

UFR SCIENCES & TECHNIQUES CÔTE BASQUE  
Université de Pau et des Pays de l'Adour

**Licence Biologie des Organismes**

# TESTS DE PROTOCOLES VISANT A MESURER L'IMPACT DE L'URBANISATION SUR LE SERVICE ECOSYSTEMIQUE DE POLLINISATION

**BRENN Marjolaine**



**Stage effectué du 1<sup>er</sup> avril au 30 juin 2015 à**

Université Paris Sud

Laboratoire Ecologie Systématique et Evolution – Bât 362

91 405 ORSAY Cedex

**Sous la direction scientifique d'Emmanuelle Baudry, Sandrine Fontaine et Christophe Hanot**



*« Le présent rapport constitue un exercice pédagogique qui ne peut en aucun cas engager la responsabilité de l'Entreprise ou du Laboratoire d'accueil »*

# Remerciements

---

Je tiens à remercier par ces quelques lignes, toutes les personnes qui ont contribué de près comme de loin à l'élaboration du présent travail.

En premier lieu, je remercie Mme Jane LECOMTE, Directrice du Laboratoire ESE, pour m'avoir accueillie au sein de la structure.

Je tiens à remercier tout particulièrement Mme Emmanuelle BAUDRY, responsable de l'équipe Ecologie des Populations et des Communautés, qui a supervisé mon stage, m'a donné des responsabilités et m'a accordé sa confiance.

Merci également au reste de l'équipe et plus spécialement à Mr Christophe HANOT et Mme Sandrine FONTAINE car chacun d'entre vous a su trouver un peu de temps pour m'aider dans mes missions.

Un grand merci aussi à Mr Alain SEVERE pour sa présence et sa bonne humeur lors de certaines sorties sur le terrain.

Enfin, je remercie Mlles Dominique BLAQUIER et Hélène BEAUGEARD pour l'aide précieuse qu'elles m'ont apportée dans la réalisation de la première partie de l'étude, ainsi que les autres stagiaires pour la bonne ambiance de travail dans l'Open-Space et les moments de convivialité pendant les pauses repas.

# Avant-propos

---

Ce rapport traite du stage de 3 mois de fin de troisième année de Licence de Biologie des organismes réalisé du 1<sup>er</sup> avril 2015 au 30 juin 2015 au Laboratoire d'Ecologie, Systématique et Evolution de l'université Paris Sud au sein de l'équipe Ecologie des Populations et des Communautés.

Le stage se déroule en partie sur le Campus Paris Sud qui se situe dans la vallée - à cheval sur Orsay, Bures-sur-Yvette et Gif-sur Yvette -, et en partie sur le plateau de Saclay qui s'étend sur 11 communes - Gif-sur-Yvette, Orsay, Palaiseau, Saclay, Saint-Aubin, Vauhallan, Villiers-le-Bâcle, Toussus-le-Noble, Châteaufort, Les Loges-en-Josas et Buc -.

# Table des matières

---

## Table des matières

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introduction .....                                                                                                                          | 6  |
| 1.1. Contexte général.....                                                                                                                     | 6  |
| 1.2. Cadre de l'étude.....                                                                                                                     | 6  |
| 1.3. Objectifs généraux.....                                                                                                                   | 7  |
| 2. Matériel et méthode.....                                                                                                                    | 7  |
| 2.1. Choix des sites et des espèces.....                                                                                                       | 7  |
| 2.1.1. Diversité des pollinisateurs.....                                                                                                       | 7  |
| 2.1.2. Succès de la pollinisation .....                                                                                                        | 7  |
| 2.2. Protocole expérimental et collecte des données sur le terrain .....                                                                       | 7  |
| 2.2.1. Diversité des pollinisateurs.....                                                                                                       | 7  |
| 2.2.2. Succès de la pollinisation .....                                                                                                        | 8  |
| 2.3. Analyse en laboratoire .....                                                                                                              | 8  |
| 2.3.1. Diversité des insectes pollinisateurs .....                                                                                             | 8  |
| 2.3.2. Succès de la pollinisation .....                                                                                                        | 9  |
| 2.4. Analyse statistique des données .....                                                                                                     | 10 |
| 2.4.1. Détermination de la diversité des pollinisateurs.....                                                                                   | 10 |
| 2.4.2. Analyse de l'abondance des insectes pollinisateurs .....                                                                                | 10 |
| 2.4.3. Etude du succès de la pollinisation.....                                                                                                | 10 |
| 3. Résultats et discussion.....                                                                                                                | 11 |
| 3.1. Détermination de la diversité des pollinisateurs.....                                                                                     | 11 |
| 3.1.1. Calculs des indices de diversité alpha et bêta.....                                                                                     | 11 |
| 3.1.2. Etude de la proportion du nombre d'individus observés selon l'identification et l'Ordre des insectes pollinisateurs.....                | 13 |
| 3.1.3. Etude du lien entre le nombre d'individus par taxons et le type de milieu selon l'identification et l'Ordre des insectes observés ..... | 14 |
| 3.2. Succès de la pollinisation .....                                                                                                          | 16 |
| 3.2.1. Espèces testées.....                                                                                                                    | 16 |
| 3.2.2. Test Chi <sup>2</sup> de Pearson.....                                                                                                   | 17 |
| Conclusion.....                                                                                                                                | 19 |
| Bibliographie .....                                                                                                                            | 20 |
| Annexe 1.....                                                                                                                                  | 22 |

|                |    |
|----------------|----|
| Annexe 2.....  | 24 |
| Annexe 3.....  | 26 |
| Annexe 4 ..... | 27 |
| Annexe 5.....  | 28 |
| Annexe 6.....  | 29 |
| Annexe 7.....  | 30 |
| Résumé .....   | 31 |

## Table des figures

---

|                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : Graphique donnant la proportion des Ordres des taxons observés lors de l'étude .....                                                                         | 13 |
| Figure 2 : Abondance moyenne des insectes pollinisateurs en fonction du type de milieu (Non urbanisé, Urbanisé) et selon le lieu d'observation (Plateau, Vallée). ..... | 14 |
| Figure 3 : Graphique représentant la proportion du nombre d'insectes observés sur les fleurs selon leur Ordre et en fonction du type de milieu .....                    | 15 |
| Figure 4 : Sites pour le spipoll (Geoportail). .....                                                                                                                    | 22 |
| Figure 5 : Sites pour la fructification (Geoportail). .....                                                                                                             | 24 |
| Figure 6 : Graphique représentant l'abondance des pollinisateurs selon leur identification SPIPoll.....                                                                 | 27 |
| Figure 7 : Graphique représentant l'abondance des insectes pollinisateurs par type de milieu et selon leur identification SPIPoll.....                                  | 28 |

## Table des tableaux

---

|                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1 : Tableau de synthèse des variables pour le spipoll.....                                                                                              | 9  |
| Tableau 2 : Tableau de synthèse des variables utilisé pour le succès de la pollinisation .....                                                                  | 9  |
| Tableau 3 : Résultats pour la diversité alpha .....                                                                                                             | 11 |
| Tableau 4 : Résultats des calculs de la diversité bêta .....                                                                                                    | 12 |
| Tableau 5 : Tableau récapitulatif de la proportion de réussite de la pollinisation obtenue pour <i>Hyacinthoides non-scripta</i> et <i>Allium ursinum</i> ..... | 17 |
| Tableau 6 : Nom des sites pour l'étude de la diversité des pollinisateurs .....                                                                                 | 23 |
| Tableau 7 : Espèces sélectionnées pour l'étude du succès de la pollinisation .....                                                                              | 25 |
| Tableau 8 : Sites et espèces de fleurs étudiés pour évaluer le succès de la pollinisation .....                                                                 | 25 |
| Tableau 9 : Tableau des indices de diversité alpha utilisés pour l'étude .....                                                                                  | 26 |
| Tableau 10 : Tableau des indices de diversité bêta utilisés pour l'étude .....                                                                                  | 26 |
| Tableau 11 : Planning des tâches.....                                                                                                                           | 29 |
| Tableau 12 : Répartition du travail .....                                                                                                                       | 30 |

# 1. Introduction

## 1.1. Contexte général

Dans le climat actuel d'érosion de la biodiversité, l'évolution et le devenir des insectes pollinisateurs sont de plus en plus étudiés. En effet, la pollinisation de très nombreuses plantes dépend des insectes, et des milliers d'espèces d'insectes dépendent des plantes à fleurs pour leur survie. En conséquence, la pollinisation par les insectes est à la base d'une très grande part de la biodiversité observée de nos jours, et a une place importante dans la production alimentaire (3/4 de notre alimentation repose sur des plantes pollinisées par des insectes) (Watenberga & Thivet, 2010). Les insectes pollinisateurs sont donc à l'origine d'un énorme service écosystémique, qui regroupe tous les bénéfices que l'homme tire des écosystèmes, répartis en 4 catégories de services. Le service écosystémique de pollinisation s'inscrivant dans un service dit « de régulation » (e-graine, 2012).

Mais ce service écosystémique est aujourd'hui menacé. Depuis quelques années déjà, les apiculteurs et spécialistes observent un déclin de la diversité et de l'abondance des insectes pollinisateurs sauvages, associé à un déclin des plantes entomophiles. Les causes sont multiples, mais l'intensification des pratiques agricoles avec l'utilisation de pesticides et d'herbicides, la monoculture, et la fragmentation des milieux en sont les principales causes. D'autres facteurs sont aussi responsables de ce déclin, tels que les changements climatiques et la propagation des pathogènes (Teyssèdre, 2015).

Dans tous les cas, le déclin des pollinisateurs et leur rôle prépondérant dans l'équilibre des écosystèmes sont des questions de plus en plus récurrentes. De nombreux programmes de recherche, de sensibilisation et de financement d'actions se mettent en place au niveau mondial, européen et national depuis 2000 avec le lancement, au plan mondial, de l'initiative internationale pour la conservation et l'utilisation durable des pollinisateurs (Aubert & al, 2011) (fao). Ceux-ci doivent permettre d'identifier les facteurs influençant la biodiversité des insectes pollinisateurs et de les prendre en compte dans l'aménagement de manière à freiner le déclin observé.

## 1.2. Cadre de l'étude

C'est dans un contexte d'urbanisation croissante, intensive, du plateau de Saclay et du développement des programmes de recherche que ce stage s'inscrit. En effet, le plateau était jusqu'à il y a 3 ans un grand espace agricole, naturel et urbain de 70 Km<sup>2</sup>. En 2008, le ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche a proposé la création, sur le plateau de Saclay, d'un cluster scientifique et technique s'étendant sur deux départements d'Ile de France, l'Essonne (91) et les Yvelines (78) et sur 5 communautés d'agglomération, la plus concernée étant la communauté d'agglomération du Plateau de Saclay. Il serait constitué d'universités et de grandes écoles, d'un Pôle de Recherche et d'Enseignement Supérieur (PRES), d'organismes de recherche, et d'un pôle de compétitivité. Le projet « campus Paris-Saclay » est porté par la Fondation de Coopération Scientifique qui rassemble 23 acteurs dont l'Université Paris Sud (EPPS, 2013).

