10	27,03
Halictidae	8	80
Ichneumonidae	1	10
Autre	1	10
TRICHOPTERA	1	2,71
Insecte de moins de 5 mm	294	88,82
COLEOPTERA	8	2,72
COLLEMBOLA	52	17,69
DIPTERA	104	35,37
HEMIPTERA	109	37,07
HYMENOPTERA	16	5,44
THYSANOPTERA	3	1,02
THRICOPTERA	1	0,34
AUTRE (larve)	1	0,34

* le pourcentage est équivalent à la part que représente le niveau taxonomique considéré dans le niveau taxonomique supérieur.

Parmi les insectes de moins de 5 mm, sept ordres sont représentés. Lors de l'identification, ce sont principalement des pucerons (environ 102 soit 34,7%) et des moustiques (environ 78 soit 26,5%) qui ont été capturés.

Le nombre d'insectes récoltés varie selon les zones d'étude du mur sur lesquelles ont été placés les pièges (Figure 13). Une distinction peut être faite en fonction de la hauteur à laquelle les pièges ont été placés sur le mur et, à cela s'ajoute, la distinction entre le nombre d'insectes de plus de 5 mm et ceux de moins de 5 mm.

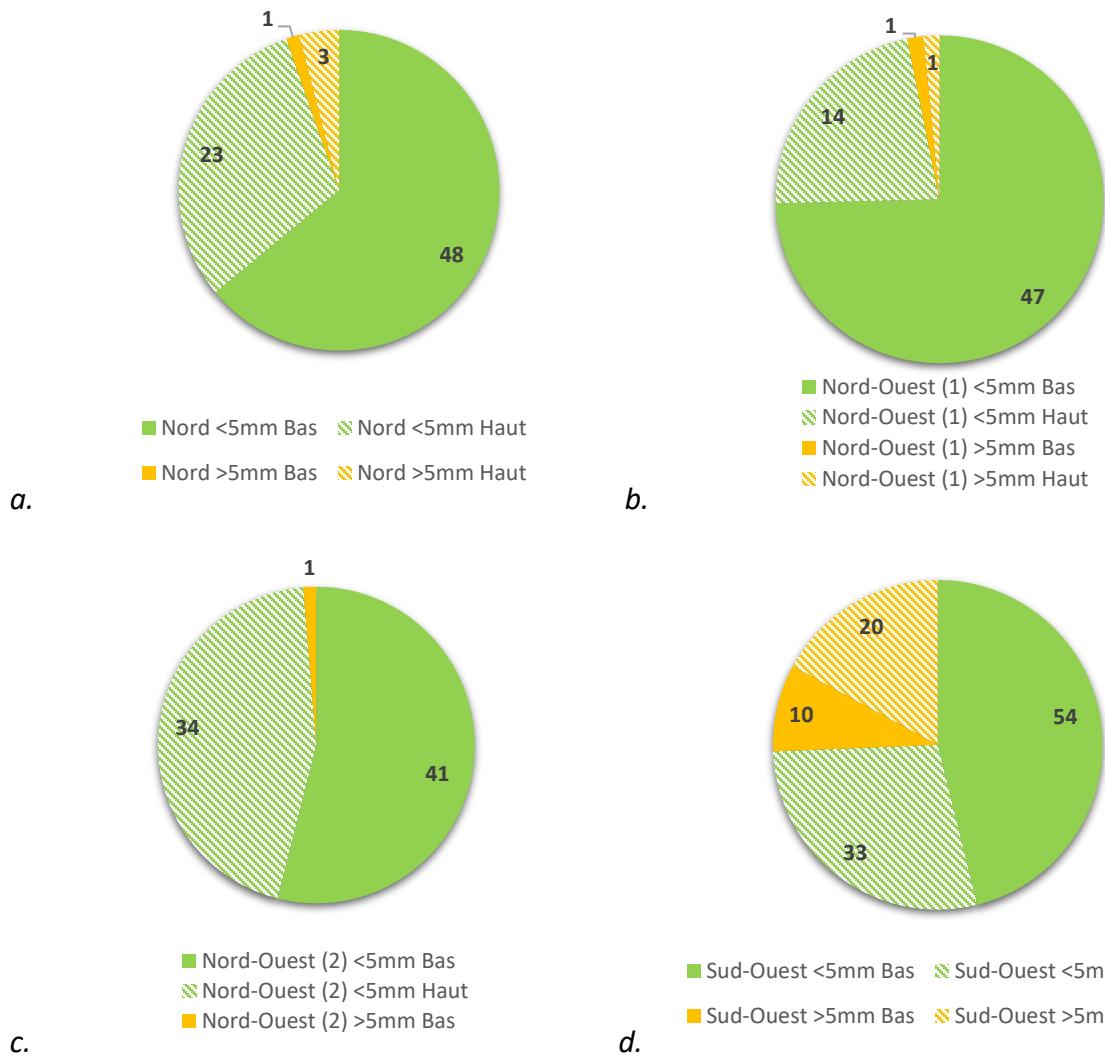


Figure 13. Diagramme du nombre d'insectes récoltés, à l'aide de pan traps, en fonction des différentes zones d'étude du mur végétalisé de l'ATRIUM57 (Gembloux, 2021). (a.) Zone Nord, (b.) Zone Nord-Ouest 1, (c.) Zone Nord-Ouest 2, (d.) Zone Sud-Ouest. Distinction selon la hauteur de pose des pièges et séparation selon la taille des insectes.

La zone accueillant le plus d'insectes est celle orientée Sud-Ouest. C'est également dans cette zone d'étude que la majorité des insectes de plus de 5 mm ont été piégés, soit 30 individus sur les 37 piégés au total.

La tendance générale est que les pièges situés en bas du mur végétalisé captent davantage d'insectes que ceux situés en hauteur. Exception faite pour les zones orientées Sud-ouest et Nord dans lesquelles une plus grande abondance d'insectes supérieurs à 5 mm est retrouvée dans les zones hautes.

Sur les 37 insectes de plus de 5 mm attrapés dans les pièges, 24 soit 64,9% ont été capturés lors du dernier échantillonnage. Pour les insectes inférieurs à 5 mm, cette augmentation soudaine n'est, quant à elle, pas observée (Figure 14).

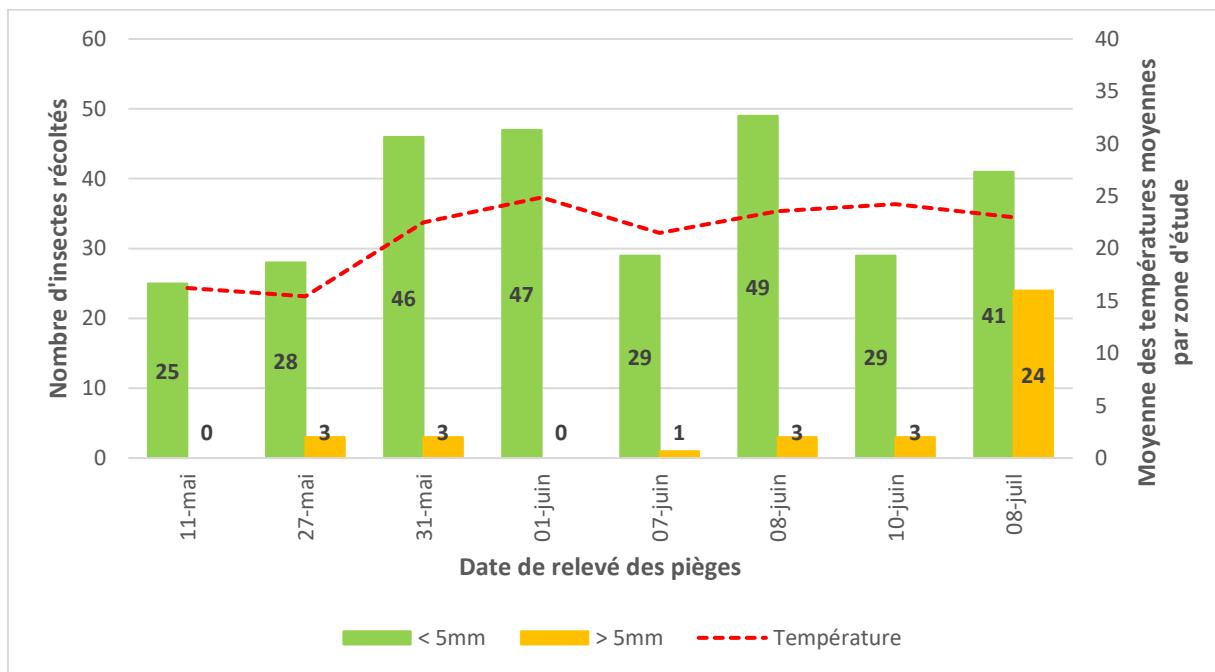


Figure 14. Variation du nombre d'insectes échantillonnés en fonction des différentes dates de relevés des pièges (pan traps) sur le mur végétalisé de l'ATRIUM57 (Gembloux, 2020) et évolution de la moyenne des températures moyennes enregistrées sur les différentes zones d'étude du mur végétalisé.

La température moyenne calculée n'a que peu d'influence sur le nombre d'insectes capturés. Cependant, une variation locale de la température est observable (Tableau 3)

Tableau 3. Variation de la température selon les zones d'étude sur le mur végétalisé de l'ATRIUM57 (Gembloux, 2021).

	Zone Nord	Zone Nord-Ouest (1)	Zone Nord-Ouest (2)	Zone Sud
Température moyenne (°C)	19,8°	19,8°	20,3°	28,4°

5.1.2. Analyse des ressources florales fournies par le mur végétalisé du Centre culturel de la ville de Gembloux et détermination des facteurs influençant ces ressources florales.

Les unités florales ont été comptées au sein de 16 unités d'observation fixées au sein du mur végétalisé de l'ATRIUM57 (Figure 15). Cet échantillonnage correspond à 8,1% de l'ensemble du mur.

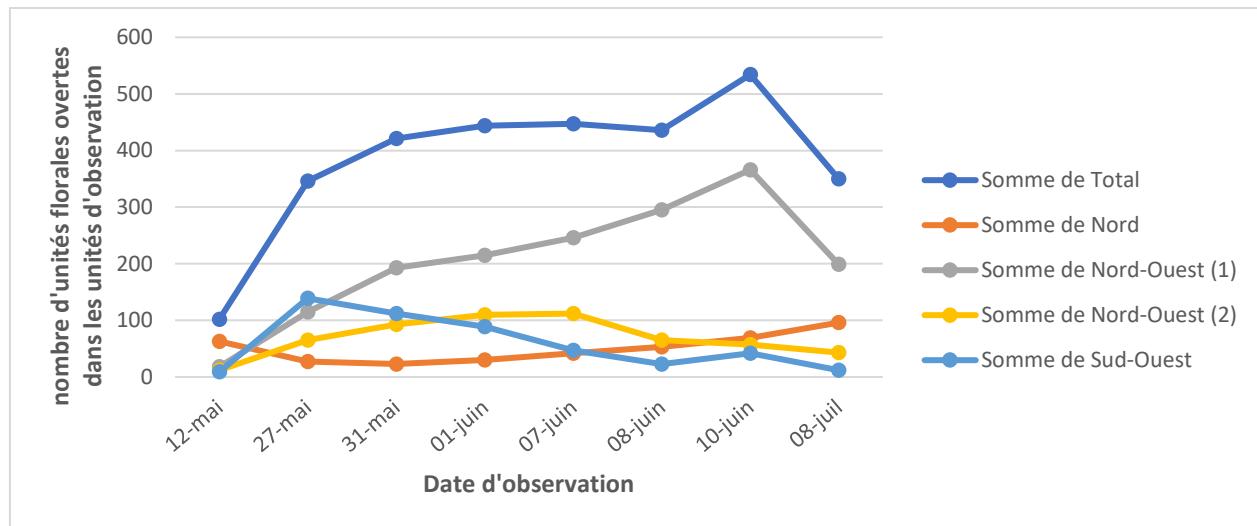


Figure 15. Nombre de fleurs produites sur l'ensemble de la durée de l'étude réalisée sur le mur végétalisé de l'ATRIUM57 (Gembloux, 2021). Distinction selon les différentes zones d'études.

