

Composition de la communauté de pollinisateurs de l'arboretum de l'Université Grenoble Alpes



@Céline Caruana-Solum

Mugnier Rémi
Master 1 Biodiversité, Ecologie et Evolution

Sous la direction de : Despres Laurence
Responsable pédagogique : Foulquier Arnaud

Mai 2019

Sommaire

1 Introduction	3
2 Matériels et Méthodes	4
Site d'étude :.....	4
Observations des visites de pollinisateurs :.....	4
Chronologie de floraison et observation de l'abondance en fleurs de la prairie :..	5
Mesure d'abondance, de richesse, de diversité, d'équitabilité et description des données :.....	5
Variables explicatives :.....	6
Analyses statistiques :.....	6
Réalisation d'une analyse en composante principale :.....	6
Réalisation de réseaux d'interactions et calcul d'indices spécifiques :.....	7
3 Résultats	7
Proportion de visites par les cinq grands groupes de pollinisateurs :.....	7
Mesures d'abondance des visites de fleurs et indices de diversités et d'équitabilités :.....	8
Analyse en composantes principales :.....	9
Analyses statistiques :.....	10
Réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs et indices de ces réseaux :.....	11
4 Discussion	13
Bibliographie	16
Annexe	17
Résumé	18

1 Introduction

La pollinisation connaît actuellement une crise mondiale, qui concerne tous les insectes pollinisateurs, y compris l'abeille domestique *Apis mellifera*. Les insectes pollinisateurs sont essentiels pour beaucoup de services écosystémiques (Bartholomé 2018), ils font partie de réseaux importants dont certaines plantes dépendent fortement. La disparition de quelques espèces de pollinisateurs peut mettre en péril l'intégralité d'un réseau d'interactions plantes-pollinisateurs (Stang 2007). A l'échelle de la France, il n'existe pas d'étude qui traite du déclin de l'ensemble des pollinisateurs, ni d'évaluation de l'efficacité de l'abeille domestique *versus* d'autres pollinisateurs dans un contexte périurbain. Cette étude visera à augmenter les connaissances sur les pollinisateurs en contexte périurbain pour ensuite mieux les préserver et les étudier. Les abeilles domestiques peuvent composer 75% de la communauté de pollinisateurs pour la majorité des cultures (Kremen 2004), ou encore environ 50% des pollinisateurs de vergers (Bartholomé 2018). L'arboretum constitue un parfait exemple de zone périurbaine, il est composé en grande partie d'essences d'arbres exotiques. Dans l'arboretum on trouve trois types de plantes : les arbres exotiques, les arbres européens et les herbacées.

Mon stage a pour but de répondre à plusieurs questionnements qui vont s'organiser selon plusieurs axes :

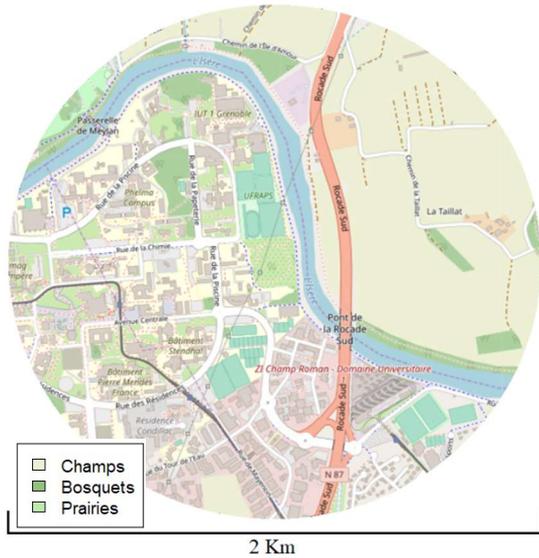
- Caractérisation de la communauté de pollinisateurs (abondance, diversité, richesse spécifique) au niveau du site au cours de la saison (Avril-Juillet).
- Caractérisation du cortège de visiteurs associé à chaque type de plantes et évaluation de la part respective de l'abeille domestique *Apis mellifera* *versus* d'autres pollinisateurs dans le cortège de visiteurs au cours de la saison de floraison.
- Comment la densité et la diversité des plantes fleuries de l'arboretum influencent-elles l'activité des pollinisateurs ?
- Comment l'identité des pollinisateurs et la structure du réseau plantes-pollinisateurs changent-elles entre les trois types de plantes ?