Le Laboratoire ESE, s'interroge sur l'éventuel impact que peut avoir un processus d'urbanisation sur la biodiversité que cette région abrite, ainsi que sur les services écosystémiques que fournit

cette biodiversité et dans quelle mesure (Laboratoire d'Ecologie, Systématique et Evolution). Un projet d'étude va démarrer l'année prochaine. Mon stage constitue une étude pilote qui a pour but de faire une première étude à petite échelle de l'impact de l'urbanisation sur la diversité des pollinisateurs ainsi que de tester et mettre au point les protocoles expérimentaux qui seront utilisés pour le projet à grande échelle l'année suivante.

### 1.3. Objectifs généraux

L'objectif de ce travail sera de tester des protocoles permettant d'évaluer la diversité et l'abondance des pollinisateurs ainsi que le succès de la pollinisation sur différentes espèces de fleurs et dans différents contextes environnementaux. Pour cela, l'abondance et la diversité des insectes pollinisateurs ainsi que l'efficacité de la pollinisation seront estimées à partir de données collectées sur des zones situées en milieu urbanisé et en milieu non urbanisé.

## 2. Matériel et méthode

### 2.1. Choix des sites et des espèces

#### 2.1.1. Diversité des pollinisateurs

L'étude veut comparer la diversité des pollinisateurs entre les milieux urbanisés et naturels. Il est donc nécessaire de sélectionner des sites urbanisés (à proximité de routes, parkings ou bâtiments) et des sites plus « naturels » (proches de forêts, bois, prairies, éloignés des infrastructures). 12 sites ont été définis, 6 situés en milieu urbanisé et 6 en milieu non urbanisé (cf. Annexe 1 : Figure 4 et Tableau 6). Les espèces de plantes suivies sont ensuite sélectionnées en fonction de leur phénologie, c'est-à-dire de leur période de floraison et de fructification. (3 pour chaque station).

#### 2.1.2. Succès de la pollinisation

En ce qui concerne la mesure du service de pollinisation, les espèces de plantes étudiées doivent d'abord être faciles à déterminer. La sélection se fait également sur la taille des fruits – ils doivent pouvoir être comptés directement sur la plante – et la période de fructification – en mai/juin (période de stage). Pour cette sélection, nous avons aussi regardé leur écologie de manière à savoir si leurs habitats sont présents sur la zone d'étude. 7 espèces ont été sélectionnées - *Hyacinthoides non-scripta*, *Lamium album*, *Geranium robertianum*, *Allium ursinum*, *Primula veris*, *Cardamine pratensis*, *Anemone nemorosa* - (cf. Annexe 2 : Tableau 7) et certains sites utilisés précédemment ont été repris. (cf. Annexe 2 : Figure 5 et Tableau 8)

### 2.2. Protocole expérimental et collecte des données sur le terrain

#### 2.2.1. Diversité des pollinisateurs

Lors de l'étude, nous avons utilisé le protocole de SPIPoll (ou Suivi Photographique des Insectes Pollinisateurs) qui est un programme de sciences participatives mis en place par le Museum National d'Histoire Naturelle (MNHN) et l'Office Pour les Insectes et leur Environnement (OPIE), et est accessible à tous. Ce protocole consiste à prendre en photo tous les insectes se posant sur les fleurs des plantes appartenant à la même espèce pendant 20 min (version flash) ou plus de 20 min (version longue). Dans cette étude nous utiliserons la version flash du protocole.

Avant de débiter la session photo, il est nécessaire de prendre une photo en macro de la fleur et une photo de son environnement (reculer d'une dizaine de mètres). Ensuite, commencer la prise photo de 20 minutes de tous les insectes se posant sur les fleurs des plantes appartenant à la même espèce de fleurs choisie dans un rayon de 3 mètres autour de la fleur centrale. Afin de récupérer les coordonnées GPS précises des 12 stations, un GPS sera utilisé. Nous avons aussi noté la date et l'heure ainsi que le pourcentage de couverture nuageuse (0-25%, 25-50%, 50-75%, 75-100%), la température (<10°C, 10-20°C, 20-30°C, >30°C), le vent (nul, faible continu ou irrégulier, fort continu ou irrégulier), fleurs à l'ombre ou pas, le nombre d'insectes de la même espèce posés en même temps sur une plante de même espèce (1, entre 2 et 5, plus de 5), l'habitat et si la plante est spontanée ou plantée. On notera aussi les espèces fleuries lors de la session photographique.

Nous avons fait 2 passages sur chacun des 12 sites. Les données ont donc été récoltées de la semaine 2 à la semaine 4 du mois d'Avril, pendant lesquelles les conditions météorologiques étaient propices à l'observation des insectes. En effet, lors des relevés, il ne doit pas pleuvoir, la température doit être supérieure à 10°C avec un vent inférieur à 11Km/h (MNHN). Ce sont les conditions minimales pour que les insectes soient présents.

### 2.2.2. Succès de la pollinisation

Pour la deuxième partie de stage, il a fallu au préalable étiqueter les pieds sélectionnés au hasard avec 2 étiquettes portant le matricule de la plante, l'une accrochée à la hampe florale, l'autre plantée dans le sol. Pour les espèces faisant de fines et grandes hampes, nous avons ajouté un piquet en bois et un bout de rubalise pour *Primula veris* et *Cardamine pratensis*, ou que de la rubalise pour *Lamium album*. Nous avons également utilisé un GPS pour déterminer les coordonnées précises de chaque plante étudiée.

Nous avons ensuite procédé au comptage des hampes florales, des fleurs, des boutons, des graines et la perte pour chaque plante. Du fait de l'évolution très rapide de la fructification pour certaines plantes et d'un risque de perte important entre 2 passages, une photo de la plante avec son étiquette en collier et ses fleurs visibles a été prise à chaque collecte de données. Ces photos sont comparées à celles obtenues au passage précédent. Nous avons réalisé ces relevés toutes les semaines durant la dernière partie de la période de fructification des plantes choisies. Les données ont été collectées de la 2<sup>ème</sup> semaine de mai à la 2<sup>ème</sup> semaine de juin.

## 2.3. Analyse en laboratoire

### 2.3.1. Diversité des insectes pollinisateurs

Après avoir pris les insectes en photo, nous avons procédé à un premier tri. Avec le logiciel Picasa 3, spécialisé dans la retouche d'image, nous avons réalisé un recadrage des photos de manière à mettre en gros plan l'insecte photographié. Sur le site web de **Spipoll** (MNHN), les insectes photographiés sont identifiés à l'aide de la clé d'identification en ligne de la rubrique « participer ». Pour une identification plus poussée, nous avons aussi utilisé la galerie du site web **le monde des insectes** (Le monde des insectes).

Dans les collections de photographies créées par la suite doivent figurer la photo de la fleur et de son environnement ainsi qu'une photo de chaque insecte photographié. Nous avons donc sélectionné 1 photo de chaque insecte et créé les collections. Dans chaque collection doivent



aussi figurer les données notées sur les conditions de prise photographique (cf. Protocole expérimental et collecte des données). Un expert entomologue passe ensuite en revue toutes les collections pour correction et validation des identifications. Les données collectées nous ont permis d'obtenir 263 taxons observés et 16 variables mais 5 variables seulement ont été étudiées ici (cf. Tableau 1).

**Tableau 1 : Tableau de synthèse des variables pour le spipoll**

| Noms des variables | Signification                                        | Unité de mesure ou modalités  | Type                  |
|--------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| Lieu               | Localisation du site                                 | 2 modalités : plateau, vallée | Qualitative nominale  |
| Type               | Type de milieu                                       | 2 modalités : naturel, urbain | Qualitative nominale  |
| Insecte            | Nom des taxons observés                              |                               | Qualitative nominale  |
| Ordre              | Ordre du taxon                                       |                               | Qualitative nominale  |
| Abondance          | Nombre d'individus d'un taxon observés en même temps | individus                     | Quantitative discrète |

### 2.3.2. Succès de la pollinisation

Des données collectées sur le terrain, nous avons fait deux groupes. Le premier groupe est constitué des 3 espèces relevées sur les 4 ensembles<sup>1</sup> : *Hyacinthoides non-scripta*, *Lamium album* et *Geranium robertianum*. Le deuxième groupe comprend les 4 autres espèces de fleurs qui n'ont été trouvées que dans certains des 4 ensembles : *Allium ursinum*, *Primula veris*, *Cardamine pratensis* et *Anemone nemorosa*. Nous avons ensuite séparé les 3 espèces du groupe 1 de manière à pouvoir étudier chacune d'elles séparément et nous avons fait de-même pour *Allium ursinum* qui a été trouvé en milieu nature et urbanisé mais uniquement dans la vallée. Nous obtenons des jeux de données de 769 fleurs pour *Hyacinthoides non-scripta*, 760 pour *Lamium album*, 1775 pour *Geranium robertianum*, 592 pour *Allium ursinum*, 174 pour *Primula veris*, 358 pour *Cardamine pratensis* et 37 pour *Anemone nemorosa*, ainsi que 6 variables.

**Tableau 2 : Tableau de synthèse des variables utilisé pour le succès de la pollinisation**

| Noms des variables | Signification             | Unité de mesure ou modalités    | Type                |
|--------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------|
| Espèce             | Nom de l'espèce           |                                 | Qualitative nominal |
| Pollinisée         | Fleur pollinisée ou non   | 2 modalités : oui, non          | Qualitative nominal |
| Milieu             | Type de milieu            | 2 modalités : urbanisé, naturel | Qualitative nominal |
| Lieu               | Localisation du site      | 2 modalités : plateau, vallée   | Qualitative nominal |
| Site               | Nom du site               |                                 | Qualitative nominal |
| Milieu/Site        | Distinction des ensembles | 4 modalités : A, B, C, D        | Qualitative nominal |

<sup>1</sup> Urbanisé plateau, Urbanisé vallée, Naturel plateau, Naturel vallée

## 2.4. Analyse statistique des données

### 2.4.1. Détermination de la diversité des pollinisateurs

La diversité alpha est la diversité des espèces dans une communauté (Observatoire du Sahara et du Sahel, 2004). Elle se base à la fois sur la richesse spécifique qui correspond au nombre d'espèces, et sur le nombre d'individus observés pour chaque espèce.