Par unité d'observation, en moyenne 23 fleurs ont été comptabilisées. La médiane quant à elle se situe à 9 fleurs par unité d'observation (un carré de 70 X 70 cm).

La période de floraison et le nombre de fleurs produites par espèce végétale varient sur la durée de l'étude (Figure 16).

Campanula rapunculoïdes, *Campanula persicifolia*, *Digitalis lutea*, *Galium verum* et *Sanguisorba minor* ont fait leur apparition en fin de saison. A l'inverse, le *Lamiastrum galeobdolon* a très rapidement disparu. Les autres espèces ont pu être observées pendant la quasi-totalité de l'étude avec pour certaines des pics de floraison à divers moments selon l'espèce. *Euphorbia amygdaloides* compte de très nombreuses petites fleurs. Cela ne lui a pas pour autant permis d'attirer beaucoup d'insectes. Seul un *Episyrphus balteatus* a été observé sur cette espèce florale.

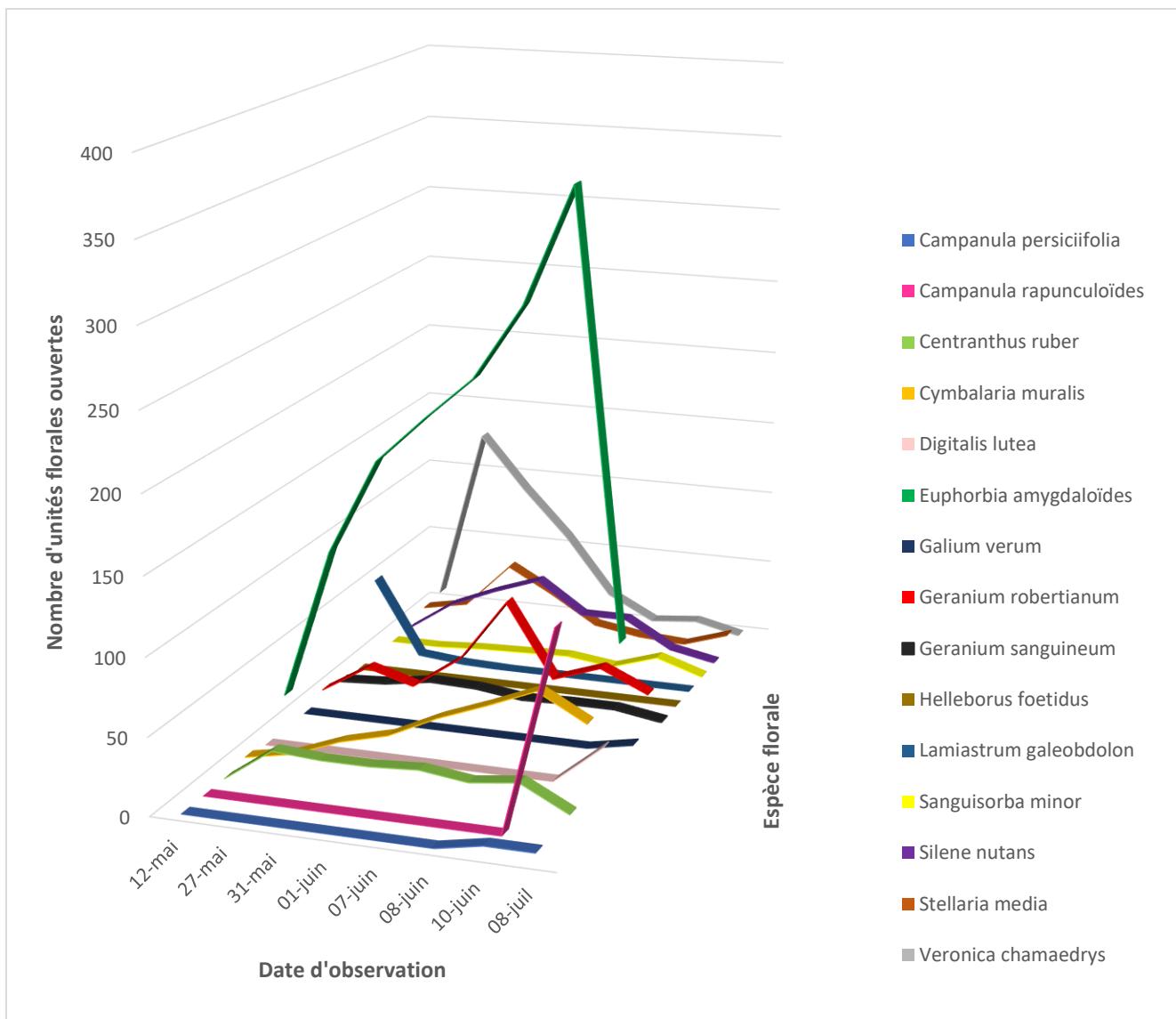


Figure 16. Evolution du nombre de fleurs par espèce florale comptabilisées dans les unités d'observation sur l'ensemble de la durée de l'étude réalisée sur le mur végétalisé de l'ATRIUM57 (Gembloux, 2021)

La composition des unités en espèces florales varie selon les différentes zones d'étude du mur (Tableau 4).

Tableau 4. Ressources florales par zone d'étude sur le mur végétalisé de l'ATRIUM57 (Gembloux, 2021)

Espèce végétale	Zone Nord	Nombre d'unités florales				Total	Pourcentage
		Zone Nord-Ouest (1)	Zone Nord-Ouest (2)	Zone Sud-Ouest			
<i>Campanula persiciifolia</i>	0	0	12	0	12	12	0,39
<i>Campanula rapunculoïdes</i>	41	91	0	0	132	132	4,29
<i>Centranthus ruber</i>	0	0	0	130	130	130	4,22
<i>Cymbalaria muralis</i>	275	8	0	0	283	283	9,19
<i>Digitalis lutea</i>	6	18	0	2	26	26	0,84
<i>Euphorbia amygdaloïdes</i>	17	1507	0	0	1524	1524	49,48
<i>Galium verum</i>	0	0	2	4	6	6	0,19
<i>Geranium robertianum</i>	0	0	269	0	269	269	8,73
<i>Geranium sanguineum</i>	0	0	16	21	37	37	1,20
<i>Helleborus foetidus</i>	0	0	0	0	0	0	0,00
<i>Lamiastrum galeobdolon</i>	59	0	0	0	59	59	1,92
<i>Sanguisorba minor</i>	0	0	0	24	24	24	0,78
<i>Silene nutans</i>	0	0	154	0	154	154	5,00
<i>Stellaria media</i>	5	23	78	0	106	106	3,44
<i>Veronica chamaedrys</i>	0	0	26	292	318	318	10,32
Total général	403	1647	557	473	3080	3080	100

La zone Nord-Ouest (1) est celle sur laquelle le plus grand nombre d'unités florales a pu être enregistré. Cependant, il est à noter qu'*Euphorbia amygdaloïdes* influence en grande partie ce résultat de par ses nombreuses petites unités florales.

A l'aide de la littérature, il a été possible de quantifier, pour la majorité des espèces présentes sur le mur végétalisé, la teneur en sucre présent dans leur nectar (Tableau 5). Les deux espèces ayant la plus grande teneur en sucre par fleur et par jour sont *Digitalis lutea* et *Campanula persiciifolia*.

Tableau 5. Quantité de sucre dans le nectar des différentes espèces florales du mur végétalisé de l'ATRIUM57.

Espèce	Quantité de sucre (mg/fleur/jour)	Source
<i>Campanula persiciifolia</i>	1,6	(Strzałkowska-Abramek <i>et al.</i> , 2018)
<i>Campanula rapunculoïdes</i>	**	
<i>Centranthus ruber</i>	**	
<i>Cymbalaria muralis</i>	**	
<i>Digitalis lutea</i>	6,63	Valeur calculée à partir des données de (Percival and Morgan, 1965)
<i>Euphorbia amygdaloïdes</i>	**	
<i>Galium verum</i>	0,00066	(Baude <i>et al.</i> , 2016)
<i>Geranium robertianum*</i>	0,098	(Baude <i>et al.</i> , 2016)
<i>Geranium sanguineum</i>	0,79	
<i>Lamiastrum galeobdolon</i>	0,44	(Baude <i>et al.</i> , 2016)
<i>Sanguisorba minor</i>	**	
<i>Silene nutans</i>	0,17	Valeur calculée à partir des données de (Witt <i>et al.</i> , 1999)
<i>Stellaria media*</i>	0,0071	(Baude <i>et al.</i> , 2016)
<i>Veronica chamaedrys</i>	0,0089	(Baude <i>et al.</i> , 2016)

* Fleurs initialement non présentes sur le mur végétalisé

** Donnée manquante dans la littérature

5.1.3. Étude des interactions plantes-polliniseurs permettant d'établir un réseau de polliniseurs à l'échelle du mur

Sur toute la période d'échantillonnage, quarante et un visiteurs floraux ont été observés. Trente-trois ont été attrapés et identifiés. Huit insectes n'ont pas su être attrapés mais ils ont tout de même été observés et classés selon leur ordre et famille dans la mesure du possible. Au total, onze espèces différentes parmi quatre familles (*Andrenidae*, *Apidea*, *Megachilidae*, *Syrphidae*) ont été observées.

Le nombre d'insectes observés varie en fonction de la date d'observation (Figure 17). Comme pour la méthode par piégeage, un pic d'observation survient le dernier jour d'étude. Lors des quatre premières journées d'observations, seule celle du 31 mai a permis d'observer trois insectes. Les autres jours, aucun visiteur floral n'a été aperçu dans les unités observées.

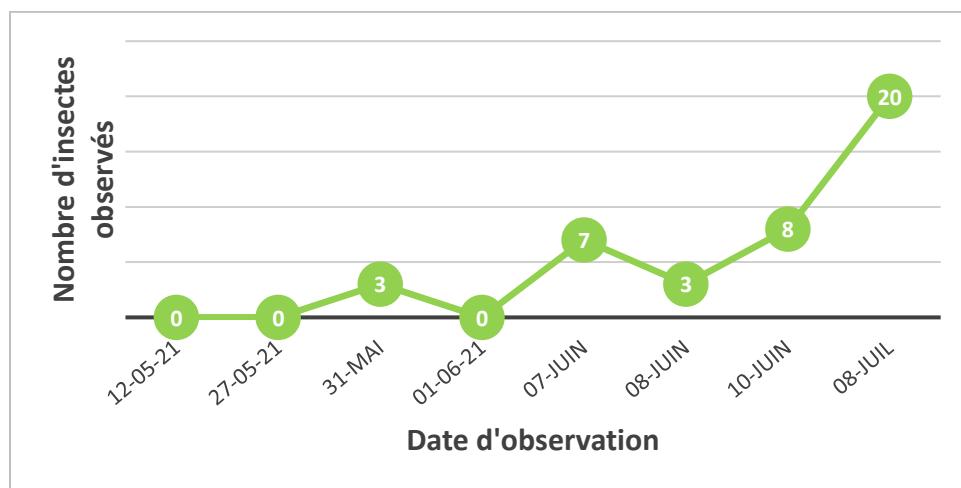


Figure 17. Variation du nombre d'insectes observés sur les différentes zones d'étude du mur végétalisé de l'ATRIUM57 en fonction de la date d'observation (Gembloux, 2021).