Ce stage servira à la conception d'un panneau pédagogique permanent installé dans l'arboretum et permettra un suivi pluriannuel de la communauté des pollinisateurs sur le campus.

2 Matériels et Méthodes

Site d'étude :

L'arboretum de l'Université Grenoble Alpes (GPS : 45.193733, 5.778423) est âgé



d'environ 50 ans et présente une grande diversité d'essences européennes et exotiques, ainsi qu'une grande variété de strates végétales (prairies, arbustes, arbres plus ou moins isolés). Il est situé au bord d'un fleuve : l'Isère et est entouré à l'ouest par l'Université Grenoble Alpes composée de bâtiments, de pelouses et de quelques bosquets d'arbres. A l'est de l'autre côté de l'Isère s'étendent des champs (céréales et légumineuses) sur plusieurs hectares. L'altitude de Grenoble est de 200m, la température moyenne annuelle est

d'environ 11.2°C et la moyenne des précipitations annuelles atteint 856mm.

Observations des visites de pollinisateurs :

Entre le 5 Avril et le 17 Mai une série de 167 sessions de 20 minutes d'observations a été réalisée sur les arbres entomogames de l'arboretum ainsi que sur les herbacées fleuries présentes dans l'arboretum. 55h d'observations au total ont été réalisées : 61 sessions sur des herbacées et 106 sur des arbres. Au total 55 espèces d'angiospermes ont été observées (annexe.1). Pendant 20 minutes, sur un bouquet d'environ 10 à 15 fleurs, toutes les visites sont notées. Dans le cas où le même insecte visite des fleurs voisines, il est compté à nouveau. Les observations ont été réalisées principalement entre 10h et 17h, par jour sans pluie et sans vent fort. Chaque insecte compté est classé en 9 grandes catégories :

- *Apis mellifera* : Hyménoptères gérés retrouvés en grande quantité en milieu rural.
- Abeilles sauvages : Hyménoptères sauvages présentant une grande diversité et participants de manière importante à la pollinisation en zone naturelle.
- Guêpes : Hyménoptères sauvages.
- Bourdons : Hyménoptères sauvages ou gérés, ici principalement sauvages.
- Syrphes : Insectes réputés comme très bons pollinisateurs et retrouvés en très forte proportion à beaucoup d'endroits (Faegri 1979, Lovett Doust J & L 1988).
- Drosophiles : Diptères sauvages apparentés aux mouches.

- Autres diptères : Tout diptère qui n'est ni syrphé ni drosophile, comprend notamment les bombyles qui sont de très bons pollinisateurs de fleurs d'herbacées en corolle.
- Lépidoptères : Papillons.
- Coléoptères : Pollinisateurs très spécialisés sur certaines plantes en particulier et qui peuvent être retrouvés en grande quantité sur certaines fleurs.

Dans la suite de l'étude, ces visiteurs de fleurs seront appelés pollinisateurs même si rien ne nous confirme leur réelle efficacité de pollinisation. A chaque observation, la température ainsi que le taux d'humidité sont relevés à l'aide d'un thermo-hygromètre placé à l'ombre et au plus proche des fleurs observées. La majeure partie des observations d'herbacées a été effectuée à l'aide d'une caméra GoPro réglée sur 50 photos par minute, puis ces mêmes photos ont été analysées à l'œil pour dénombrer les visites de pollinisateurs.

Chronologie de floraison et observation de l'abondance en fleurs de la prairie :

Chaque semaine, les lundis et jeudis, les espèces d'herbacées et d'arbres en fleur sont notées et leur floraison est suivie. Un arbre est noté en fleur à partir du moment où ses organes reproducteurs sont matures.