Pour quantifier la diversité  $\alpha$ , il est recommandé d'utiliser les indices de Simpson et de Shannon ensemble du fait de leur complémentarité. L'indice de Simpson est sensible aux variations d'importance des espèces les plus rares. A l'inverse de l'indice de Simpson, l'indice de Shannon est sensible aux variations d'importance des espèces les plus abondantes. L'indice de Pielou, qui met en avant la régularité ou l'équitabilité des individus dans un échantillon, sera utilisé en complément des 2 autres. Il permet de mesurer la répartition des individus au sein des espèces, indépendamment de la richesse spécifique. (cf. Annexe 3 : Tableau 9)

L'indice  $\beta$  est une mesure de la biodiversité qui consiste à comparer la diversité des espèces entre communautés. Cela suppose de comparer le nombre de taxons qui sont uniques à chacune des communautés. Cet indice donne une mesure qualitative de la structuration de la biodiversité et permet de voir, dans cette étude, des différences de composition spécifique en insectes pollinisateurs entre milieux urbanisés et naturels (dissimilitude).

Pour mesurer la diversité bêta, nous avons utilisé l'indice de Jaccard et de Sorensen qui sont utilisés pour mesurer la similarité entre des communautés (Thibaut). Ces deux indices sont similaires mais l'indice de Sorensen donne un poids plus important à la présence qu'à l'absence, contrairement à l'indice de Jaccard. (cf. Annexe 3 : Tableau 10)

### 2.4.2. Analyse de l'abondance des insectes pollinisateurs

Nous avons étudié dans cette partie l'abondance des insectes pollinisateurs. Elle correspond au nombre total d'individus pour chaque taxon observé lors de la collecte des données sur le terrain. Tout d'abord, avec le logiciel Excel, nous avons représenté la répartition des insectes pollinisateurs selon leur Ordres ou leur identification. Nous nous sommes ensuite appliqués à comparer cette répartition des insectes en fonction des 2 grands types de milieux (naturel et urbanisé). Cette analyse a été faite sur la base de tableaux et graphiques croisés dynamiques, dans le but de mettre en évidence des différences au niveau des Ordres ou des identifications les plus représentés.

A l'aide de R, nous avons aussi étudié le lien entre l'abondance des insectes pollinisateurs et le type de milieu. Pour cela nous avons vérifié la normalité de chacun des échantillons avec le test de Shapiro-Wilk et testé l'hétéroscédasticité des données. Si les échantillons sont normaux et les variances égales, nous utiliserons un test paramétrique de comparaison de moyenne de Student. Si ce n'est pas le cas, nous transformerons les données en  $\log(x+1)$  ou  $\text{rac}(x)$  pour normaliser les données. Si même après cela, les données de l'abondance ne suivent pas une loi normale, nous utiliserons le test non paramétrique de comparaison de médiane de Wilcoxon Mann et Whitney. Enfin, nous avons réalisé des calculs de différences d'abondance moyenne en fonction du milieu et du lieu. Pour chacun de ces tests et calculs, nous avons pris un alpha de 0,05.

### 2.4.3. Etude du succès de la pollinisation

Pour le succès de la pollinisation, nous avons des données qualitatives. Afin de savoir s'il y a une différence de succès, nous avons utilisé le logiciel R et réalisé le test  $\chi^2$  de Pearson avec un

alpha de 0,05 à l'aide de tableaux à double entrée. Nous avons d'abord cherché à savoir s'il y a un effet de l'urbanisation. Pour cela, nous avons étudié, pour chaque espèce séparément, la proportion de fleurs pollinisées selon le type de milieu. Nous avons ensuite cherché à savoir s'il y avait un effet de la localisation spatiale ou un effet intersites. Pour cela, nous avons étudié la proportion de fleurs pollinisées en fonction des sites d'étude.

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1. Détermination de la diversité des pollinisateurs

##### 3.1.1. Calculs des indices de diversité alpha et bêta

Grâce aux données récoltées sur le terrain, nous avons pu déterminer la diversité alpha pour chaque site et chaque type de milieu et la diversité bêta entre les types de milieux. Nous obtenons les résultats suivant (cf. Tableau 3 et Tableau 4):

Tableau 3 : Résultats pour la diversité alpha

| Type de milieu           | Indice de Simpson | Indice de Shannon | Indice de Pielou | ln(S) |
|--------------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------|
| N1(Hôpital)              | 0.878             | 2.345             | 0.914            | 2.565 |
| N2 (Etangs)              | 0.850             | 2.154             | 0.867            | 2.485 |
| N3 (N118)                | 0.886             | 2.539             | 0.848            | 2.996 |
| N4 (Yvette)              | 0.882             | 2.372             | 0.899            | 2.639 |
| N5 (Staps)               | 0.875             | 2.217             | 0.925            | 2.398 |
| N6 (Pacaterie)           | 0.913             | 2.524             | 0.817            | 3.091 |
| U1 (Supelec)             | 0.881             | 2.447             | 0.847            | 2.890 |
| U2 (Bât 502bis)          | 0.837             | 2.277             | 0.804            | 2.833 |
| U3 (Polytechnique)       | 0.885             | 2.377             | 0.878            | 2.708 |
| U4 (Resto Universitaire) | 0.883             | 2.399             | 0.847            | 2.833 |
| U5 (Parking cheval)      | 0.843             | 1.950             | 0.938            | 2.079 |
| U6 (bât 209)             | 0.645             | 1.568             | 0.631            | 2.485 |
| Moyenne Naturel          | 0.881             | 2.358             | 0.878            | 2.696 |
| Moyenne Urbanisé         | 0.829             | 2.170             | 0.824            | 2.638 |

Dans le tableau ci-dessus, nous pouvons observer que les valeurs de l'indice de Simpson sont toutes comprises entre 0.645 (Bât 209) et 0.913 (Pacaterie). Pour l'indice de Shannon, les valeurs se situent entre 1.568 et 2.584 et entre 0.631 (Bât 209) et 0.938 (Parking cheval) pour l'indice de Pielou. Ces valeurs sont toutes relativement proches des valeurs maximales que peuvent prendre ces 3 indices de diversité alpha : 1 pour les indices de Simpson et Pielou et le ln(S) compris entre 2,079 (Parking cheval) et 3,091 (Pacaterie) pour l'indice de Shannon. Il en est de-même pour la moyenne des indices alpha des milieux naturels regroupés et celle des milieux urbanisés.

Tableau 4 : Résultats des calculs de la diversité bêta

| Sites    |         | Jaccard |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |         |
|----------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
|          |         | N2      | N1    | N3    | N6    | N5    | N4    | U6    | U2    | U5    | U3    | U4    | U1    | Urbain | Naturel |
| Sorensen | N2      | 1       | 0.235 | 0.227 | 0.107 | 0.267 | 0.222 | 0.100 | 0.353 | 0.333 | 0.211 | 0.080 | 0.036 | /      | /       |
|          | N1      | 0.320   | 1     | 0.286 | 0.200 | 0.167 | 0.235 | 0.158 | 0.438 | 0.455 | 0.278 | 0.250 | 0.316 | /      | /       |
|          | N3      | 0.313   | 0.364 | 1     | 0.118 | 0.174 | 0.350 | 0.071 | 0.318 | 0.136 | 0.200 | 0.240 | 0.231 | /      | /       |
|          | N6      | 0.176   | 0.286 | 0.190 | 1     | 0.032 | 0.250 | 0.154 | 0.172 | 0.125 | 0.138 | 0.280 | 0.167 | /      | /       |
|          | N5      | 0.348   | 0.250 | 0.258 | 0.061 | 1     | 0.235 | 0.105 | 0.278 | 0.231 | 0.222 | 0.083 | 0.080 | /      | /       |
|          | N4      | 0.308   | 0.267 | 0.412 | 0.333 | 0.320 | 1     | 0.222 | 0.533 | 0.417 | 0.263 | 0.412 | 0.227 | /      | /       |
|          | U6      | 0.167   | 0.240 | 0.125 | 0.235 | 0.174 | 0.308 | 1     | 0.190 | 0.214 | 0.211 | 0.263 | 0.250 | /      | /       |
|          | U2      | 0.414   | 0.467 | 0.378 | 0.256 | 0.357 | 0.516 | 0.276 | 1     | 0.636 | 0.389 | 0.350 | 0.333 | /      | /       |
|          | U5      | 0.400   | 0.476 | 0.214 | 0.200 | 0.316 | 0.455 | 0.300 | 0.560 | 1     | 0.545 | 0.235 | 0.091 | /      | /       |
|          | U3      | 0.296   | 0.357 | 0.286 | 0.216 | 0.308 | 0.345 | 0.296 | 0.375 | 0.522 | 1     | 0.227 | 0.160 | /      | /       |
|          | U4      | 0.138   | 0.333 | 0.324 | 0.359 | 0.143 | 0.452 | 0.345 | 0.412 | 0.320 | 0.313 | 1     | 0.846 | /      | /       |
|          | U1      | 0.067   | 0.387 | 0.316 | 0.250 | 0.138 | 0.313 | 0.333 | 0.400 | 0.154 | 0.242 | 0.629 | 1     | /      | /       |
|          | Urbain  | /       | /     | /     | /     | /     | /     | /     | /     | /     | /     | /     | /     | 1      | 0.411   |
|          | Naturel | /       | /     | /     | /     | /     | /     | /     | /     | /     | /     | /     | /     | 0.451  | 1       |

D'après le tableau ci-dessus, nous observons dans la partie supérieure droite les valeurs calculées de l'indice de Jaccard et dans la partie inférieure gauche celle de l'indice de Sorensen. Nous pouvons voir que, entre chaque site, les valeurs de diversité bêta obtenues pour les 2 indices (Jaccard et Sorensen) sont pour la plus part proches de 0. C'est aussi valable pour la comparaison entre milieu Naturel et Urbanisé tous sites confondus. Seules 3 valeurs sont au-dessus de 0.5 respectivement 0,846 et 0,629 pour Supélec/Resto universitaire, 0,636 et 0,560 pour Parking cheval/bât 502 bis et 0,545 et 0,522 pour Polytechnique/Parking cheval.

Grâce aux indices de Simpson et de Shannon nous pouvons donc dire qu'il y a une forte diversité alpha tant dans les milieux urbanisés que dans les milieux non urbanisés et sur chaque site. De plus, comme l'indice de Pielou est plutôt proche de 1, cela permet de montrer qu'il n'y a pas vraiment de dominance d'une espèce dans chaque milieu et donc que les espèces sont relativement équi-réparties. L'indice de Pielou étant plus faible pour le site urbanisé 6, il semble qu'il y ait des espèces un peu plus dominantes que d'autres pour ce type de milieu. Cette légère dominance d'une espèce peut être due entre autre à une éventuelle augmentation des espèces généralistes au détriment des espèces plus spécialistes.