Les polliniseurs les plus communs retrouvés sur le mur végétalisé sont *Episyrphus balteatus* (De Geer, 1776) et le genre *Bombus* avec majoritairement *Bombus pratorum* (L., 1761) (Figure 18). Ces deux espèces les plus communes ont eu des interactions avec quatre ressources florales. *Eupeodes corollae* (Fabricius, 1794) est lui aussi présent avec une abondance qualifiable d'abondance intermédiaire. Il est en relation avec trois espèces végétales. *Bombus terrestris* (L., 1758), *Bombus hypnorum* (L., 1758), *Andrena bicolor* (Fabricius, 1775), *Bombus pascuorum* (Scopoli, 1793), *Megachile willughbiella* (Kirby, 1802), *Chelostoma rapunculi* (Lepeletier, 1841), *Stelis breviuscula* (Nylander, 1848) et *Bombus hortorum* (L., 1761) sont également présents mais en plus faible abondance et ont moins de trois liens avec les ressources florales du mur végétalisé. Les principales interactions ont lieu entre *Episyrphus balteatus* (De Geer, 1776) et *Campanula rapunculoides* mais ces deux espèces possèdent également des liens avec d'autres espèces. Les interactions sont observées pour 12 des 14 espèces considérées comme des ressources florales. *Helleborus foetidus* n'a pas été comptée dans les 14 espèces car aucune fleur n'est apparue dans les unités d'observation sur toute la durée de l'étude. Les espèces florales ayant le

plus d'interactions avec les polliniseurs sont *Campanula rapunculoïdes* et *Campanula persicifolia*. Elles sont en lien respectivement avec six et trois espèces de polliniseurs différentes. *Silene nutans* compte également trois liens avec des espèces différentes mais a moins d'interactions au total que les deux espèces mentionnées auparavant. En termes de nombre d'interactions, *Geranium sanguineum* et *Centranthus ruber* ont elles aussi attiré plusieurs insectes. *Stellaria media* et *Lamiastrum galeobdolon* étaient aussi présentes mais n'ont pas attiré d'insectes.

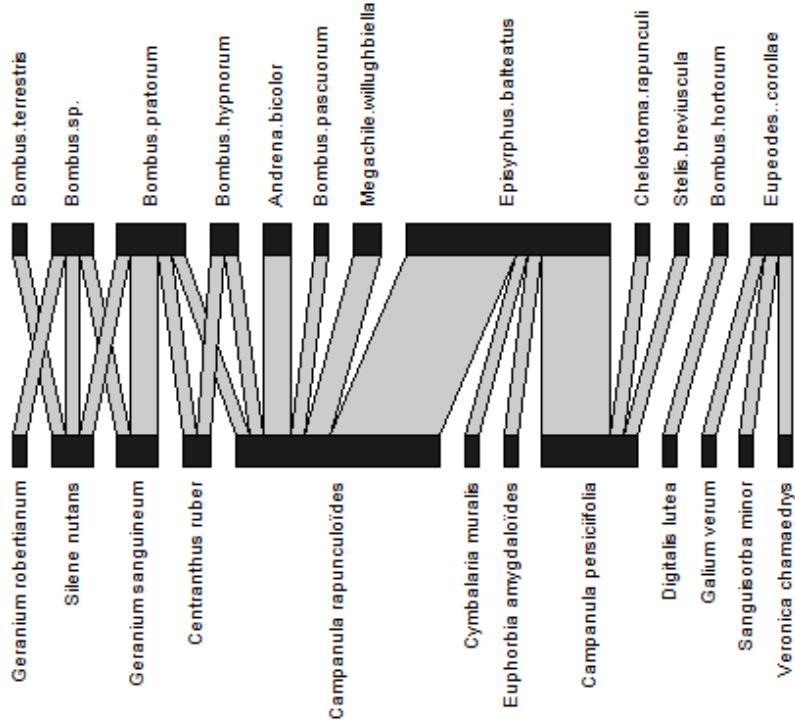


Figure 18. Réseau de polliniseurs du mur végétalisé de l'ATRIUM57. Les blocs supérieurs correspondent aux espèces de polliniseurs et les blocs inférieurs aux espèces de plantes. Les largeurs des blocs et des liens entre les blocs montrent l'importance des espèces et de leurs interactions.

5.2. Etude de la contribution du mur végétalisé de l'ATRIUM57 à la biodiversité entomofaunique de la ville de Gembloux.

5.2.1. Comparaison des visiteurs floraux du mur végétalisé de l'ATRIUM57 avec ceux présents dans les différents écosystèmes végétalisés entourant ce mur.

Cinq unités ont été observées dans les écosystèmes végétalisés avoisinant le mur de l'ATRIUM57. Sur l'ensemble de la période d'échantillonnage, cela représente 40 unités observées pendant 7 minutes. Au total, ce sont soixante visiteurs floraux qui ont été observés. Six d'entre eux n'ont pas pu être capturés mais ils ont tout de même été observés et classés selon leur ordre et dans la mesure du possible selon leur famille. Vingt espèces différentes issues de sept familles ont été observées dans les écosystèmes voisins du mur végétalisé. Cinq des onze espèces présentes sur le mur vert de l'ATRIUM57 n'ont pas été observées dans les écosystèmes végétalisés urbains. Celles-ci sont : *Bombus hortorum*, *Bombus hypnorum*, *Bombus pratorum*, *Chelostoma rapunculi* et *Stelis breviuscula* (Figure 19).

L'analyse de correspondance (dimension 1 = 27,4% ; dimension 2 = 25,5%, Figure 19) met en évidence les correspondances existantes entre les espèces du mur et celles des différents écosystèmes étudiés. Il en ressort qu'il y a de nombreuses correspondances entre les espèces du mur et celles présentes dans le bac potager urbain et en bord de route. Par contre, nettement moins de correspondances sont observées entre les visiteurs floraux du mur et ceux des trois autres écosystèmes.

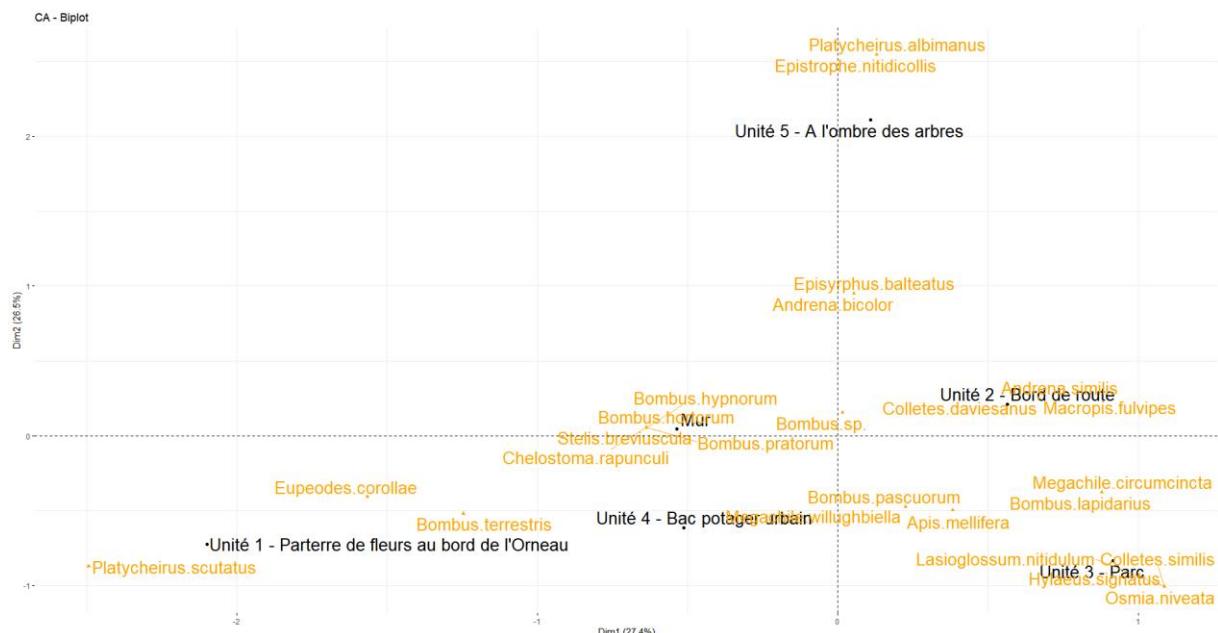


Figure 19. CA – Correspondance Analysis. Correspondances entre les espèces de visiteurs floraux et les sites étudiés : mur végétalisé de l'ATRIUM57 et différents écosystèmes végétalisés urbains avoisinant le mur vert (Gembloux, 2021)

Le nombre moyen de fleurs ouvertes par unité observée varie d'une unité à l'autre. Ce nombre varie de 21,51 à 232,63 fleurs ouvertes par unité (Tableau 6).

Tableau 6. Nombre de fleurs ouvertes par espèce florale et par unité observée dans les écosystèmes végétalisés avoisinant le mur de l'ATRIUM57. Quantité de sucre (mg) dans le nectar produit par une fleur en un jour.

	Espèce végétale	Moyenne du nombre de fleurs ouvertes	Quantité de sucre (mg/fleur/jour)
Unité 1 – Parterre de fleurs au bord de l'Orneau	<i>Matrica chamomilla</i>	45,25	**
	<i>Stellaria media</i>	26,63	0,0071
	<i>Viola tricolor</i>	12,63	**
	TOTAL	84,50	
Unité 2 – Bord de route	<i>Achillea millefolium</i>	7,00	0,0076
	<i>Geranium pyrenaicum</i>	45,75	**
	<i>Vicia sativa</i>	3,38	**
	TOTAL	56,13	
Unité 3 – Parc	<i>Centaurea nigra</i>	1,75	0,20
	<i>Leucanthemum vulgare</i>	19,50	0,016
	<i>Trifolium sp.</i>	14,88	0,049
	TOTAL	36,13	
Unité 4 – Bac potager urbain	<i>Borago officinalis</i>	4,50	1,2
	<i>Thymus vulgaris</i>	> 200*	0,013
	<i>Viola tricolor</i>	28,13	**
	TOTAL	232,63	
Unité 5 – A l'ombre des arbres	<i>Chelidonium majus</i>	16,38	**
	<i>Geranium robertianum</i>	5,13	0,098
	TOTAL	21,51	

* Estimation car le nombre d'unités florales était trop important que pour pouvoir être compté.

** Donnée manquante dans la littérature

Sur l'ensemble de la période d'étude, il existe une grande variation du nombre de visiteurs floraux observés selon l'écosystème étudié. Dans les écosystèmes « Parterre de fleurs au bord de l'Orneau », « Bac potager urbain » et « A l'ombre des arbres » ce sont respectivement trois, trois et huit observations qui ont été faites. Alors que dans les écosystèmes « Bord de route » et « Parc » ce sont respectivement 24 et 22 observations qui ont été faites.

5.2.2. Comparaison des visiteurs floraux du mur végétalisé de l'ATRIUM57 avec ceux présents à l'échelle de la ville de Gembloux.

L'entomofaune du mur végétalisé a été comparée avec le pool de diversité urbain issu de la base de données fauniques de Gembloux et de Mons. Premièrement, il en ressort que 74 espèces différentes ont été recensées dans un carré de 4 km sur 4 centré sur le mur végétalisé de l'ATRIUM57 (liste des espèces présentes en Annexe 5). Sur les 12 espèces capturées sur le mur végétalisé, seule *Megachile willughbiella* n'est pas reprise dans la BDFGM. Elle a cependant été observée dans un des écosystèmes végétalisés étudiés. Il est à noter que les espèces de la famille des *Syrphidae* ne sont pas présentes dans la base de données. Cependant, il est certain que les deux espèces de syrphes présentes à l'échelle du mur végétalisé le sont également à l'échelle de la ville de Gembloux et ce, par la comparaison réalisée au préalable avec les écosystèmes avoisinants le mur végétalisé. En effet, ces deux espèces de syrphes, *Episyrphus balteatus* et *Eupeodes corollae*, sont bel et bien présentes dans les écosystèmes végétalisés étudiés.