Plusieurs secteurs de prairies sont définis au sein de l'arboretum afin de représenter l'abondance en fleurs d'herbacées. Une échelle arbitraire de valeurs qualitatives est définie de 0 à 5, avec 0 représentant aucune fleur et 5 représentant une prairie intégralement en fleur.

Mesure d'abondance, de richesse, de diversité, d'équitabilité et description des données :

L'évolution de la richesse spécifique et de l'abondance des visites des pollinisateurs au cours du temps a été suivie en regroupant les sessions par semaine. La richesse spécifique représente le nombre de taxons présents alors que l'abondance de visite représente le nombre de visite de pollinisateurs, divisé par le nombre de session.

Les indices de Shannon (H') et de Simpson (D_1) sont des indices de diversité spécifique qui permettent de compléter la mesure de richesse spécifique en la pondérant par l'abondance des différents taxons. Avec p_i la proportion d'espèce i , S est le nombre d'espèces de manière à ce que $\sum_{i=1}^S p_i = 1$, et b est la base du logarithme.

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_b p_i \qquad D_1 = - \sum_{i=1}^S p_i^2$$

Ces indices varient de 0 à $\log_{10}(S) = 9$ avec 0 aucune diversité et 9 une diversité maximale. L'indice de Shannon donne plus de poids aux espèces rares alors que l'indice de Simpson donne plus de poids aux espèces abondantes. L'indice d'équitabilité (J') exprime la

dominance d'un taxon lorsqu'il est proche de 0 et l'équivalence de représentation de tous les taxons dans la communauté lorsqu'il tend vers 1 ; il est calculé à l'aide de l'indice de Shannon.

$$J' = H' / \log_b(S)$$

Les trois indices sont calculés en fonction du type de plante observé ainsi que sur le total des observations. Ils sont obtenus à l'aide du package '*vegan*'. Toutes les analyses de l'étude ont été effectuées à l'aide du logiciel RStudio (R Development Core Team 2005)

Variables explicatives :

- Date : Date et heure de l'observation.
- Type de plante : Type de la plante en trois modalités : 'exotique', 'européenne' et 'herbacée'.
- Couleur : Couleur de la fleur de la plante observée en plusieurs modalités : 'blanc', 'blanc-jaune', 'blanc-rose', 'bleu', 'jaune', 'noir', 'rose', 'rouge', 'vert' et 'violet'.
- Morphologie : Morphologie de la fleur en deux modalités : 'actinomorphe' et 'zygomorphe'.
- Température : Température prise à l'ombre de la plante durant son observation, relevée à la fin des 20 minutes d'observation.
- Taux d'humidité : Taux d'humidité pris au plus proche des fleurs de la plante, relevé à la fin des 20 minutes d'observation.
- Abondance de fleurs d'herbacées : Echelle arbitraire de 0 à 5 représentant la quantité de fleurs dans la prairie.
- Nombre d'arbres en fleurs : Nombre d'arbres entomogames de l'arboretum.

Analyses statistiques :

Une ANOVA est réalisée afin de déterminer si l'abondance en fleurs d'herbacées impacte les abondances de visites de chaque classe de pollinisateur sur les arbres et en général. Un modèle linéaire généralisé (famille : Poisson) est effectué sur les variables 'température' et 'abondance d'arbres en fleurs dans l'arboretum' après avoir vérifié que les abondances de visite de pollinisateurs ne suivent pas une loi normale, même après log-transformation.

Réalisation d'analyse en composante principale :

Afin de déterminer si les facteurs climatiques impactent les visites des différents pollinisateurs, une analyse en composante principale (ACP) est réalisée sur les variables 'température', 'humidité' ainsi que sur les observations de pollinisateurs. Pour des questions de robustesse de l'ACP, les classes de pollinisateurs 'abeilles sauvages', 'bourdons' et 'guêpes' ont été groupées en une variable 'hyménoptères sauvages'. Il en est de même pour 'syrphes',

'drosophiles' et 'autres diptères' groupés en la variable 'diptères'. L'ACP a été réalisée à l'aide du package 'ade4'.