Les indices de Jaccard et de Simpson nous permettent de dire qu'il y a de la diversité bêta et donc des différences de diversité en insectes pollinisateurs entre les milieux urbanisés et non urbanisés mais aussi entre les sites eux-mêmes. On ne retrouve pas forcément les mêmes insectes pollinisateurs en milieu naturel, en milieu urbanisé et sur chacun de nos sites. Les sites les plus différents sont le STAPS et Pacaterie ainsi que Supélec et les Etangs. Et les sites les plus semblables - ceux où l'on retrouve quasiment les mêmes insectes pollinisateurs - sont Supélec et le restaurant universitaire, le parking du cheval et le Bâtiment 502 bis, et enfin Polytechnique et le parking du cheval.

Cependant, il est important de noter tout d'abord que, dans ce rapport, plus de la moitié des taxons observés n'ont pas été validés par les experts, ce qui peut entraîner des erreurs

d'identifications et donc des biais dans les calculs de biodiversité. De plus, la clef d'identifications des insectes pollinisateurs ne va souvent pas jusqu'à l'espèce et cela crée des biais dans les calculs. En effet, deux insectes observés peuvent faire partie d'un même taxon mais sont des espèces différentes (ex : Mouches difficiles à déterminer, Syrphes difficiles à déterminer, ...). Les deux exemples ci-dessus regroupent toutes les mouches et les Syrphes dont l'identification plus poussée est impossible. Cela est en général dû à un défaut de connaissance de notre part des critères spécifiques d'identification tel que le sillon à l'extrémité de l'abdomen de l'Halicte femelle et qui fait que les insectes n'ont pas été pris sous le bon angle pour optimiser l'identification.

### 3.1.2. Etude de la proportion du nombre d'individus observés selon l'identification et l'Ordre des insectes pollinisateurs

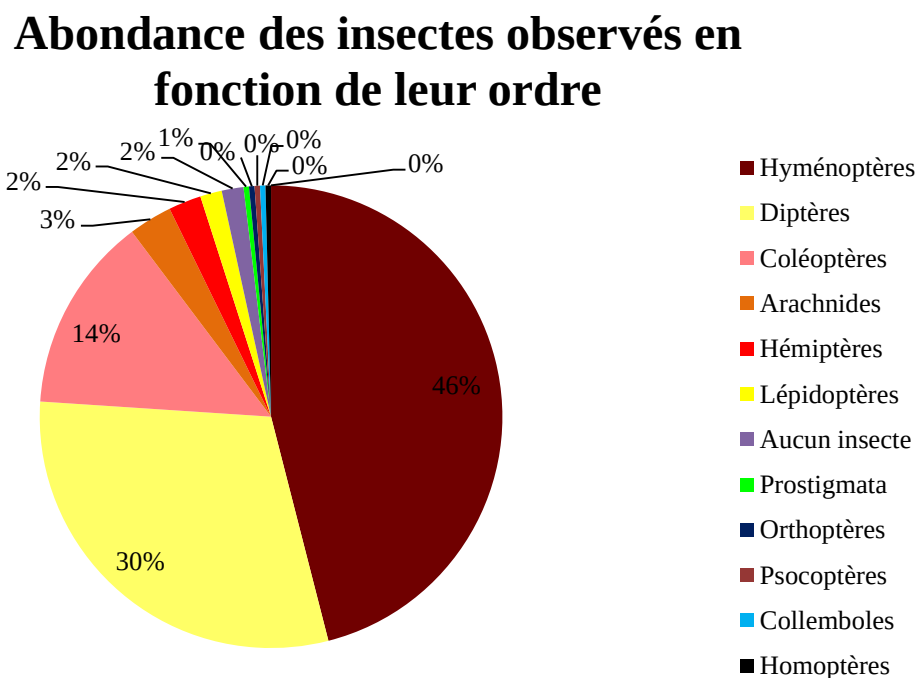


Figure 1 : Graphique donnant la proportion des Ordres des taxons observés lors de l'étude

Dans la figure ci-dessus (cf. Figure 1), nous pouvons observer que l'ordre majoritaire, avec 46% des insectes observés lors de l'étude, sont les Hyménoptères. Viennent ensuite les Diptères avec 30% des observations. Puis avec 14% les Coléoptères. Les 9 autres Ordres se partagent les 10% restants dont 2% correspondent au cas « aucuns insectes ».

De façon à avoir des détails sur la composition en taxons des Ordres, nous avons étudié l'abondance des insectes en fonction de leur identification sipoll (cf. Annexe 4 : Figure 6). Ainsi, nous remarquons que les abeilles mellifères (Hyménoptère), les andrènes rayées (Hyménoptère), les anthophores (Hyménoptère), coccinelles à 7 points (Coléoptère), bombyles (Diptère), bourdons à pilosité fauve à gris (Hyménoptère), halictes (Hyménoptère), mouches (Diptère), nitidulides (Coléoptère) et les syrphes (Diptère) sont les identifications les plus représentées dans nos données.

### 3.1.3. Etude du lien entre le nombre d'individus par taxons et le type de milieu selon l'identification et l'Ordre des insectes observés

Pour voir s'il existe un lien entre le nombre d'individus observés et le type de milieu, nous avons utilisé le test non paramétrique de comparaison de médiane de Wilcoxon Mann et Whitney. En effet, la variable « Abondance » ne suit pas une loi normale même après transformation des données en  $\log(x+1)$  et  $\sqrt{x}$  avec une p-valeur inférieure à  $2,2 \times 10^{-16}$ . Les médianes ne sont pas significativement différentes car la p-valeur est de 0,163. Le nombre d'individus observés en milieu non urbanisé n'est significativement pas différent de celui observé en milieu urbanisé.

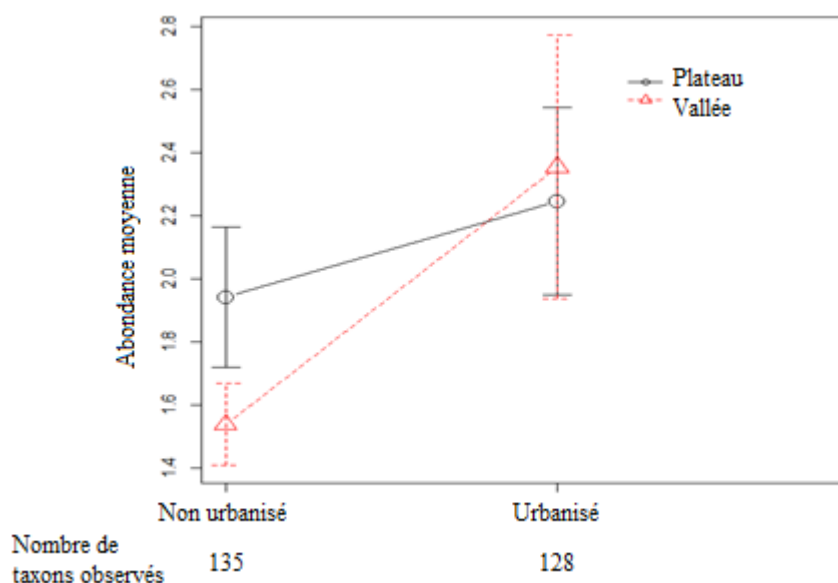


Figure 2 : Abondance moyenne des insectes pollinisateurs en fonction du type de milieu (Non urbanisé, Urbanisé) et selon le lieu d'observation (Plateau, Vallée).

Même si les médianes sont égales, nous avons quand même regardé l'abondance moyenne des pollinisateurs en fonction du type de milieu. L'abondance moyenne pour les milieux naturels est de 1,74, et de 2,30 pour les milieux urbanisés. On remarque que même si ce n'est pas significatif, il y a quand même une légère différence dans le nombre d'insectes observés entre les types de milieu. Nous pouvons aussi noter qu'il semble y avoir une différence d'abondance en insectes pollinisateurs entre les lieux d'observation.

Nous avons ensuite cherché à savoir en quoi consiste ces différences non significatives. Pour cela nous avons effectué, entre les deux types de milieux, des comparaisons du nombre d'insectes pollinisateurs observés selon leur Ordre puis selon leur identification SPIPoll. Dans la Figure 3 ci-dessous, nous observons que les Hyménoptères, Diptères et Coléoptères sont les Ordres majoritairement représentés avec respectivement 54,47%, 22,66% et 11,72% d'observation en milieu urbanisé et 37,04%, 37,04% et 15,56% des observations en milieu naturel. Nous pouvons aussi voir que les Ordres des Psocoptères et Homoptères sont représentés uniquement dans les milieux naturels avec 0,74% d'observation chacun, alors que les Collembolles, Orthoptères et Prostigmata ne sont présents que dans les milieux urbanisés avec 0,78% d'observation chacun. Ces pourcentages correspondent à une unique observation de ces Ordres lors de la collecte de donnée.

### Abondance des insectes selon leur ordre en fonction du type de milieu

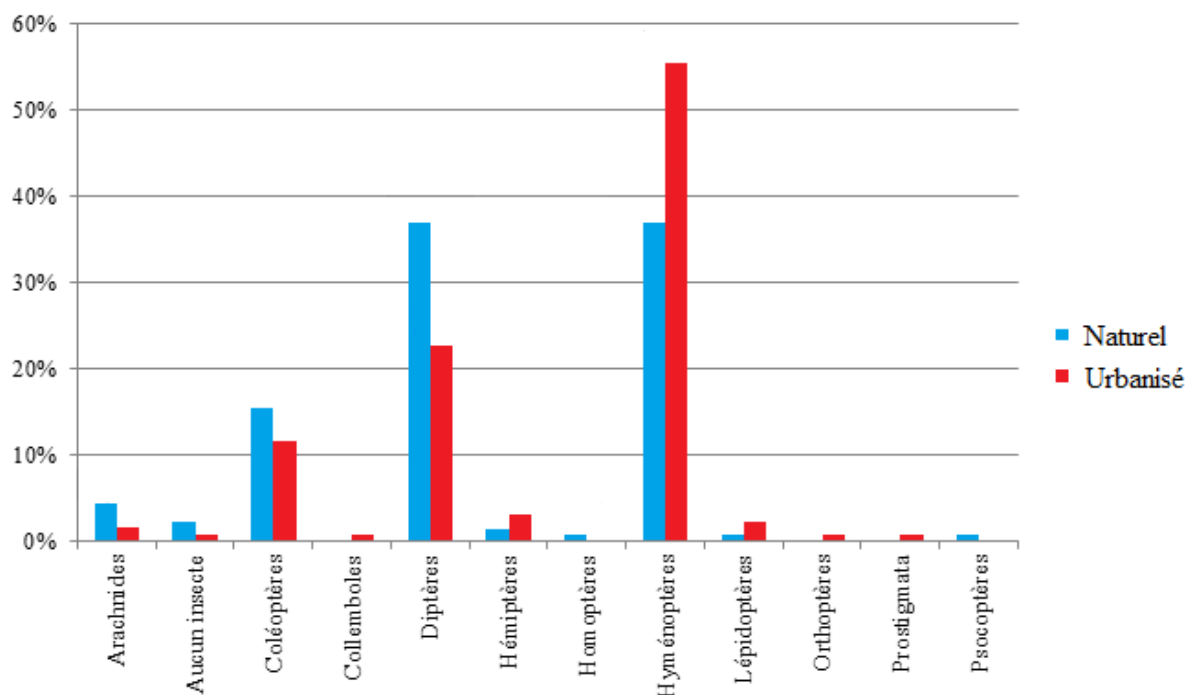


Figure 3 : Graphique représentant la proportion du nombre d'insectes observés sur les fleurs selon leur Ordre et en fonction du type de milieu