6. Discussion générale

De mai à juillet 2021, le mur végétalisé de l'ATRIUM57 a été étudié afin de connaitre la diversité entomologique qu'il accueille ainsi que les interactions qui s'y passent.

De manière générale, très peu d'insectes ont pu être récoltés, que ce soit par la méthode de piégeage (insectes de plus de 5 mm) ou par l'observation et la capture directe. Cette faible abondance peut être expliquée par divers éléments qui sont repris dans cette discussion.

Tout d'abord, l'étude a permis de montrer que l'orientation de la façade à un impact sur l'abondance d'insectes qui y sont retrouvés. Malgré le fait que la température moyenne générale n'a montré que peu, voire aucune influence sur le nombre d'insectes observés, les variations locales des températures moyennes sont quant à elles non négligeables. La température est en grande partie responsable de la floraison et donc de la ressource florale disponible pour les polliniseurs (Olliff-Yang and Ackerly, 2020). Les sorties et les visites de ces derniers sont également influencées par la température (Westphal *et al.*, 2008).

L'ensoleillement est un facteur qui n'a pas été mesuré dans le cadre de cette étude mais pourrait l'être à l'avenir dans des études similaires. De fait, il a lui aussi un impact sur le taux de visites par les insectes d'une zone fleurie (Westphal *et al.*, 2008).

La présence de polliniseurs est influencée par la présence, l'abondance et la diversité des ressources florales mais aussi par la morphologie des espèces florales et par leur attractivité (Potts *et al.*, 2003; Aldridge *et al.*, 2011). Plus la diversité florale est importante, plus la faune qu'il sera possible d'observer à cet endroit sera variée (Bernier, 2011). En ce qui concerne l'attractivité, la quantité de sucre dans le nectar des espèces du mur végétalisé est proche de celle des fleurs présentes dans les écosystèmes végétalisés urbains étudiés. *Galium verum*, *Stellaria media* et *Veronica chamaedrys* sont les trois espèces du mur vert ayant une très faible quantité de sucre dans leur nectar.

Les variations micro climatiques impactent la phénologie des plantes. Les décalages de floraison entre les zones orientées différemment permettent aux animaux, et donc aux insectes, de bénéficier de ressources florales tout au long de la saison (Hindle *et al.*, 2015; Vaudo *et al.*, 2015).

Lors du dernier échantillonnage, un pic d'observations a été constaté. A ce moment-là, les périodes de floraison de *Digitalis lutea*, qui est une espèce très nectarifère, ainsi que celle de *Campanula rapunculoides*, avaient débuté. L'augmentation du nombre de polliniseurs ce jour-là pourrait être expliquée par l'apparition de ces espèces.

A partir du 7 juin, une légère augmentation du nombre d'observations avait été constatée. Cette augmentation est quant à elle corrélée avec le changement de méthode d'observation.

En termes de floraison, une augmentation de la densité du couvert des plantes hôtes présentes en milieu urbain conduit à une augmentation de l'abondance de polliniseurs présents dans ce milieu (Banaszak-Cibicka, Ratyńska and Dylewski, 2016). Nous avons pu constater dans cette étude que la densité florale par unité d'observation était relativement faible. Cela pourrait être l'une des raisons expliquant la faible abondance d'insectes enregistrée.

La présence d'éléments paysagers tels que des jardins avec généralement des espèces florales exotiques, ou encore des parcs et des espaces verts, a des répercussions sur la distribution des polliniseurs dans l'environnement (Hülsmann *et al.*, 2015; Baldock *et al.*, 2019). Ils peuvent être une importante source de nectar et de pollen. Les jardins sont d'ailleurs considérés comme la source principale d'approvisionnement en nectar pour les polliniseurs à l'échelle de la ville (Tew *et al.*, 2021). L'étude de l'insertion du mur végétalisé dans son environnement et les liens avec les écosystèmes végétalisés voisins prend dès lors tout son sens.

Dans un rayon de 100 mètres autour du mur vert, de nombreux jardins, des parterres fleuris, un parc géré en tonde tardive avec des plantes indigènes, un bac potager, des arbres en fleurs étaient présents lors de l'étude. Tous ces éléments influencent la répartition des polliniseurs. Nous pouvons donc émettre l'hypothèse que le milieu dans lequel s'insère le mur joue un rôle dans la faible présence d'insectes observés et piégés sur le mur. En effet, celui-ci est situé dans un couloir relativement étroit et à l'ombre de grands arbres ce qui limite l'accessibilité. Et comme mentionné au préalable, il est également situé à proximité de nombreux jardins fleuris et d'un parc attirant les polliniseurs.

L'observation de plusieurs de ces écosystèmes végétalisés a permis de répertorier un plus grand nombre d'insectes dans ces milieux et donc laisse supposer qu'il y a moins d'insectes présents à l'échelle du mur qu'au niveau du sol. Des études menées sur les toitures vertes font le même constat (Colla, Willis and Packer, 2009; MacIvor and Lundholm, 2011; Tonietto *et al.*, 2011). Dans le cadre de notre étude, bien que la diversité entomofaunique du mur vert soit plus faible que celle des autres habitats étudiés, cinq des espèces présentes sur le mur vert n'ont pas été observées dans ces habitats. Lorsque nous prenons une échelle d'observation plus large autour du mur, seule une espèce d'abeille solitaire *Megachile willughbiella* identifiée sur le mur n'est pas reprise dans les données issues de la BDFGM.

L'évaluation du réseau de polliniseurs montre que les espèces entomofauniques observées sont majoritairement, voire exclusivement, des espèces généralistes. Trop peu de données ont été collectées que pour pouvoir affirmer qu'une espèce d'insectes est une espèce spécialiste. Difficile donc de déterminer le comportement spécialiste ou non d'une espèce en se basant uniquement sur cette étude. Nous émettons l'hypothèse que, si des espèces florales attirant tout particulièrement des espèces spécialistes étaient plantées au sein du mur végétalisé, des polliniseurs spécialisés seraient alors observables (Tonietto *et al.*, 2011).

Le mur possède une diversité de 12 espèces de polliniseurs différents observés. L'espèce la plus commune est *Episyrrhus balteatus* dont la majorité sont des femelles. La forte abondance de syrphes femelles peut s'expliquer par la présence d'une grande quantité de pucerons (35% des insectes de moins de 5 mm récoltés dans les pan traps). Parmi les ordres retrouvés, que ce soit dans les pan traps ou lors des observations, aucun Lépidoptère n'a été piégé ou aperçu. Nous constatons également une faible abondance et une faible diversité d'abeilles sur ce mur vert.

Les espèces florales pour lesquelles nous observons de nombreuses interactions sont *Campanula rapunculoides* et *Campanula persicifolia* suivi par *Silene nutans*, *Geranium sanguineum* et *Centranthus ruber*. *Stellaria media* et *Lamiastrum galeobdolon* sont les deux espèces présentes sur le mur de l'ATRIUM57 n'ayant attiré aucun insecte. *Campanula rapunculoides* et *Campanula persicifolia* représente à elles deux 4,68% des ressources florales du mur végétalisé.

❖ *Principales forces et faiblesses de l'étude*

Cette étude peut être considérée comme l'une des premières à s'intéresser à la diversité entomologique présente à l'échelle d'un mur végétalisé et plus particulièrement aux interactions entre les insectes et les plantes présentes dans les systèmes de murs végétalisés. En effet, beaucoup d'études parlent des murs végétalisés comme étant des systèmes de support à la biodiversité mais très peu ont été menées sur la faune entomologique présente dans ces murs (Nandwani, 2018).

Cette étude a rencontré un ensemble de contraintes pratiques. Premièrement, les conditions météorologiques sur la période d'étude étaient particulièrement pluvieuses ou venteuses. Ces conditions ne sont pas propices à la présence d'insectes et sont également contraignantes pour l'utilisation de la nacelle élévatrice. Nous étions également contraints par les activités se déroulant au Centre culturel qui ne nous autorisait pas un accès sept jours sur sept au mur. Finalement, nous louions la nacelle élévatrice à des dates fixes et donc peu flexibles lorsque nous nous rendions compte qu'une semaine s'annonçait mauvaise en termes de conditions météorologiques.

L'étude a débuté relativement tard en mai 2021 or certaines abeilles apparaissent déjà au début du printemps et ont donc été manquées (Baldock *et al.*, 2015). D'autres n'ont pu être capturées.

Certains biais peuvent être liés à l'identification ou à l'effort d'échantillonnage.

Un biais apparaît dû au choix qualitatif des unités d'observation lors des quatre dernières journées d'échantillonnage. Nous allions là où la ressource florale était abondante. L'objectif étant d'établir le réseau de polliniseurs, l'accent était donc mis principalement sur l'observation d'interactions. Cela a mené au fait que seules des statistiques descriptives ont pu être réalisées.

Le réseau de polliniseurs est basé sur l'observation des contacts entre les insectes et les espèces florales. Certaines interactions ne sont pas observées du fait de la morphologie de l'insecte (ex : petits insectes moins facilement observables à l'œil nu) (Roulston, Smith and Brewster, 2007;

Wood, Holland and Goulson, 2015) ou de l'absence de fleurs pour une espèce sur la durée de l'étude. Ce réseau ne représente dès lors qu'un sous-échantillon des liens possibles entre pollinisateurs et espèces végétales (Olesen *et al.*, no date; de Manincor *et al.*, 2020). Un réseau de pollinisateurs varie dans le temps mais conserve certaines de ses tendances initiales (Alarco, Waser and Ollerton, 2008).

Une autre limitation de notre étude est qu'elle considère uniquement le sucre présent dans le nectar comme ressource pour les pollinisateurs. Cependant, certains pollinisateurs ne se contentent pas uniquement du nectar mais consomment aussi du pollen (Tew *et al.*, 2021).

A l'issue de ce travail, plusieurs hypothèses ont été émises et pourraient servir aux futures études menées sur ce sujet. De plus, les résultats de cette étude sont intéressants car ils pourront être utilisés pour planifier les futurs murs verts dans les milieux urbains.

❖ *Pistes et recommandations pour une amélioration*

Afin de pouvoir poser davantage d'hypothèses et de tirer des conclusions, différents éléments devraient être pris en compte dans de futures études menées sur le sujet.

Tout d'abord, des études à plus long terme, avec de plus grands efforts d'échantillonnage permettraient d'avoir une meilleure idée de la structure du réseau de pollinisateurs au sein du mur. Une étude pourrait être menée sur plusieurs murs verts afin de pouvoir comparer les facteurs influençant la présence des visiteurs floraux. Il serait également intéressant de comparer les murs végétalisés construits avec ceux se développant naturellement dans les villes.

De plus, ces études devraient inclure des mesures d'ensoleillement, réalisées à l'aide d'outils spécifiques ou plus simplement en notant le pourcentage d'ombrage sur la façade lors des jours d'échantillonnage. Celui-ci pourrait jouer un rôle non négligeable dans la présence de visiteurs floraux.

Finalement, une étude du réseau de pollinisateurs à une plus grande échelle apporterait une meilleure compréhension sur l'insertion du mur dans le maillage vert d'une ville.

7. Contribution personnelle

Afin de cerner l'étendue de ce qui avait déjà été étudié dans les domaines liés à son sujet de mémoire et d'en apprendre davantage, l'étudiante a réalisé de nombreuses recherches dans la littérature. Ces recherches lui ont permis de concevoir et d'imaginer petit à petit un protocole adapté au cas particulier que sont les systèmes de murs végétaux.