Réalisation de réseaux d'interactions et calcul d'indices spécifiques :

Des réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs sont obtenus à l'aide du package '*bipartite*', les réseaux d'interactions représentent les différentes interactions des pollinisateurs avec les plantes en fonction des données. La matrice qui décrit le réseau d'interactions plantes-pollinisateurs est constituée en ligne des espèces de plantes (niveau trophique inférieur) et en colonne des 9 catégories de pollinisateurs (niveau trophique supérieur), les abondances de visites sont divisées par le nombre de sessions d'observation par plantes. Trois réseaux sont créés en fonction du type des plantes observées.

Chacun des trois réseaux obtenus est caractérisé par différents indices. L'indice H^2 calcule le niveau global de spécialisation des espèces à l'intérieur du réseau, il varie de 0 à 1, avec pour 0 un réseau très généralisé et pour 1 un réseau parfaitement spécialisé (Blüthgen 2008). L'indice de connectivité représente les proportions d'interactions réalisées dans un réseau, il varie entre 0 et 1 et correspond au nombre d'interactions observées sur le nombre d'interactions possibles. Il s'apparente à une mesure de complexité du réseau, avec pour 1 un réseau très complexe. L'indice d'imbrication reflète le degré d'emboîtement du réseau. Un réseau où les espèces ayant de nombreuses interactions interagissent avec des espèces ayant peu d'interactions, est un réseau imbriqué. Le nombre de partenaire moyen est renseigné pour le niveau supérieur ainsi que pour le niveau inférieur. Le nombre moyen d'interaction est aussi renseigné pour chaque partenaire. L'indice de modularité reflète le degré de modularité du réseau. Un réseau dans lequel les espèces forment des compartiments d'interactions discrets, avec peu d'interactions entre espèces en dehors de chaque compartiment, est un réseau modulaire. Il varie de 0 à 1 avec pour 1 un réseau totalement modulaire.

3 Résultats

Proportion de visites par les cinq grands groupes de pollinisateurs :

Avec 2937 visites sur un total de 4243 visites, l'abeille domestique *Apis mellifera* participe à 69.2% des visites totales (fig.1). Elle participe à 51.8% des visites d'herbacées, 64.0% des visites d'arbres européens et 75.9% des visites d'arbres exotiques. Les hyménoptères représentent plus de 88% des visites quel que soit le type de plante considéré. Les hyménoptères sauvages ont été le plus observés sur les herbacées (36.2%), ensuite sur les arbres européens (24.8%) puis sur les arbres exotiques (14.6%). Les diptères sont relativement peu présents, sauf

sur les herbacées à hauteur de 10.2%. Les coléoptères représentent une faible proportion des visites, sauf sur les arbres européens à hauteur de 7.6%. Les lépidoptères ont uniquement été observés sur les herbacées.