En allant plus dans le détail nous avons étudié cette fois-ci non pas les Ordres mais les identifications spipoll (cf. Annexe : Figure 7). Nous observons dans un premier temps que 34 taxons sont observés uniquement en milieu naturel contre 21 taxons observés uniquement en milieu urbanisé et 23 taxons observés dans les deux types de milieux. Sur les 23 taxons observés sur les 2 types de milieux, 7 taxons - les abeilles mellifères, nitidulides, bombyles, bourdons à pilosité fauve à gris, coccinelles, halictes, mouches et syrphes - sont présents de manière quasi égale dans les deux types de milieux. Nous pouvons voir que les anthophores sont observés surtout en milieu naturel (5%) et rarement en milieu urbanisé (< 2%), contrairement aux andrènes qui sont observées en milieu urbanisé (10%) et rarement en milieu naturel (2%). D'autres taxons tels que les fourmis et les abeilles difficiles à déterminer sont très souvent observées (6 % des observations chacun) en milieu urbain et quasiment pas (entre 0 et 2% des observations) en milieu naturel.

Même s'il n'existe pas de différence significative en termes d'abondance en insectes pollinisateurs tout taxon confondu entre les deux types de milieux, nous avons pu observer des différences en termes de fréquentation dans ces milieux. En effet, de l'analyse de l'abondance des insectes pollinisateurs selon leur Ordre en fonction du type, nous pouvons dire qu'il existe une différence de fréquentation entre les milieux urbanisés et les milieux naturels au niveau des Ordres majoritairement observés. Cela a été mis en évidence au travers de proportions différentes pour les 3 Ordres majoritaires. Mais aucune conclusion ne peut être faite sur les Ordres minoritaires. Ces absences d'observations dans l'autre milieu peuvent être dues à un simple effet d'échantillonnage. Effectivement, le temps de prise photographique étant de 20



minutes et sur un périmètre assez restreint, il est possible que ces taxons n'aient pas été observés alors qu'ils étaient peut-être présents.

Nous avons pu constater que certains taxons ont une forte abondance tous milieux confondus. En séparant ensuite par types de milieux, nous obtenons deux cas de figure pour ces taxons. Soit le taxon est moyennement abondant en milieu non urbanisé et urbanisé tel que les Bombyles et les Bourdons à pilosité fauve à gris, ce qui entraîne cette forte abondance en général. Ou bien le taxon est très fortement abondant dans un des deux milieux, comme c'est le cas des Andrènes et des Anthophores et cela se traduit aussi par ce pic d'abondance. D'après les calculs de diversité bêta, nous avons pu dire qu'on ne trouve pas les mêmes insectes pollinisateurs entre les deux types de milieux. Nous avons mis en avant une éventuelle augmentation des espèces généralistes appelés pollinisateurs polylectiques au détriment des pollinisateurs dis- monolectiques et oligolectiques (Joris, 2006). La fréquentation des milieux peut aussi dépendre des affinités des taxons envers ceux-ci. Ainsi, si certains syrphes semblent tolérer les milieux urbains, d'autre comme le genre *Rhingia* en sont absents (De Flores & Deguines, 2012). De plus certains taxons tels que les halictes trouvées aussi bien en milieu naturel qu'urbanisé sont tolérantes à l'urbanisation (Fournier & al, 2015).

Le protocole nous permet donc de mettre en évidence des différences de fréquentation et de composition des insectes pollinisateurs selon le type de milieu. Ces différences ont déjà été observées dans d'autres études (De Flores & Deguines, 2012). Nous pouvons déjà voir que ce ne sont pas forcément les mêmes taxons qui vont polliniser les fleurs en milieu naturel et en milieu urbanisé. Il y a une spécialisation de certains taxons.

Certains détails et défauts du protocole mis en évidence lors de cette étude pilote sont tout de même à prendre en compte. Tout d'abord, l'échantillonnage comprend 2 passages en 3 semaines sur 12 sites. Il est impossible en 2 passages d'obtenir assez de données pour dire si une espèce est inféodée à un type de milieu. De même, la collecte de données s'est faite sur 12 sites contenus sur une zone très restreinte du plateau de Saclay, ce qui fait que les individus trouvés ne sont pas forcément représentatifs de l'ensemble du plateau. Enfin, au moment du début de collecte des données (début avril), la majorité des insectes pollinisateurs se trouvaient encore en pause hivernale et très peu de plantes étaient en fleur. Il faudrait prospecter sur la totalité du plateau, faire plus de passages, les étaler sur 3 mois à partir de la mi-avril et étudier au moins une trentaine de sites.

## 3.2. Succès de la pollinisation

### 3.2.1. Espèces testées

Suite à l'analyse des jeux de données sur les 7 espèces sélectionnées au début de l'étude, 3 seulement - *Hyacinthoides non-scripta*, *Lamium album* et *Geranium robertianum* - ont été trouvées sur les 4 ensembles<sup>2</sup>. Sur ces 3 espèces, seule *Hyacinthoides non-scripta* permet un comptage exact de ses fruits et sera donc testée. Pour les 2 autres espèces, plus d'un quart des données sont considérées comme manquantes dû au phénomène de perte<sup>3</sup> et à la floraison dispersée dans le temps. Aucun test ne sera réalisé sur ces deux-là. Elles ne pourront pas non

<sup>2</sup> Naturel plateau, Naturel vallée, Urbanisé plateau, Urbanisé vallée

<sup>3</sup> Chute des fruits due au vent et à la pluie ou parce qu'ils étaient mûrs



plus être utilisées dans le protocole du projet car il faudrait faire des passages tous les jours pour collecter et marquer chaque fleur où aura été observée la fructification, cela afin d'empêcher d'avoir des trous dans les données. Pour les 4 autres espèces qui n'ont pas été trouvées sur les 4 ensembles, une espèce, *Anemone nemorosa* ne sera pas conservée pour les tests, ni dans le protocole du projet, celle-ci n'ayant été observée que dans un ensemble seulement. Nous effectuerons les Tests Chi<sup>2</sup> de Pearson pour *Allium ursinum* car il a été trouvé sur deux ensembles : naturel et urbanisé de la vallée, cela dans le but de connaître l'impact de l'urbanisation sur le succès de la pollinisation de cette espèce. Mais il ne sera pas à conserver pour le projet d'étude car l'espèce n'est pas présente sur le plateau de Saclay. *Primula veris* et *Cardamine pratensis* ne seront pas testées ici car elles ont été trouvées sur deux ensembles, mais seulement en milieu naturel mais sont à conserver pour le projet. En effet, ces absences de données ne sont pas dues à une inexistence des espèces en milieu urbanisé mais à un défaut de protocole et de temps. Tout d'abord, la prospection n'a été réalisée que sur une toute petite partie du plateau et ensuite le choix des espèces étudiées s'est fait tard et les zones susceptibles d'accueillir ces espèces avaient subi une tonte régulière. Ce protocole n'est pas à faire après le SPIPoll comme ça a été le cas ici, mais en même temps que lui et sur 3 mois minimum.

### 3.2.2. Test Chi<sup>2</sup> de Pearson

Tableau 5 : Tableau récapitulatif de la proportion de réussite de la pollinisation obtenue pour *Hyacinthoides non-scripta* et *Allium ursinum*

| <i>Hyacinthoides non-scripta</i> | Milieu  |          | Site <sup>4</sup> |     |     |     |
|----------------------------------|---------|----------|-------------------|-----|-----|-----|
|                                  | Naturel | Urbanisé | A                 | B   | C   | D   |
| Nombre de fleurs                 | 346     | 423      | 200               | 146 | 209 | 214 |
| % de pollinisation               | 52%     | 61%      | 45%               | 64% | 67% | 55% |
| p-value                          | 0,02922 |          | < 0,001           |     |     |     |
| <i>Allium ursinum</i>            | Milieu  |          | Site              |     |     |     |
|                                  | Naturel | Urbanisé | A                 | B   | C   | D   |
| Nombre de fleurs                 | 248     | 244      | 153               | 95  | 156 | 188 |
| % de pollinisation               | 67%     | 81%      | 80%               | 45% | 92% | 71% |
| p-value                          | < 0,001 |          | < 0,001           |     |     |     |

Avec le test de Chi<sup>2</sup> de Pearson, nous avons d'abord cherché à voir s'il y a un effet de l'urbanisation sur la réussite de la pollinisation. Sur *Hyacinthoides non-scripta* le test de Chi<sup>2</sup> de Pearson est significatif, il y a donc un effet du type de milieu sur le succès de la pollinisation. Ainsi, pour le milieu urbanisé, le succès de la pollinisation est significativement supérieur à celui du milieu naturel, respectivement 61% contre 52%. Pour *Allium ursinum*, le test de Chi<sup>2</sup> de Pearson est hautement significatif, du fait d'une p-value inférieure à 0,001. Il y a donc un effet encore plus important du type de milieu sur le succès de la pollinisation. Ce qui se traduit par un succès de pollinisation en milieu urbanisé de 81% significativement supérieur à celui de milieu non urbanisé de 67%.

Nous avons ensuite cherché à voir s'il y a un effet de la localisation spatiale et un effet intersites sur cette réussite. Le test Chi<sup>2</sup> de Pearson est hautement significatif pour *Hyacinthoides non-scripta* et *Allium ursinum*. Il y a donc un effet important de la localisation spatiale (plateau

<sup>4</sup> A et B milieux non urbanisés ; C et D milieux urbanisés

vallée) et intersites sur le succès de la pollinisation. En effet, pour *Hyacinthoides non-scripta*, le succès de la pollinisation en milieux urbanisés sur le plateau est significativement supérieur à celui des milieux naturels de la vallée. Lui-même est significativement supérieur au succès des milieux urbanisés de la vallée, qui est significativement supérieur au succès en milieux naturels du plateau, respectivement 67% contre 64%, 55% et 45%. Pour *Allium ursinum*, la réussite de la pollinisation est significativement plus importante pour le site urbanisé à droite du Restaurant Universitaire que celle du site naturel de l'Yvette. La réussite est aussi significativement plus importante pour le site de l'Yvette que celle du site urbanisé à gauche de RU, elle-même significativement supérieure à celle du site naturel de la Pacaterie. Respectivement 92% contre 80%, 70% et 45%.