Ensuite est venue l'étape de la planification et de la préparation sur le terrain. L'étudiante a prospecté, commandé et rassemblé tout le matériel requis. Elle a également imaginé et réalisé de A à Z des systèmes de « pan traps » adaptés au mur vert concerné. Une procédure, avec l'ordre des actions à réaliser sur le terrain, a été établie afin de faciliter l'organisation sur place.

Pour son étude, l'étudiante a bénéficié d'un accès au mur vert du Centre culturel ATRIUM57 de Gembloux. Une concertation et une collaboration avec les autres membres venant sur le terrain a été nécessaire et mise en place.

Face aux contraintes rencontrées (les conditions météorologiques, le peu d'observations lors des premières journées d'échantillonnage, la disponibilité de la nacelle élévatrice, la difficulté d'attraper les insectes à l'aide du filet, ...), l'étudiante a dû faire preuve d'une capacité d'adaptation.

Une fois les données récoltées, l'étudiante a réalisé l'identification de l'ensemble des insectes. Elle a ensuite contacté des personnes compétentes acceptant de réaliser une post-vérification.

Pour l'analyse de ses données, l'étudiante s'est renseignée sur les méthodes statistiques qui leur étaient applicables. Pour l'analyse de certains résultats, elle a conçu un code sur le logiciel R.

La discussion en elle-même a également été enrichie par les recherches réalisées par l'étudiante dans la littérature scientifique.

De manière générale, sur l'ensemble du travail, l'étudiante a pris contact avec diverses personnes compétentes dans différents domaines et susceptibles de répondre à ses interrogations ce qui lui a permis d'aller plus loin dans la réflexion. Tout cela lui a donné la possibilité de construire petit à petit le travail repris dans ce rapport.

A plus grande échelle, ce mémoire contribue au développement du projet First Spin-Off MURVERT mené par la Faculté de Gembloux Agro-Bio Tech dans lequel il s'insère.

8. Conclusion et perspectives

Le premier objectif de cette étude était d'étudier la diversité des visiteurs floraux et leurs interactions au sein du mur végétalisé du Centre culturel de la ville de Gembloux. Que ce soit par la méthode de piégeage par pan traps ou par observation, une faible abondance d'insectes a été constatée. Cette faible abondance peut s'expliquer par des facteurs tels que la densité de fleurs au mètre carré ou la présence d'espèces florales offrant une faible récompense en nectar. Le choix de l'orientation de la façade et les variations locales qui y sont liées telles que les variations de température influencent également les communautés d'insectes présentes sur le mur végétalisé. La communauté d'espèces florales présentes sur le mur est diversifiée, en mélange avec d'autres espèces de plantes non-entomogames et répartie de manière relativement homogène sur le mur. Ce choix de répartition lors de la plantation réduit les taux de visite par les pollinisateurs. Sur le mur végétalisé de l'ATRIUM57, le couvert végétal évolue dans le temps et l'hypothèse que la floraison de certaines espèces attirant davantage de pollinisateurs a été posée.

Le deuxième objectif était d'étudier la contribution du mur végétalisé à la biodiversité entomofaunique de la ville de Gembloux. Lorsque nous nous plaçons dans une approche réseau à l'échelle de la ville, nous constatons que les éléments paysagers présents influencent la répartition des visiteurs floraux. L'hypothèse selon laquelle le milieu dans lequel s'insère le mur vert joue un rôle dans la faible diversité d'insectes présente sur/dans ce dernier a donc été émise. En effet, une plus faible diversité de visiteurs floraux sur le mur par rapport aux écosystèmes végétalisés voisins a pu être constatée.

De manière générale, les résultats obtenus dans le cadre de l'étude sur le mur végétalisé de l'ATRIUM57 montrent que le principal défi dans la création de murs végétalisés servant de support à la biodiversité réside principalement dans les choix effectués lors de sa conception et de son installation. De fait, les murs verts sont des milieux potentiellement précieux pour la conservation des pollinisateurs mais ils le sont davantage s'ils sont composés d'espèces indigènes fournissant des ressources florales. Les murs verts sont également plus attrayants pour la diversité entomofaunique s'ils sont pensés de manière à attirer les pollinisateurs : répartition hétérogène des fleurs sur l'ensemble du mur pour former des zones plus denses et plus attractives, diversité de fleurs davantage nectarifères réparties sur l'ensemble de la saison et particulièrement en début de saison pour soutenir le réseau de pollinisateurs. Le milieu dans lequel s'insère le mur vert impacte l'abondance d'insectes visitant ce mur mais cela n'empêche pas ce dernier de jouer un rôle de couloir écologique.

Cette étude sur les interactions plantes-insectes réalisée sur le mur végétalisé de la ville de Gembloux est l'une des pionnières dans ce domaine. Certes, elle présente certaines limites mais celles-ci ouvrent de nouvelles possibilités pour des études à venir.

9. Bibliographie

- Alarco, R., Waser, N. M. and Ollerton, J. (2008) 'interaction network', (July). doi: 10.1111/j.0030-1299.2008.16987.x.
- Aldridge, G. *et al.* (2011) 'Emergence of a mid-season period of low floral resources in a montane meadow ecosystem associated with climate change', *Journal of Ecology*, 99(4), pp. 905–913. doi: 10.1111/j.1365-2745.2011.01826.x.
- Arnan, X. *et al.* (2014) 'Female reproductive success in gynodioecious *Thymus vulgaris*: Pollen versus nutrient limitation and pollinator foraging behaviour', *Botanical Journal of the Linnean Society*, 175(3), pp. 395–408. doi: 10.1111/boj.12173.
- Baldock, K. C. (2020) 'Opportunities and threats for pollinator conservation in global towns and cities', *Current Opinion in Insect Science*, 38, pp. 63–71. doi: 10.1016/j.cois.2020.01.006.
- Baldock, K. C. R. *et al.* (2015) 'Where is the UK's pollinator biodiversity? The importance of urban areas for flower-visiting insects', *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1803). doi: 10.1098/rspb.2014.2849.
- Baldock, K. C. R. *et al.* (2019) 'A systems approach reveals urban pollinator hotspots and conservation opportunities', *Nature Ecology and Evolution*, 3(3), pp. 363–373. doi: 10.1038/s41559-018-0769-y.
- Banaszak-Cibicka, W., Ratyńska, H. and Dylewski, Ł. (2016) 'Features of urban green space favourable for large and diverse bee populations (Hymenoptera: Apoidea: Apiformes)', *Urban Forestry and Urban Greening*, 20, pp. 448–452. doi: 10.1016/j.ufug.2016.10.015.
- Barnosky, A. D. *et al.* (2011) 'Has the Earth's sixth mass extinction already arrived?', *Nature*, pp. 51–57. doi: 10.1038/nature09678.
- Baude, M. *et al.* (2016) 'Historical nectar assessment reveals the fall and rise of floral resources in Britain', *Nature*, 530(7588), pp. 85–88. doi: 10.1038/nature16532.
- Bernier, A. (2011) 'Végétalisation du bâtiment en milieu urbain : bénéfices et perspectives', pp. 49–82.
- Bhatta, B. (2010) 'Analysis of Urban Growth and Sprawl from Remote Sensing Data', *Advances in Geographic Information Science*, pp. 17–37. doi: 10.1007/978-3-642-05299-6.
- Biesmeijer, J. C. *et al.* (2006) 'Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands', *Science*, 313(5785), pp. 351–354. doi: 10.1126/science.1127863.
- Boisson, S. *et al.* (2020) 'Fonds de maturation des résultats de la recherche Projet POC (Proof Of Concept) Appel à propositions Février 2020', pp. 1–25.

- Bruxelles, R. W. (2020) 'Aide à la Recherche et à la Sensibilisation ONTIME - Aide « FSO » - déclaration d'intention - Projet MURVERT', (1), pp. 1–5.
- Burdine, J. D. and McCluney, K. E. (2019) 'Differential sensitivity of bees to urbanization-driven changes in body temperature and water content', *Scientific Reports*, 9(1), pp. 1–10. doi: 10.1038/s41598-018-38338-0.
- Chen, C. *et al.* (2020) 'Walls offer potential to improve urban biodiversity', *Scientific Reports*, 10(1), pp. 1–10. doi: 10.1038/s41598-020-66527-3.
- Chinery, M. (2012) *Insectes de France et d'Europe occidentale*, Flammarion.
- Chiquet, C., Dover, J. W. and Mitchell, P. (2013) 'Birds and the urban environment: The value of green walls', *Urban Ecosystems*, 16(3), pp. 453–462. doi: 10.1007/s11252-012-0277-9.
- Colla, S. R., Willis, E. and Packer, L. (2009) 'Can green roofs provide habitat for urban bees (Hymenoptera: Apidae)?', *Cities and the Environment*, 2(1), pp. 1–12. doi: 10.15365/cate.2142009.
- Commission européenne (2014) 'Infrastructure Verte Crée une pour l'Europe'. doi: 10.2779/27805.
- Deguines, N. *et al.* (2016) 'Functional homogenization of flower visitor communities with urbanization', *Ecology and Evolution*, 6(7), pp. 1967–1976. doi: 10.1002/ece3.2009.
- Delvare, G. and Pierre, A. (1989) *Les insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale - Clés pour la reconnaissance des familles*.
- Dormann, C. F., Fruend, J. and Gruber, B. (no date) *Visualising Bipartite Networks and Calculating Some (Ecological) Indices*. Available at: <https://cran.r-project.org/web/packages/bipartite/index.html> (Accessed: 10 August 2021).
- Droege, S. *et al.* (2010) 'Spatial patterns of bee captures in North American bowl trapping surveys', *Insect Conservation and Diversity*, 3(1), pp. 15–23. doi: 10.1111/j.1752-4598.2009.00074.x.
- Dunnett, N. and Kingsbury, N. (2008) *Planting green roofs and living walls*, Timber Press.
- Elle, E. and Carney, R. (2003) 'Reproductive assurance varies with flower size in *Collinsia parviflora* (Scrophulariaceae)', *American Journal of Botany*, 90(6), pp. 888–896. doi: 10.3732/ajb.90.6.888.
- Falk, S. J. (2015) *Field guide to the bees of Great Britain and Ireland*, Bloomsbury Publishing.
- Fijen, T. P. M. and Kleijn, D. (2017) 'How to efficiently obtain accurate estimates of flower visitation rates by pollinators', *Basic and Applied Ecology*, 19, pp. 11–18. doi:

10.1016/j.baae.2017.01.004.

Flacher, F. (2016) 'Influence des interactions entre espèces végétales sur les relations plantes-polliniseurs : cas de la compétition induite par la présence d'espèces anémophiles sur l'attractivité aux polliniseurs d'espèces entomomophiles', *Université Pierre et Marie Curie - Paris VI*, p. 46.

Francis, J. S. et al. (2019) 'Nectar quality changes the ecological costs of chemically defended pollen', *Current Biology*, 29(14), pp. R679–R680. doi: 10.1016/j.cub.2019.05.046.

Francis, R. A. (2011) 'Wall ecology: A frontier for urban biodiversity and ecological engineering'. doi: 10.1177/0309133310385166.

Froment, C. and Mahy, G. (2017) 'Arthropods Communities on Green Roofs in Brussels : Influence of Roof Vegetation and Landscape Context', pp. 1–31.

Garibaldi, L. A. et al. (2014) 'Honey Bee Abundance', *Science*, 339(May), pp. 1608–1611.

Gezon, Z. J. et al. (2015) 'The effect of repeated, lethal sampling on wild bee abundance and diversity', *Methods in Ecology and Evolution*, 6(9), pp. 1044–1054. doi: 10.1111/2041-210X.12375.

Greenleaf, S. S. et al. (2007) 'Bee foraging ranges and their relationship to body size', *Oecologia*, 153(3), pp. 589–596. doi: 10.1007/s00442-007-0752-9.