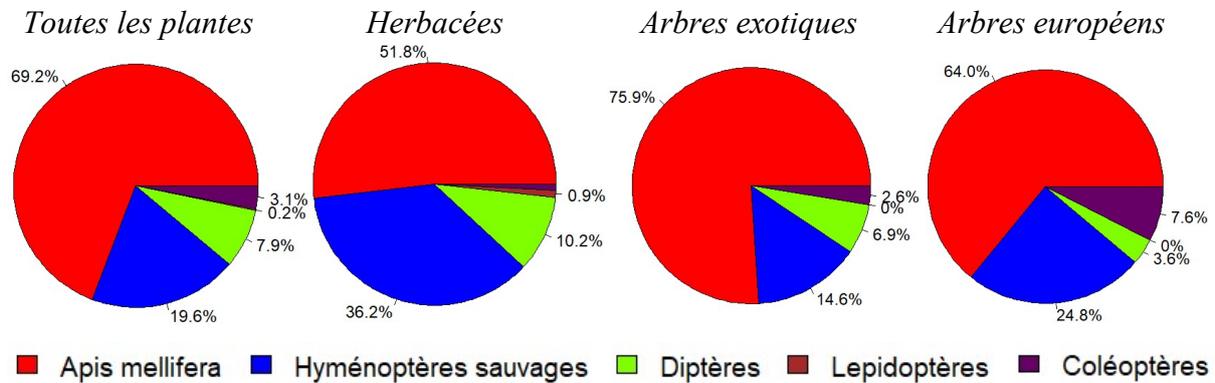


Figure 1 : Diagrammes circulaires des proportions de visites des pollinisateurs en fonction du type de plante. Sur l'intégralité des observations on dénombre 2937 visites d'*Apis mellifera*, 833 d'hyménoptères sauvages, 334 de diptères, 10 de lépidoptères et 129 de coléoptères, pour un total de 4243 visites de pollinisateurs.

Mesures d'abondance des visites de fleurs et indices de diversités et d'équitabilités :

L'abondance totale moyenne des visites sur les trois types de plantes cumulés diminue durant les 5 premières semaines avant de faiblement remonter pour la 6^{ème} semaine. Sur les arbres elle est légèrement remontée les deux dernières semaines (fig.2). Sans prendre en compte l'abeille domestique, la pente de l'abondance moyenne de visites est moins forte que lorsque l'on prend en compte l'abeille domestique. La richesse spécifique des pollinisateurs d'herbacées est toujours plus faible que celle des pollinisateurs d'arbres. Entre les semaines 2 et 5, la richesse spécifique a fortement diminué. Les données d'herbacées pour la 6^{ème} semaine sont manquantes car aucune observation n'a été effectuée.

L'indice de Shannon donne plus de poids aux espèces rares alors que pour l'indice de Simpson ce sont aux espèces abondantes. L'indice de Shannon est en permanence supérieur à celui de Simpson. Dans l'indice de Simpson les visites d'*Apis mellifera* écrasent les données des autres pollinisateurs par son très grand nombre de visite (tab.1). La diversité en pollinisateurs sur les plantes européennes de l'arboretum (Shannon : 1.414 et 1.371) est supérieure à celles des arbres exotiques (Shannon : 0.945). Les indices d'équitabilité des plantes natives de l'arboretum sont plus grands que celui des arbres exotiques. Lorsque les indices sont effectués sur la totalité des observations les valeurs sont respectivement de 1.15 pour l'indice de Shannon et de 0.52 pour l'indice d'équitabilité.