La pollinisation de *Hyacinthoides non-scripta* est plus efficace en milieu urbanisé avec 61% de réussite. L'étude au niveau des ensembles est plutôt peu concluante. Le milieu naturel du plateau est l'ensemble ayant un succès de pollinisation le plus faible, alors que le milieu urbanisé du plateau a le succès de pollinisation le plus fort. Cette différence de succès de pollinisation peut être due à une différence de diversité floristique de chacun des ensembles (Chagnon, 2008). Comme il a déjà été mis en évidence lors d'une étude sur le parc national des îles-de-Boucherville en 2015, les insectes pollinisateurs et plus particulièrement les abeilles sauvages vont avoir tendance à rechercher des milieux où le pollen et le nectar sont abondants (Fournier & al, 2015). Pour notre étude, l'ensemble A situé en sous-bois naturel sur le plateau a une diversité alpha en fleurs assez pauvre. En opposition, l'ensemble C qui se situe en lisière de forêt et à faible distance de jardins, nous retrouvons une très forte diversité floristique. De plus, il est important de noter que ces milieux n'ont pas tous le même degré d'urbanisation et celui-ci peut avoir un impact sur les résultats obtenus.

De même que pour *Hyacinthoides non-scripta*, il existe aussi une différence dans le succès de la pollinisation entre les milieux urbains et non urbains chez *Allium ursinum*. Ce succès est plus important en milieu urbanisé. Mais il existe aussi une différence entre les sites où ont été réalisées les collectes de données au sein d'un même type de milieu et plus particulièrement entre les deux sites de milieu naturel : les sous-bois de la Pacaterie et de l'Yvette. Ces deux milieux sont, du point de vue diversité floristique et écologie, relativement similaires mais tout de même avec 2 différences. Le site de l'Yvette est traversé par un cours d'eau et possède une partie de milieu ouvert, ce qui n'est pas le cas du site de la Pacaterie qui est complètement un milieu de sous-bois et entouré de bâtiments relativement proches. De même, cette différence de succès de la pollinisation entre les différents sites d'un même milieu peut donc être due à un effet de gradient d'urbanisation et d'habitat (ouvert/fermé).

Au niveau du protocole, *Hyacinthoides non-scripta* peut être considérée comme étant une espèce modèle et est à garder pour le projet. Elle fait de gros fruits qui ne tombent pas facilement, ce qui nous permet de ne pas avoir de perte et donc pas de données manquantes ou de défaut d'échantillonnage. La fructification de chaque fleur se fait en 2 semaines. 2 passages à deux semaines d'intervalle après le début de fructification des premières fleurs (croissance acropète) suffisent normalement pour collecter la totalité des données. En sous-bois, il peut y avoir des problèmes d'herbivorie en fin de fructification. Malgré le fait que *Hyacinthoides non-scripta* soit une plante de sous-bois, on la retrouve partout, même en milieu ouvert très urbanisé car elle est

devenue une espèce ornementale que l'on met dans son jardin ou sur son trottoir. Même si nous avons pu la trouver sur les 4 ensembles, il serait bon de trouver des sites plus urbanisés sur le plateau de Saclay en prospectant plus loin. Pour *Allium ursinum*, nous avons vu plus haut que, malgré ses gros fruits faciles à compter, sa période de fructification optimale et sa faible perte, elle ne sera pas à conserver pour l'étude à grande échelle car cette espèce est absente au niveau du plateau.

## Conclusion

Les protocoles testés ont permis de mettre en évidence dans un premier temps, pour le SPIPoll, des différences de diversité des insectes pollinisateurs entre des milieux urbanisés et non urbanisés. Même si l'abondance générale des insectes pollinisateurs n'est pas significativement différente, nous avons pu observer des différences d'abondance de certains taxons selon le type de milieu. Dans un second temps, l'étude du succès de la pollinisation nous a permis d'observer une différence dans la proportion des fleurs pollinisées entre les milieux urbanisés et non urbanisés. Les milieux urbanisés sont mieux pollinisés que les milieux non urbanisés.

L'urbanisation semble avoir un impact sur le service écosystémique de pollinisation. Elle perturbe les populations d'insectes pollinisateurs. Cet impact ne se traduit pas par la diminution du nombre d'espèces et d'individus mais plutôt par la nature des espèces présentes. L'urbanisation fait se déplacer certaines populations selon leur niveau de sensibilité. Les espèces qui seront tolérantes à l'urbanisation se retrouveront plus facilement en milieu urbain mais aussi en milieu naturel. En revanche, des espèces sensibles à l'urbanisation car leur habitat de naissance ou de nidification sont détruits ou trop éloignés des sources de nectar seront absentes des milieux urbains et présentes en milieu non urbain.

Le projet à grande échelle avec plus de repassage par site et plus de sites permettra de valider ou non ces observations. Cette étude peut permettre d'identifier les espèces ou taxons que l'on rencontre plus spécifiquement sur tel ou tel milieu, dans le but de mettre en place des programmes de suivis. L'étude peut aussi inciter les villes à développer les espaces verts et fleuris, de manière à augmenter la richesse floristique des milieux urbanisés et donc à fournir des ressources alimentaires diversifiées et abondantes aux insectes pollinisateurs.

## Bibliographie

- Aubert, C., & al. (2011, septembre). *Enjeux de la pollinisation pour la production agricole en Tarn-et-Garonne*. Consulté le mai 2015, sur [http://www.agroforesterie.fr/documents/Projet\\_BeeWare\\_Enjeux\\_de\\_la\\_pollinisation\\_pour\\_la\\_production\\_agricole.pdf](http://www.agroforesterie.fr/documents/Projet_BeeWare_Enjeux_de_la_pollinisation_pour_la_production_agricole.pdf)
- Chagnon, M. (2008, Décembre). *Causes et effets du déclin mondial des pollinisateurs et les moyens d'y remédier*. Fédération canadienne de la faune. Bureau régionale du Québec. Récupéré sur [http://www.agrireseau.qc.ca/apiculture/documents/D%C3%A9clin%20poll\\_FR\\_MC3\\_M\\_Chagnon.pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/apiculture/documents/D%C3%A9clin%20poll_FR_MC3_M_Chagnon.pdf)
- De Flores, M., & Deguines, N. (2012). *Trois ans d'activité du Spipoll. inra*. Consulté le 2015, sur inra: <http://www7.inra.fr/opie-insectes/pdf/i167deflores-deguines.pdf>
- e-graine. (2012, janvier 9). Consulté le avril 2015, sur kiagi: [http://www.kiagi.org/assets/pdf\\_229.pdf](http://www.kiagi.org/assets/pdf_229.pdf)
- EPPS. (2013, Mars). *Un projet urbain pour une ville campus*. Récupéré sur media-paris-saclay: <http://www.media-paris-saclay.fr/wp-content/uploads/2013/07/Brochure-Paris-Saclay.pdf>
- fao. (s.d.). *biodiversity*. Consulté le juin 2015, sur fao.com: <http://ftp.fao.org/docrep/fao/010/i0112f/i0112f06.pdf>
- Fournier, V., & al. (2015). *Bulletin de conservation 2014/2015*. Récupéré sur parcsquebec.com: <http://nunavikparks.com/dotAsset/7062d8d3-1476-4fb9-8ccf-fe230257ec81.pdf#page=22>
- Geoportail. (s.d.). Consulté le avril 2015, sur Geoportail: <http://www.geoportail.gouv.fr/accueil>
- Joris, I. (2006). *Eco-éthologie des pollinisateurs de *Lythrum salicaria* L.* Mémoire de Licence en Zoologie, Université de Mons-Hainaut, Mons. Récupéré sur [http://www.atlashymenoptera.net/biblio/Memoire\\_joris\\_2006.pdf](http://www.atlashymenoptera.net/biblio/Memoire_joris_2006.pdf)
- Laboratoire d'Ecologie, Systématique et Evolution. (s.d.). *Ecologie du paysage, changement d'utilisation des écosystèmes et urbanisation : Dynamiques de la biodiversité et des services écosystémiques au cours du développement péri-urbain*. Récupéré sur ese.u-psud: <http://www.ese.u-psud.fr/rubrique145.html>
- Le monde des insectes. (s.d.). Consulté le Avril 2015, sur Le monde des insectes: <http://galerie-insecte.org/galerie/>
- MNHN. (s.d.). Consulté le Avril 2015, sur Suivi Photographique des Insectes Pollinisateurs: <http://www.spipoll.org/>
- Observatoire du Sahara et du Sahel. (2004). *Réseau d'observatoires de surveillance écologique l'ond therme*. Consulté le juin 2015, sur [http://www.oss-online.org/cd\\_envi/doc-new/02/06/02/05.pdf](http://www.oss-online.org/cd_envi/doc-new/02/06/02/05.pdf)

- Teyssède, A. (2015). *biodiversité et changements globaux : Vers une sixième grande crise d'extinctions ?* Récupéré sur [http://www.researchgate.net/profile/Anne\\_Teyssedre/publication/239927348\\_Vers\\_une\\_sixime\\_grande\\_crise\\_d'extinctions\\_/links/0deec528912a906e82000000.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Anne_Teyssedre/publication/239927348_Vers_une_sixime_grande_crise_d'extinctions_/links/0deec528912a906e82000000.pdf)
- Thibaut, T. (s.d.). Consulté le juin 2015, sur [ftp://ftp.unice.fr/users/francour/Biodiversite\\_generalite\\_Thibaut.pdf](ftp://ftp.unice.fr/users/francour/Biodiversite_generalite_Thibaut.pdf)
- Watenberga, P., & Thivet, R. (2010, Octobre). Lune de miel sur le toit de l'INRA. *Courrier de l'environnement de l'INRA*(59). Récupéré sur <http://www7.inra.fr/lecourrier/wp-content/uploads/2012/01/C59inter.pdf>