Hadba, L., Mendonça, P. and Silva, L. T. (2017) 'Green walls an efficient solution for hygrothermal, noise and air pollution control in the buildings', *Living and Sustainability: an Environmental Critique of Design and Building Practices, Locally and Globally*, (February 2018). Available at: <http://repository.sduum.uminho.pt/handle/1822/45971>.

Hernandez, J. L., Frankie, G. W. and Thorp, R. W. (2009) 'Ecology of Urban Bees: A Review of Current Knowledge and Directions for Future Study', *Cities and the Environment*, 2(1), pp. 1–15. doi: 10.15365/cate.2132009.

Herrera, C. M., Pérez, R. and Alonso, C. (2006) 'Extreme intraplant variation in nectar sugar composition in an insect-pollinated perennial herb', *American Journal of Botany*, 93(4), pp. 575–581. doi: 10.3732/ajb.93.4.575.

Hindle, B. J. et al. (2015) 'Topographical variation reduces phenological mismatch between a butterfly and its nectar source', *Journal of Insect Conservation*, 19(2), pp. 227–236. doi: 10.1007/s10841-014-9713-x.

Hirst, C. N. and Jackson, D. A. (2007) 'Reconstructing community relationships: The impact of sampling error, ordination approach, and gradient length', *Diversity and Distributions*, 13(4), pp. 361–371. doi: 10.1111/j.1472-4642.2007.00307.x.

Hülsmann, M. *et al.* (2015) 'Plant diversity and composition compensate for negative effects of urbanization on foraging bumble bees', *Apidologie*, 46(6), pp. 760–770. doi: 10.1007/s13592-015-0366-x.

IRM (2021a) *Bilan climatique mensuel juillet 2021*. Available at: www.meteo.be (Accessed: 9 August 2021).

IRM (2021b) *Bilan climatique mensuel juin 2021*. Available at: www.meteo.be (Accessed: 9 August 2021).

IRM (2021c) *Bilan climatique mensuel mai 2021*. Available at: www.meteo.be (Accessed: 9 August 2021).

Junker, R. R. (2016) 'Multifunctional and Diverse Floral Scents Mediate Biotic Interactions Embedded in Communities', in. Springer, Cham, pp. 257–282. doi: 10.1007/978-3-319-33498-1_11.

Kayser, M. (2021) *Etude de la diversité des insectes pollinisateurs sur des murs végétaux*.

Klumpers, S. G. T., Stang, M. and Klinkhamer, P. G. L. (2019) 'Foraging efficiency and size matching in a plant–pollinator community: the importance of sugar content and tongue length', *Ecology Letters*, 22(3), pp. 469–479. doi: 10.1111/ele.13204.

Knopper, L. D. *et al.* (2016) 'Sugar concentration in nectar: a quantitative metric of crop attractiveness for refined pollinator risk assessments', *Pest management science*, 72(10), pp. 1807–1812. doi: 10.1002/ps.4321.

Köhler, M. (2008) 'Green facades-a view back and some visions', *Urban Ecosystems*, 11(4), pp. 423–436. doi: 10.1007/s11252-008-0063-x.

Kudo, G. and Harder, L. D. (2005) 'Floral and inflorescence effects on variation in pollen removal and seed production among six legume species', *Functional Ecology*, 19(2), pp. 245–254. doi: 10.1111/j.1365-2435.2005.00961.x.

Lambdon, P. *et al.* (2008) 'Herbarium et al.. 2008. Alien flora of Europe species diversity , temporal trends , geographical patterns and research needs Zavlečená flóra Evropy druhová diverzita , časové trendy.pdf', pp. 101–149.

Lavergne, S., Molina, J. and Debussche, M. (2006) 'Fingerprints of environmental change on the rare mediterranean flora: A 115-year study', *Global Change Biology*, 12(8), pp. 1466–1478. doi: 10.1111/j.1365-2486.2006.01183.x.

MacIvor, J. S. (2016) 'Building height matters: nesting activity of bees and wasps on vegetated roofs', *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 62(1–2), pp. 88–96. doi: 10.1080/15659801.2015.1052635.

MacIvor, J. S. and Lundholm, J. (2011) 'Insect species composition and diversity on intensive green roofs and adjacent level-ground habitats', *Urban Ecosystems*, 14(2), pp. 225–241. doi: 10.1007/s11252-010-0149-0.

Madre, F. et al. (2015) 'Building biodiversity: Vegetated façades as habitats for spider and beetle assemblages', *Global Ecology and Conservation*, 3, pp. 222–233. doi: 10.1016/j.gecco.2014.11.016.

de Manincor, N. et al. (2020) 'Does phenology explain plant–pollinator interactions at different latitudes? An assessment of its explanatory power in plant–hoverfly networks in French calcareous grasslands', *Oikos*, pp. 753–765. doi: 10.1111/oik.07259.

Mayrand, F. et al. (2018) 'Vertical greening systems as habitat for biodiversity', *Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability*, (2016), pp. 227–237. doi: 10.1016/B978-0-12-812150-4.00021-5.

Mayrand, F. and Clergeau, P. (2018) 'Green roofs and greenwalls for biodiversity conservation: A contribution to urban connectivity?', *Sustainability (Switzerland)*, 10(4). doi: 10.3390/su10040985.

Mignon, J., Hauburge, E. and Francis, F. (2016) *Clé d'identification des principales familles d'insectes d'Europe*, Les presses universitaires de Liège - Agronomie.

Nandwani, D. (2018) *Urban Horticulture: Sustainability for the Future*.

Ohashi, K. and Yahara, T. (2009) 'Behavioural responses of pollinators to variation in floral display size and their influences on the evolution of floral traits', *Cognitive Ecology of Pollination*, pp. 274–296. doi: 10.1017/cbo9780511542268.015.

Olesen, J. M. et al. (no date) 'Missing and forbidden links in mutualistic networks'. doi: 10.1098/rspb.2010.1371.

Ollerton, J., Winfree, R. and Tarrant, S. (2011) 'How many flowering plants are pollinated by animals?', (321), pp. 321–326. doi: 10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x.

Olliff-Yang, R. L. and Ackerly, D. D. (2020) 'Topographic heterogeneity lengthens the duration of pollinator resources', *Ecology and Evolution*, 10(17), pp. 9301–9312. doi: 10.1002/ece3.6617.

Palmer-Young, E. C. et al. (2019) 'Secondary metabolites from nectar and pollen: a resource for ecological and evolutionary studies', *Ecology*, 100(4), p. 1045540. doi: 10.1002/ecy.2621.

Pauly, A. (2019) 'Abeilles de Belgique et des régions limitrophes (Insecta: Hymenoptera: Apoidea). Famille Halictidae', (August), p. 518.

Percival, M. and Morgan, P. (1965) 'Observations on the Floral Biology of Digitalis Species', *New Phytologist*, 64(1), pp. 1–22. doi: 10.1111/j.1469-8137.1965.tb05370.x.

Perini, K. and Rosasco, P. (2013) 'Cost-benefit analysis for green façades and living wall systems', *Building and Environment*, 70, pp. 110–121. doi: 10.1016/j.buildenv.2013.08.012.

Persson, A. S. *et al.* (2020) 'Wild bees and hoverflies respond differently to urbanisation, human population density and urban form', *Landscape and Urban Planning*, 204(February), p. 103901. doi: 10.1016/j.landurbplan.2020.103901.

Potts, S. G. *et al.* (2003) 'Linking bees and flowers: How do floral communities structure pollinator communities?', *Ecology*, 84(10), pp. 2628–2642. doi: 10.1890/02-0136.

Potts, S. G. *et al.* (2010) 'Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers', *Trends in Ecology and Evolution*, 25(6), pp. 345–353. doi: 10.1016/j.tree.2010.01.007.

Rader, R. *et al.* (2016) 'Non-bee insects are important contributors to global crop pollination', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(1), pp. 146–151. doi: 10.1073/pnas.1517092112.

Roulston, T. H., Smith, S. A. and Brewster, A. L. (2007) 'Short communication: A comparison of pan trap and intensive net sampling techniques for documenting a bee (Hymenoptera: Apiformes) fauna', *Journal of the Kansas Entomological Society*, 80(2), pp. 179–181. doi: 10.2317/0022-8567(2007)80[179:ACOPTA]2.0.CO;2.

SA POLL (2018) 'Clé simplifiée des genres d'apoïdes de la zone SA POLL'.

Seto, K. C., Güneralp, B. and Hutyra, L. R. (2012) 'Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(40), pp. 16083–16088. doi: 10.1073/pnas.1211658109.

Stawiarz, E. *et al.* (2020) 'Flowering, Forage Value, and Insect Pollination in Borage (*Borago Officinalis* L.) Cultivated in Se Poland', *Journal of Apicultural Science*, 64(1), pp. 77–89. doi: 10.2478/jas-2020-0005.

Steffan-Dewenter, I. *et al.* (2002) 'Scale-dependent effects of landscape context on three pollinator guilds', *Ecology*, 83(5), pp. 1421–1432. doi: 10.1890/0012-9658(2002)083[1421:SDEOLC]2.0.CO;2.

Strzałkowska-Abramek, M. *et al.* (2018) 'Nectar production in several campanula species (Campanulaceae)', *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, 17(3), pp. 127–136. doi: 10.24326/asphc.2018.3.13.

Tew, N. E. *et al.* (2021) 'Quantifying nectar production by flowering plants in urban and rural landscapes', (September 2020), pp. 1747–1757. doi: 10.1111/1365-2745.13598.

Tonietto, R. *et al.* (2011) 'A comparison of bee communities of Chicago green roofs, parks and prairies', *Landscape and Urban Planning*, 103(1), pp. 102–108. doi:

10.1016/j.landurbplan.2011.07.004.

Traveset, A. and Richardson, D. M. (2006) 'Biological invasions as disruptors of plant reproductive mutualisms', *Trends in Ecology and Evolution*, 21(4), pp. 208–216. doi: 10.1016/j.tree.2006.01.006.

Unité Biodiversité et Paysages (2019a) 'Mur végétalisé - Façade Nord-Ouest / Sud-Ouest'.

Unité Biodiversité et Paysages (2019b) 'Mur végétalisé - Façade Nord / Entrée'.

Vaudo, A. D. *et al.* (2015) 'Bee nutrition and floral resource restoration', *Current Opinion in Insect Science*, 10, pp. 133–141. doi: 10.1016/j.cois.2015.05.008.

Vázquez, D. P., Chacoff, N. P. and Cagnolo, L. (1967) 'Evaluating multiple determinants of the structure of plant-animal mutualistic network', *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 90(8), pp. 2039–2046.

Verlinden, L. (1994) *Faune de Belgique : syrphides (syrphidae)* . Edited by Bruxelles : Institut royal des sciences naturelles de Belgique I.R.S.N.B. Available at: https://explore.lib.uliege.be/discovery/fulldisplay?docid=alma990006083840502321&context=L&vid=32ULG_INST:ULIEGE&lang=fr&search_scope=ULIEGE&adaptor=Local Search Engine&tab=ULIEGE&query=any,contains,faune de belgique syrphides syrphidae lucien verlinden&offset=0 (Accessed: 9 August 2021).

Waser, N. M. *et al.* (2009) 'Generalization in Pollination Systems , and Why it Matters Author (s) : Nikolas M . Waser , Lars Chittka , Mary V . Price , Neal M . Williams , Jeff Ollerton Published by : Ecological Society of America Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/2265575>', *Ecology*, 77(4), pp. 1043–1060.

Westphal, C. *et al.* (2008) 'Measuring bee diversity in different European habitats and biogeographical regions', *Ecological Monographs*, 78(4), pp. 653–671. doi: 10.1890/07-1292.1.

Witt, T. *et al.* (1999) 'Nectar dynamics and sugar composition in flowers of Silene and Saponaria species (Caryophyllaceae)', *Plant Biology*, 1(3), pp. 334–345. doi: 10.1111/j.1438-8677.1999.tb00261.x.