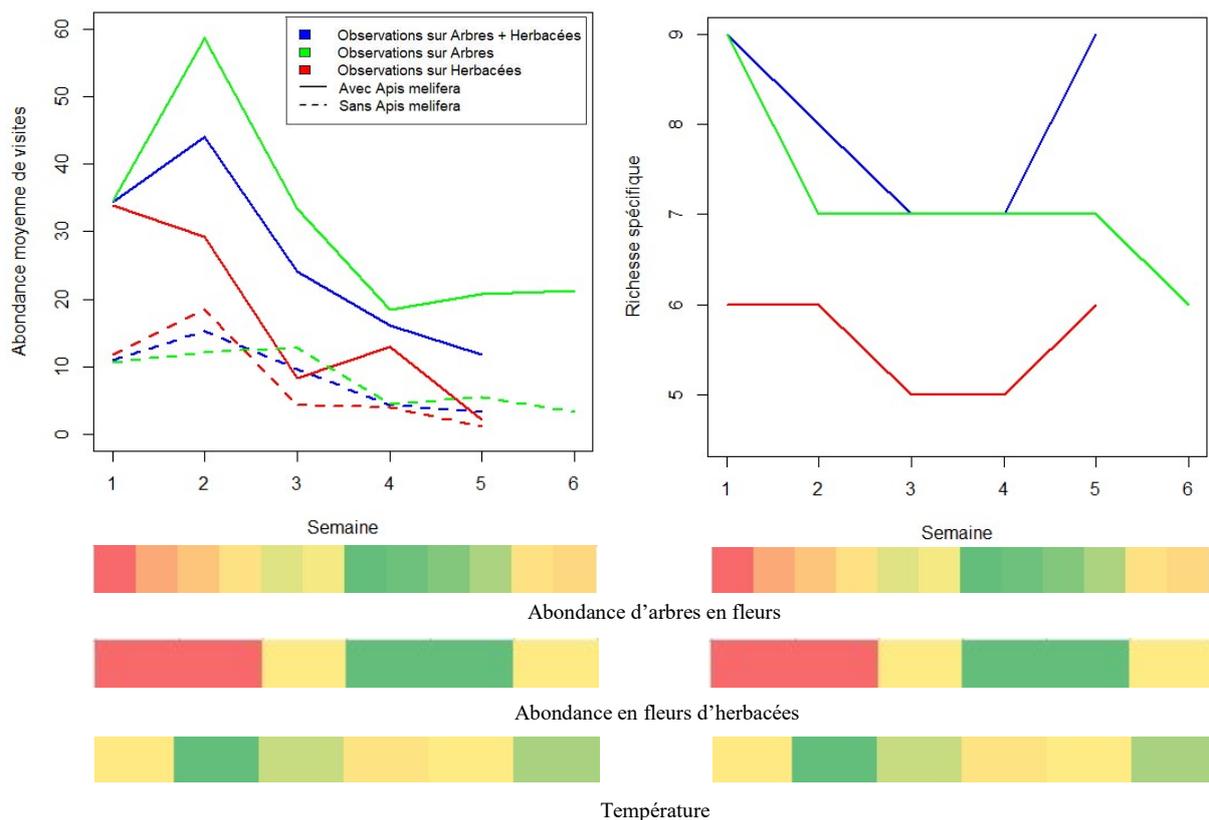


Figure 2 : Variation de l'abondance moyenne de visites et de richesse spécifique par session d'observation au cours des semaines (1 à 6 : du 5 Avril au 17 Mai 2019). La richesse spécifique a été obtenue à l'aide des 9 classes *Apis mellifera*, abeilles sauvages, guêpes, bourdons, syrphes, drosophiles, autres diptères, lépidoptères, coléoptères. Les échelles de température, d'abondance d'arbres en fleurs et d'abondance en fleurs d'herbacées sont de couleur rouge lorsque la valeur est faible et de couleur verte lorsque la valeur est forte

	Arbres européens	Arbres exotiques	Herbacées	Total
Indice de Shannon	1.414	0.945	1.371	1.159
Indice de Simpson	0.645	0.409	0.660	0.498
Indice d'équitabilité	0.643	0.454	0.624	0.527

Tableau 1 : Valeurs d'indices de diversités et d'équitabilité en fonction du type des plantes observées.

Analyse en composantes principales :

Les axes 1,2 et 3 représentent plus de 55% de la variance. L'axe 1 représente la variabilité climatique (axe chaud et sec versus frais et humide) et cet axe explique essentiellement les visites de lépidoptères : les autres catégories de visiteurs semblent moins influencées par cet axe (fig.3). L'axe 3 sépare les hyménoptères sauvages d'*Apis mellifera* et diptères. L'axe 3 sépare les lépidoptères de la température. Les coléoptères contribuent très faiblement aux trois premiers axes et ne seront donc pas interprétés. Il ne semble pas y avoir de

répartitions séparées en fonction du type de plante observé. La variable lépidoptères semble faiblement corrélée avec la variable température et sur les axes 1 et 2 la variable hyménoptères sauvages semble faiblement corrélée avec le groupe de variable diptères et *Apis mellifera*