# Annexe 1

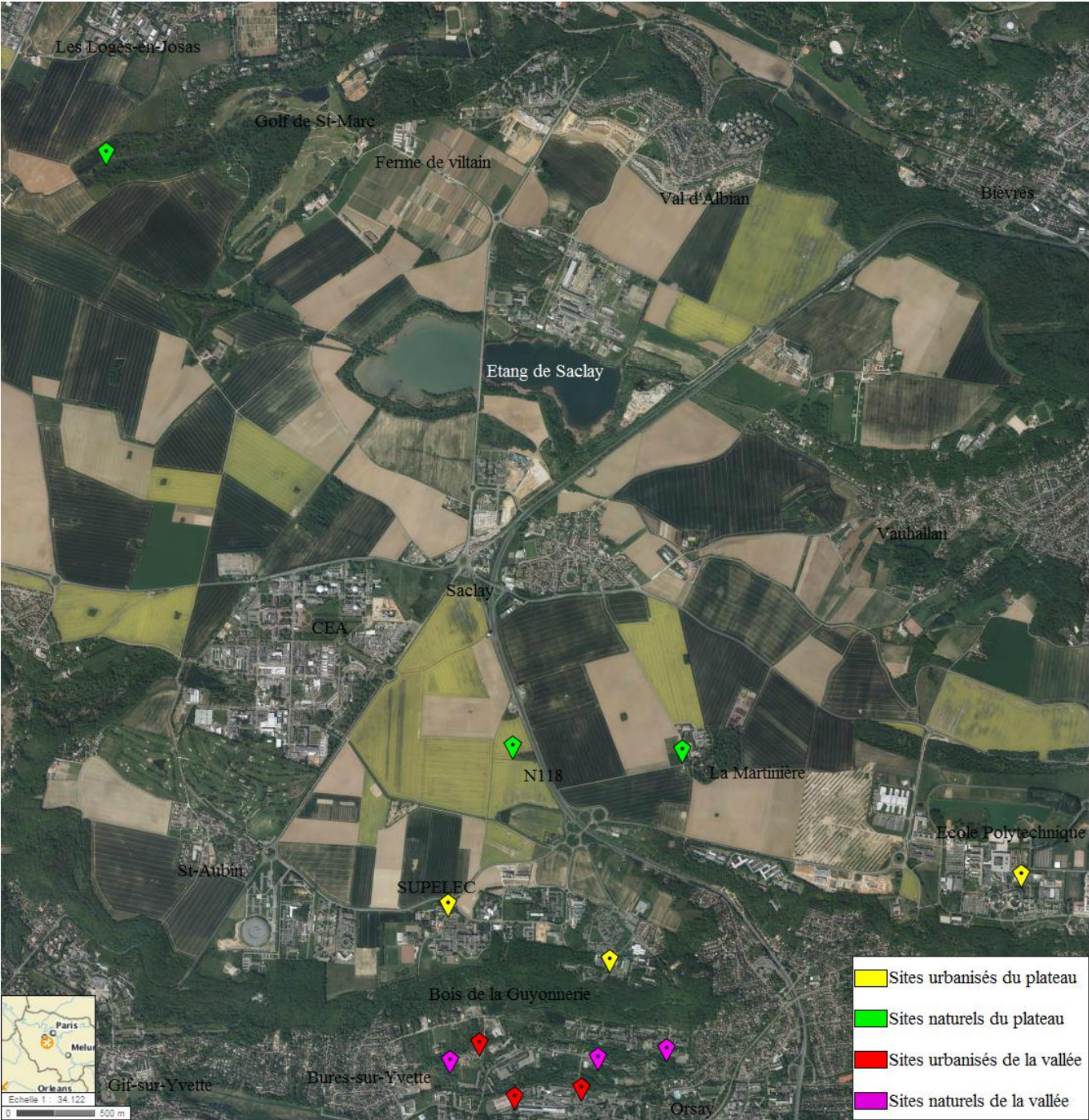


Figure 4 : Sites pour le spipoll (Geoportail).

Tableau 6 : Nom des sites pour l'étude de la diversité des pollinisateurs

| Type de site | Implantation | Lieu                                                                            |
|--------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Naturel      | Vallée       | Bord de l'Yvette                                                                |
|              |              | Sous-bois de la Pacaterie                                                       |
|              |              | Sous-bois du STAPS                                                              |
|              | Plateau      | Champs de l'hôpital et de la Martinière                                         |
|              |              | Bosquet entre l'air de repos Total et la sortie "cité universitaire" de la N118 |
|              |              | Etangs après la ferme de Viltain et le golf de Saint Marc                       |
| Urbanisé     | Vallée       | Pelouse près du RU du personnel                                                 |
|              |              | Parking entre le centre équestre et le STAPS                                    |
|              |              | Parking en face du bâtiment 209                                                 |
|              | Plateau      | Parking de SUPELEC                                                              |
|              |              | Pelouse près des bâtiments de polytechnique                                     |
|              |              | Pelouse près du bâtiment 502 bis                                                |



## Annexe 2



Figure 5 : Sites pour la fructification (Geoportail).

Tableau 7 : Espèces sélectionnées pour l'étude du succès de la pollinisation

| Espèce                           | Nom vernaculaire        | Floraison  | Fruit                                                | Ecologie                            | Nombre de fleurs étudiées |
|----------------------------------|-------------------------|------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| <i>Allium ursinum</i>            | Ail des ours            | mars-mai   | Capsule à 3 loges en forme de boulet de canon        | Sous-bois et ravins humides         | 20 hampes                 |
| <i>Hyacinthoides non-scripta</i> | Jacinthe des bois       | mars-avril | Capsule ovoïde à 3 loges                             | sous-bois                           | 20 hampes                 |
| <i>Anemone nemorosa</i>          | Anémone des bois        | mars-mai   | Nombreuses loges en forme de larmes pointues de 2mm  | Sous-bois, haie, lande herbeuse     | 40 hampes                 |
| <i>Lamium album</i>              | Ortie blanche           | avril-juin | 4 loges de 3mm                                       | Buissons, haies, chemins, décombres | 10 hampes                 |
| <i>Geranium robertianum</i>      | Géranium herbe à robert | avril-août | Capsule à 5 loges en forme de bec de 2cm             | Haies, murs, bois                   | 20 hampes                 |
| <i>Primula veris</i>             | Primevère officinale    | avril-mai  | Capsule ovale de 5 à 10mm                            | Prés, pâturages, rochers herbeux    | 10 hampes                 |
| <i>Cardamine pratensis</i>       | Cardamine des prés      | avril-juin | Silique de 2-3cm à 2 valves séparées par une cloison | Prés humides et ruisseaux           | 10 hampes                 |

Tableau 8 : Sites et espèces de fleurs étudiés pour évaluer le succès de la pollinisation

| Type de site | Implantation | Lieu                      | Espèces                                                         |
|--------------|--------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Naturel      | Vallée       | Bord de l'Yvette          | <i>Geranium robertianum</i>                                     |
|              |              |                           | <i>Hyacinthoides non-scripta</i>                                |
|              |              |                           | <i>Allium ursinum</i>                                           |
|              |              |                           | <i>Lamium album</i>                                             |
|              |              |                           | <i>Cardamine pratensis</i>                                      |
|              |              | Sous-bois de la Pacaterie | <i>Hyacinthoides non-scripta</i>                                |
|              |              |                           | <i>Allium ursinum</i>                                           |
|              | Plateau      | Etangs de St-Marc         | <i>Geranium robertianum</i>                                     |
|              |              |                           | <i>Hyacinthoides non-scripta</i>                                |
|              |              |                           | <i>Anemone nemorosa</i>                                         |
|              |              |                           | <i>Lamium album</i>                                             |
|              |              |                           | <i>Hyacinthoides non-scripta</i>                                |
|              |              |                           | <i>Anemone nemorosa</i>                                         |
|              |              |                           | <i>Cardamine pratensis</i>                                      |
|              |              |                           | <i>Primula veris</i>                                            |
| Urbanisé     | Vallée       | Parking Orsay             | <i>Lamium album</i>                                             |
|              |              | RU du personnel           | <i>Geranium robertianum</i>                                     |
|              |              |                           | <i>Allium ursinum</i>                                           |
|              |              | Bât 350                   | <i>Geranium robertianum</i>                                     |
|              |              | maison 101 bis            | <i>Hyacinthoides non-scripta</i>                                |
|              |              |                           | <i>Hyacinthoides non-scripta</i>                                |
|              | Plateau      | Val d'Albian haut         | <i>Lamium album</i>                                             |
|              |              |                           | <i>Hyacinthoides non-scripta</i><br><i>Geranium robertianum</i> |

## Annexe 3

Tableau 9 : Tableau des indices de diversité alpha utilisés pour l'étude

| Indices           | Formules                                      | Bornes                  | Explications                                                   |
|-------------------|-----------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Indice de Simpson | *<br>$D = 1 - \sum_{i=1}^s (p_i)^2$           | $0 \leq D \leq 1$       | 0 : faible diversité alpha<br>1 : forte diversité alpha        |
| Indice de Shannon | *<br>$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \times \ln p_i$ | $0 \leq H' \leq \ln(S)$ | 0 : faible diversité alpha<br>$\ln(S)$ : forte diversité alpha |
| Indice de Pielou  | *<br>$R = \frac{H'}{\ln S}$                   | $0 \leq D \leq 1$       | 0 : dominance d'une espèce<br>1 : équi-répartition des espèces |

Tableau 10 : Tableau des indices de diversité bêta utilisés pour l'étude

| Indices            | Formules                              | Bornes                | Explications                                          |
|--------------------|---------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------|
| Indice de Jaccard  | **<br>$J = \frac{A \cap B}{A \cup B}$ | $0 \leq J \leq 1$     | 0 : milieux très différents<br>1 : milieux similaires |
| Indice de Sorensen | **<br>$\beta = \frac{2c}{S_1 + S_2}$  | $0 \leq \beta \leq 1$ | 0 : pas d'espèces en commun<br>1 : mêmes espèces      |

\* **pi** : Nombre d'individus de l'espèce i / Nombre total d'individus  
**S** : Richesse spécifique

\*\* **A ∩ B** : Nombre d'espèces communes aux 2 communautés.  
**A ∪ B** : Nombre d'espèces différentes dans les 2 communautés.  
**c** : Nombre d'espèces communes aux 2 communautés  
**S<sub>1</sub>** : Nombre total d'espèces enregistrées dans la communauté 1  
**S<sub>2</sub>** : Nombre total d'espèces enregistrées dans la communauté 2