Wood, T. J., Holland, · J M and Goulson, · D (2015) 'A comparison of techniques for assessing farmland bumblebee populations', *Oecologia*, 1, pp. 1093–1102. doi: 10.1007/s00442-015-3255-0.

10. Annexes

❖ Annexe 1

Annexe 1. Plan de plantation initial du mur végétalisé de l'ATRIUM57. Chaque couleur correspond à une association de plante défini par les fiches techniques d'appui à la réalisation du mur (Unité Biodiversité et Paysages, 2019b, 2019a)

	NORD						NORD-OUEST												SUD-OUEST						
Largeur	0,6	1,2	0,6	0,6	0,8		1,1	1,1	2,4	1,3	1,1	0,6	1,1	0,6	3,3	1,1	0,6	1,6	1,1	1,1	0,6	0,6	0,6	1,2	
Nb plante	3	-	3	-	4		5	-	12	-	5	-	5	-	16	-	3	8	-	5	-	3	-	6	
23	Z2-05		Z2-112				Z2-15		Z2-15		Z2-H16				Z2-H3	Z2-F8		Z2-05		Z2-03		Z2-06			
22	Z2-F5		Z2-012				Z2-15		Z2-H5		Z2-H16				Z2-H3	Z2-F8		Z2-F5		Z2-03		Z2-06			
21	Z2-45		Z2-012				Z2-H5		Z2-H5		Z2-H16				Z2-13	Z2-18		Z2-15		Z2-13		Z2-06			
20	Z1-B5		Z2-F12				Z2-H5		Z2-05		Z2-H16				Z2-13	Z2-18		Z2-15		Z2-13		Z2-16			
19	Z1-A5		Z2-E12				Z2-05		Z2-05		Z2-H16				Z2-03	Z2-18		Z2-H5		Z2-13		Z2-16			
18	Z1-C5		Z2-E12				Z2-F5		Z2-05		Z2-016				Z2-H3	Z2-H8		Z2-H5		Z2-F3		Z2-16			
17	Z1-D5		Z1-B12				Z2-F5		Z2-F5		Z2-016				Z2-H3	Z2-H8		Z2-F5		Z2-F3		Z2-16			
16	Z1-C5		Z1-B12				Z2-F5		Z2-F5		Z2-016				Z2-H3	Z2-E8		Z2-E5		Z2-H3		Z2-F6			
15	Z1-C5		Z1-A12				Z2-E5		Z2-E5		Z2-F16				Z2-03	Z2-H8		Z2-F5		Z2-F3		Z2-06			
14	Z1-A5		Z1-C12				Z1-B5		Z2-E5		Z2-F16				Z2-03	Z2-H8		Z2-H5		Z2-F3		Z2-06			
13	Z1-05		Z1-A12				Z1-A5		Z2-E5		Z2-F16				Z2-03	Z2-H8		Z2-H5		Z2-H3		Z2-H6			
12	Z3-A5		Z1-C12				Z1-C5		Z1-B5		Z2-E16				Z2-03	Z2-H8		Z2-F5		Z2-H3		Z2-H6			
11	Z1-A5		Z1-D12				Z1-C5		Z1-B5		Z2-H16				Z2-03	Z2-H8		Z2-F5		Z2-H3		Z2-H6			
10	Z1-B5		Z1-A12				Z1-B5		Z1-A5		Z1-B16				Z2-03	Z2-H8		Z2-05		Z2-F3		Z2-06			
9	Z1-B5		Z1-B12				Z1-B5		Z1-B5		Z1-B16				Z2-03	Z2-F8		Z2-05		Z2-03		Z2-06			
8	Z1-A5		Z1-C12				Z1-A5		Z1-C5		Z1-C16				Z2-03	Z2-H8		Z2-05		Z2-03		Z2-06			
7	Z1-C5		Z1-C12				Z1-05		Z1-C5		Z1-C16				Z2-03	Z2-F8		Z2-E5		Z2-H3		Z2-06			
6	Z1-D5		Z1-A12				Z1-C5		Z1-C5		Z1-A16				Z1-B3	Z2-E8		Z2-05		Z2-03		Z2-16			
5	Z1-C5		Z1-D12				Z1-C5		Z1-A5		Z1-A16				Z1-C13	Z2-E8		Z2-05		Z2-03		Z2-06			
4	Z1-A5		Z1-D12				Z1-A5		Z1-A5		Z1-A16				Z1-A3	Z2-F8		Z2-F5		Z2-E3		Z2-06			
3	Z1-05		Z1-A12				Z1-A5		Z1-05		Z1-A16				Z1-A3	Z2-E8		Z2-F5		Z2-03		Z2-06			
2	Z1-A5		Z1-A12				Z1-05		Z1-05		Z1-016				Z1-013	Z2-F8		Z2-E5		Z2-H3		Z2-H6			
1	Z1-A5		Z1-D12				Z1-05		Z1-05		Z1-016				Z1-023	Z2-F8		Z2-H5		Z2-H3		Z2-H6			

❖ Annexe 2

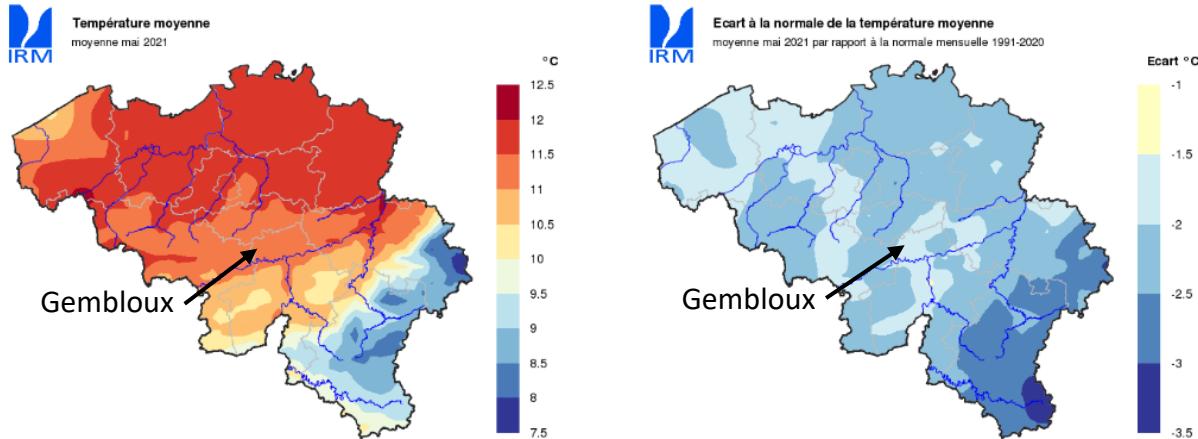
Annexe 2. Liste des espèces entomogames ou non, présentes sur le mur végétalisé de l'ATRIUM57 (Gembloux, 2021)

Espèce entomogame	Nombre	Espèce non - entomogame	Nombre
<i>Campanula persicifolia</i>	66	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	36
<i>Campanula rapunculoïdes</i>	52	<i>Asplenium scolopendrium</i>	70
<i>Centranthus ruber</i>	64	<i>Briza media</i>	66
<i>Cymbalaria muralis</i>	43	<i>Carex flacca</i>	137
<i>Digitalis lutea</i>	86	<i>Carex sylvaticum</i>	45
<i>Erysimum cheiri</i>	61		
<i>Euphorbia amygdaloïdes</i>	126	<i>Dryopteris filix-mas</i>	52
<i>Galium verum</i>	55	<i>Melica ciliata</i>	160
<i>Geranium sanguineum</i>	46	<i>Polypodium vulgare</i>	171
<i>Helleborus foetidus</i>	31	<i>Polystichum aculeatum</i>	73
<i>Lamiastrum galeobdolon</i>	47	<i>Sesleria caerulea</i>	51
<i>Pulmonaria officinalis</i>	64		
<i>Sanguisorba minor</i>	51		
<i>Saxifraga granulata</i>	51		
<i>Silene nutans</i>	38		
<i>Veronica chamaedrys</i>	52		
<i>Campanula persicifolia</i>	66		

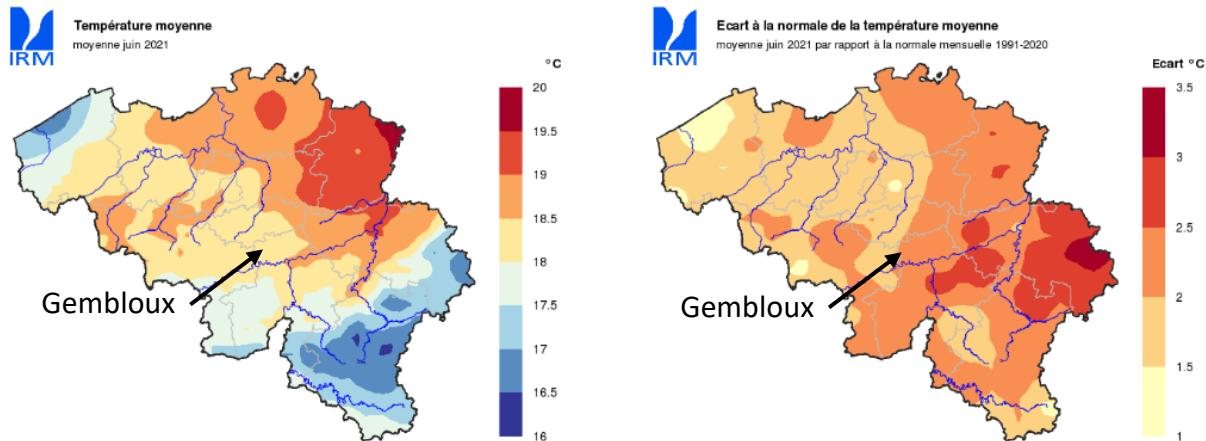
❖ Annexe 3

Annexe 3. Température moyenne et quantité de précipitations des mois de mai, juin et juillet 2021 ; écart à la normale mensuelle calculée de 1981 à 2020.