# Annexe 4

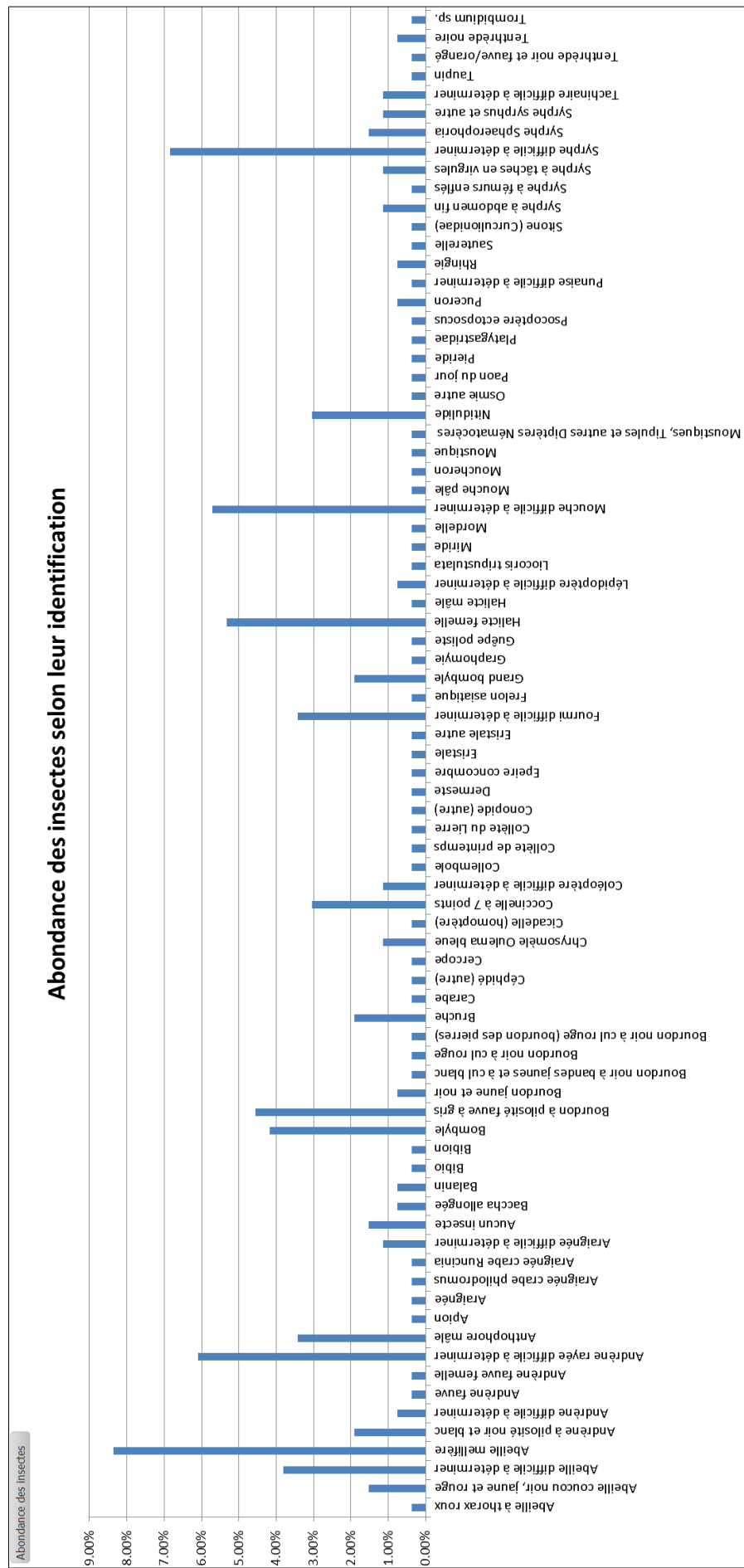


Figure 6 : Graphique représentant l'abondance des pollinisateurs selon leur identification SPIPoll

Annexe 5

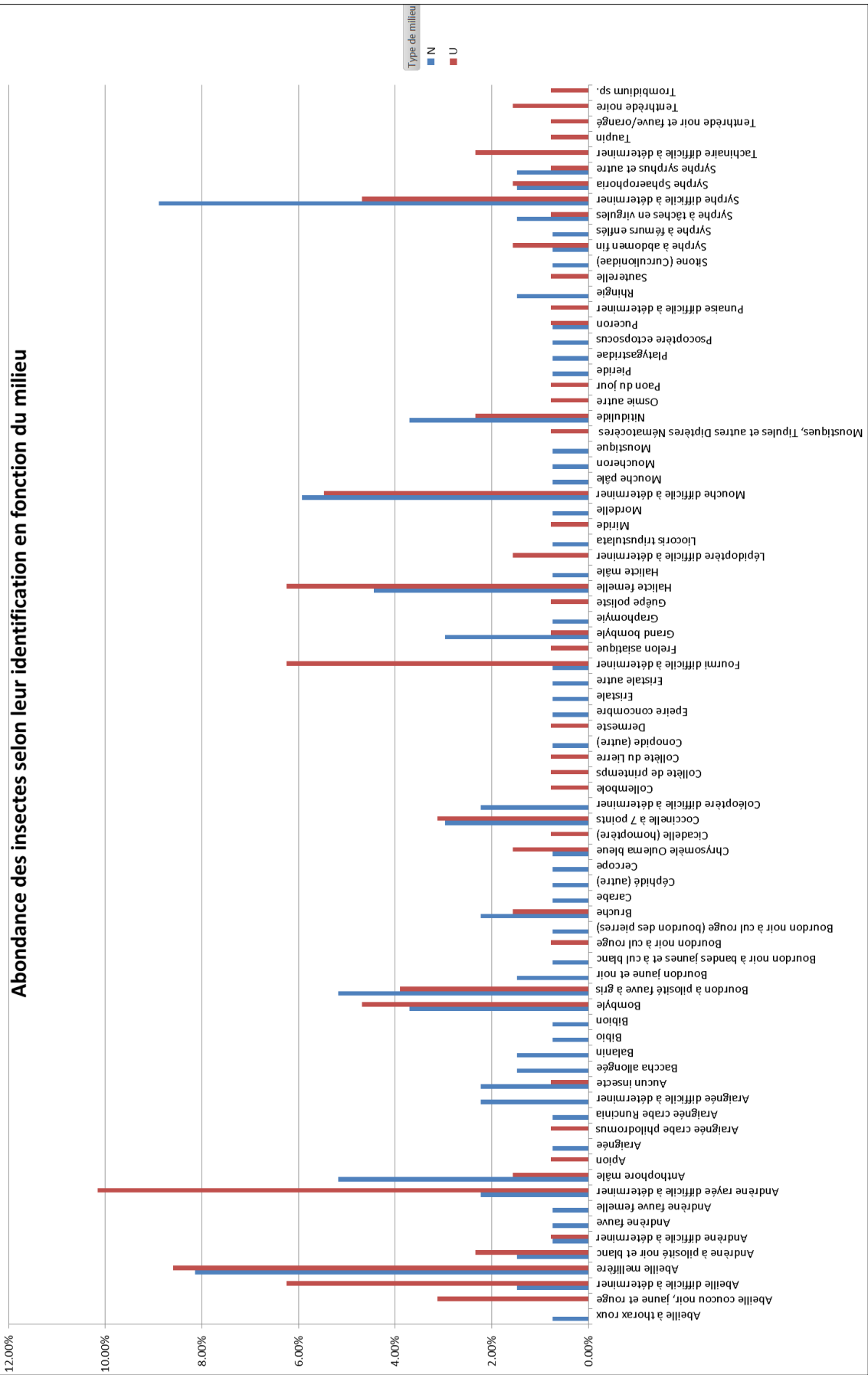


Figure 7 : Graphique représentant l'abondance des insectes pollinisateurs par type de milieu et selon leur identification SPIPoll

## Annexe 6

### Tableau 11 : Planning des tâches

[illegible]

Annexe 7

Tableau 12 : Répartition du travail

|             |                   | SPIPoll |           |                           |                           |       | Fruits |           |                           |                           |       |        |
|-------------|-------------------|---------|-----------|---------------------------|---------------------------|-------|--------|-----------|---------------------------|---------------------------|-------|--------|
| INTERVENANT | IDEE<br>ORIGINALE | BIBLIO  | PROTOCOLE | COLLECTE<br>de<br>DONNEES | ANALYSE en<br>LABORATOIRE | STATs | BIBLIO | PROTOCOLE | COLLECTE<br>de<br>DONNEES | ANALYSE en<br>LABORATOIRE | STATs | REDAC  |
| Principal   | E                 | E       | E         | M+                        | M+                        | M     | M      | M         | M                         | M                         | M     | M      |
|             |                   | M       | M         | H                         | H                         | H     | S      | S         |                           |                           | S     |        |
|             |                   |         | H         | D                         | D                         | D     |        | E         |                           |                           |       |        |
| Secondaire  |                   | H       |           |                           | ES                        |       | E      |           | E                         | S                         |       | E<br>S |
|             |                   | D       |           |                           | C                         |       |        |           | A<br>L                    |                           |       |        |

E : Emmanuelle - Maître de stage, responsable de l'équipe EPC

M : Moi

H : Hélène - étudiante d'AgroParisTech en projet

D : Dominique - étudiante d'AgroParisTech en projet

L : Léa - étudiante de L3 d'UPSud en stage

ES : Expert SPIPoll

C : Christophe - Entomologiste au Laboratoire ESE

S : Sandrine - Ingénieur d'étude CNRS, membre de l'équipe EPC

A : Alain - Atelier



## Résumé

Depuis quelques années déjà, les chercheurs observent un déclin important de la biodiversité des insectes pollinisateurs et donc du service écosystémique de pollinisation qu'ils assurent. Des programmes de recherches se développent autour de cette problématique et donnent lieu à des études visant à comprendre les facteurs responsables de ce déclin des insectes pollinisateurs. Dans le cadre d'un programme de recherche étudiant l'impact de l'urbanisation sur la biodiversité, j'ai réalisé une étude pilote visant à tester la faisabilité de protocoles pour étudier les relations entre l'urbanisation, la diversité des pollinisateurs et le service de pollinisation sur le territoire du plateau de Saclay actuellement en cours d'urbanisation.

Pour étudier la diversité des pollinisateurs, nous avons utilisé le protocole de sciences participatives SPIPoll. Notre étude pilote avait pour but de vérifier que ce protocole permettait bien d'évaluer qualitativement et quantitativement la biodiversité et l'abondance des insectes pollinisateurs en milieu urbain et non urbain. Nous avons aussi étudié la faisabilité d'un protocole visant à évaluer le succès de la pollinisation en fonction d'un gradient d'urbanisation, avec un comptage des fruits de certaines espèces de fleurs présentes à la fois en milieu urbanisé et non urbanisé.

Nous avons pu observer des différences de fréquentation des insectes pollinisateurs entre les milieux urbain et non urbain. En parallèle, le protocole utilisé pour évaluer le succès de la pollinisation permet d'observer une différence dans la proportion de fleurs pollinisées entre les types de milieu. Les protocoles peuvent donc être utilisés lors de l'étude à grande échelle de l'impact de l'urbanisation sur la pollinisation. Cependant, certains points doivent être améliorés pour optimiser l'analyse et l'interprétation des résultats.

**Mots clefs :** Pollinisation, service écosystémique, urbanisation, impact, diversité spécifique, sciences participatives, plateau de Saclay, diversité des pollinisateurs, déclin, succès de pollinisation, fructification.