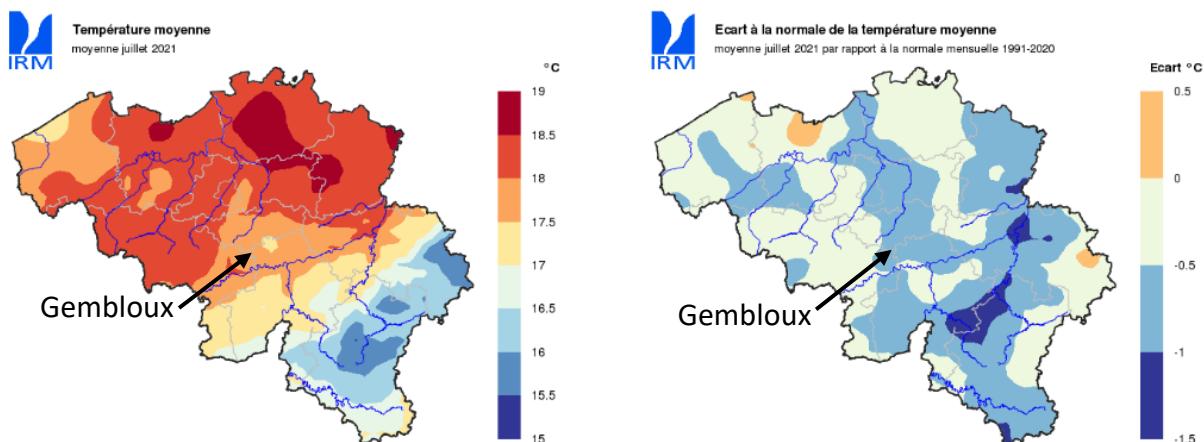
Température moyenne de mai 2021 et écart à la normale :



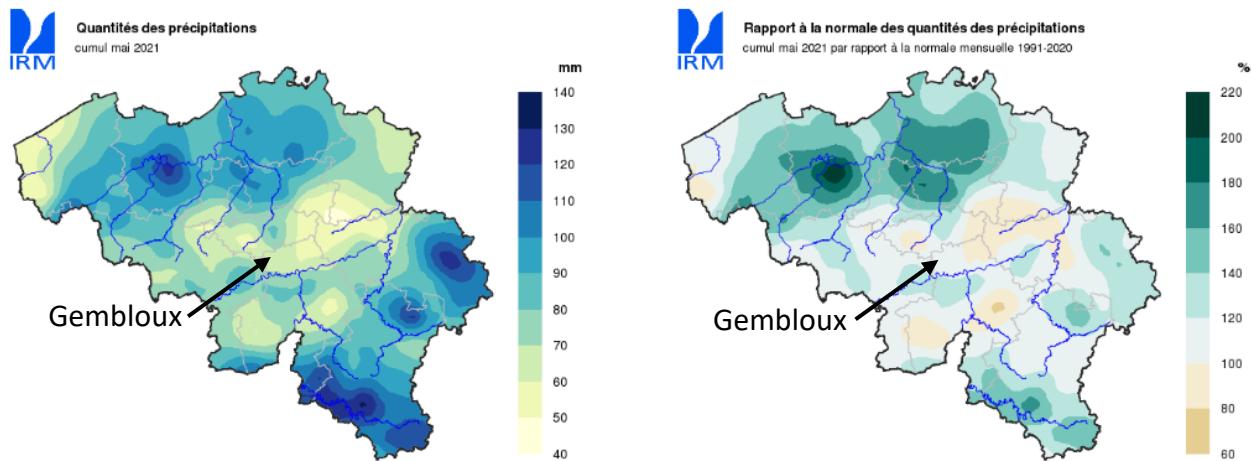
Température moyenne de juin 2021 et écart à la normale :



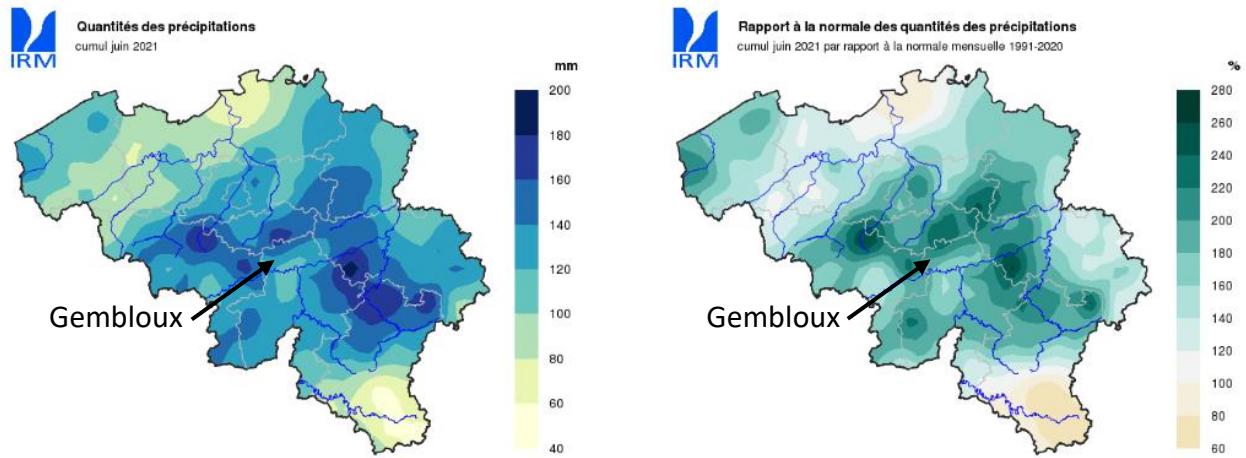
Température moyenne de juillet 2021 et écart à la normale :



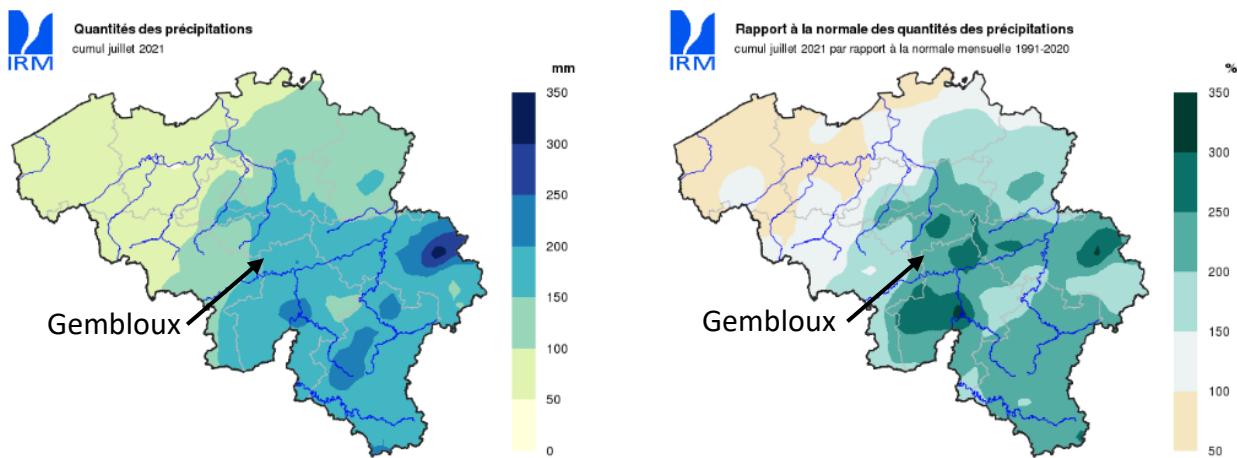
Quantité de précipitations de mai 2021 et écart à la normale :



Quantité de précipitations de juin 2021 et écart à la normale :

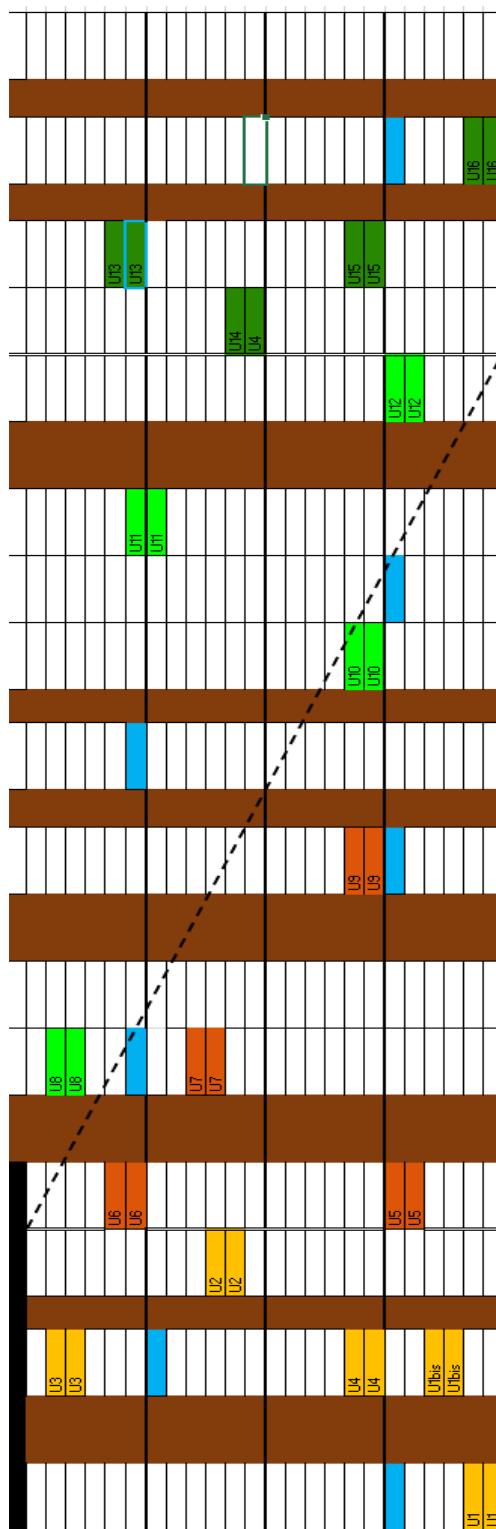


Quantité de précipitations de juillet 2021 et écart à la normale :



❖ Annexe 4

Annexe 4. Plan des unités d'observation et emplacement des pièges pour l'étude réalisée sur le mur végétalisé de l'ATRIUM57 (Gembloux, 2021)



❖ Annexe 5

Annexe 5. Liste des espèces présentes dans un carré de 4x4 km autour du mur végétalisé de l'ATRIUM57 (Gembloix, 2021) extraites de la base de données fauniques de Gembloix et de Mons (BDFGM)

Espèces	
<i>Andrena bicolor</i>	<i>Colletes hederae</i>
<i>Andrena carantonica</i>	<i>Heriades truncorum</i>
<i>Andrena chrysosceles</i>	<i>Hoplitis adunca</i>
<i>Andrena cineraria</i>	<i>Hylaeus annularis</i>
<i>Andrena clarkella</i>	<i>Hylaeus brevicornis</i>
<i>Andrena flavipes</i>	<i>Hylaeus communis</i>
<i>Andrena florea</i>	<i>Hylaeus cornutus</i>
<i>Andrena fulva</i>	<i>Hylaeus gredleri</i>
<i>Andrena fulvago</i>	<i>Hylaeus hyalinatus</i>
<i>Andrena gravida</i>	<i>Hylaeus pictipes</i>
<i>Andrena haemorrhoa</i>	<i>Hylaeus signatus</i>
<i>Andrena humilis</i>	<i>Hylaeus styriacus</i>
<i>Andrena lathyri</i>	<i>Lasioglossum minutissimum</i>
<i>Andrena mitis</i>	<i>Lasioglossum morio</i>
<i>Andrena nigroaenea</i>	<i>Lasioglossum villosulum</i>
<i>Andrena nitida</i>	<i>Macropis fulvipes</i>
<i>Andrena tibialis</i>	<i>Megachile centuncularis</i>
<i>Andrena vaga</i>	<i>Melitta nigricans</i>
<i>Anthidiellum strigatum</i>	<i>Nomada bifasciata</i>
<i>Anthidium manicatum</i>	<i>Nomada fabriciana</i>
<i>Anthophora plumipes</i>	<i>Nomada flava</i>
<i>Anthophora quadrimaculata</i>	<i>Nomada flavoguttata</i>
<i>Apis mellifera</i>	<i>Nomada flavopicta</i>
<i>Bombus (Bombus)</i>	<i>Nomada fucata</i>
<i>Bombus hortorum</i>	<i>Nomada goodeniana</i>
<i>Bombus hypnorum</i>	<i>Nomada lathburiana</i>
<i>Bombus jonellus</i>	<i>Nomada leucophthalma</i>
<i>Bombus lapidarius</i>	<i>Nomada panzeri</i>
<i>Bombus pascuorum</i>	<i>Nomada ruficornis</i>
<i>Bombus pratorum</i>	<i>Osmia bicornis</i>
<i>Bombus sp.</i>	<i>Osmia caerulescens</i>
<i>Bombus terrestris</i>	<i>Osmia cornuta</i>
<i>Chalicodoma ericetorum</i>	<i>Osmia niveata</i>
<i>Chelostoma campanularum</i>	<i>Sphecodes albilabris</i>
<i>Chelostoma rapunculi</i>	<i>Stelis breviuscula</i>
<i>Colletes cunicularius</i>	<i>Stelis punctulatissima</i>
<i>Colletes daviesanus</i>	