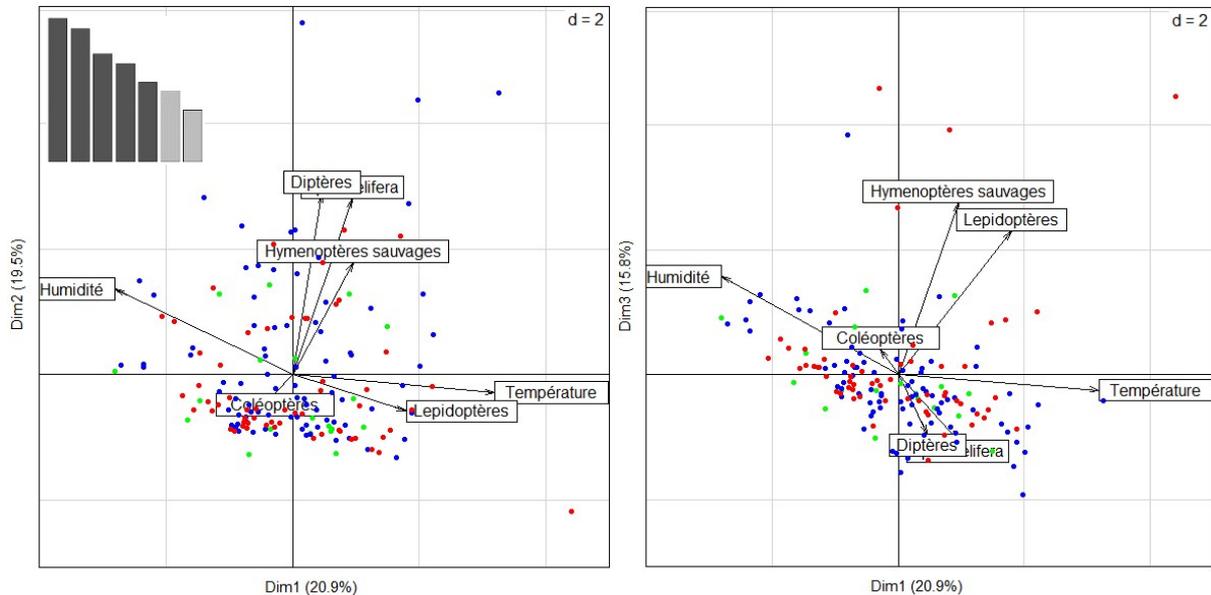


Figure 3 : Analyses en composantes principales des observations de pollinisateurs. Les observations sont colorées en fonction du type de plante observée, en vert les herbacées, en rouge les arbres européens, en bleu les arbres exotiques.

Analyses statistiques:

L'ANOVA montre que l'abondance en fleurs d'herbacées impacte négativement les visites des pollinisateurs de manière globale, d'*Apis mellifera*, des abeilles sauvages, des syrphes, des drosophiles et des diptères (tab.2). Sur les fleurs d'arbres ce sont uniquement les abeilles sauvages, les syrphes et les pollinisateurs de manière globale qui sont négativement impactés. Le nombre d'arbres en fleurs a un impact statistiquement négatif sur les visites de fleurs d'arbres par *Apis mellifera*, les abeilles sauvages, les syrphes, les drosophiles et les pollinisateurs de manière globale. Il impacte aussi négativement le nombre de visite de la totalité des fleurs de l'arboretum par *Apis mellifera*, les bourdons, les syrphes, les drosophiles, les diptères ainsi que la totalité des pollinisateurs. Peu importe le type de plante observé, les coléoptères sont favorisés par la variable nombre d'arbres en fleurs. La température impacte positivement les visites d'*Apis mellifera*, des abeilles sauvages, des diptères, des lépidoptères ainsi que la totalité des pollinisateurs. Elle impacte négativement les bourdons et les drosophiles.

	<i>Apis mellifera</i>	Guêpes	Bourdons	Abeilles Sauvages	Syrphes	Drosophiles	Diptères	Lépido	Coléo	Total
<u>Abondance en fleurs d'herbacées :</u>										
Arbre	-	-		-°	-°	-	-	-	+	-°
Total	-*		-	-*	-°	-°	-°	-	+	-**
<u>Nombre d'arbres en fleurs :</u>										
Arbre	-0.03**	-0.02	0	-0.05°	-0.22**	-0.10*	0	-0.66	0.22**	-0.02**
Total	-0.07**	-0.01	-0.09**	-0.02	-0.20**	-0.14**	-0.06*	0.04	0.20**	-0.06**
<u>Température :</u>										
Total	0.02**	-0.06	-0.03°	0.23**	0.05	-0.13**	0.09**	0.30*	0.02	0.03**

Tableau 2 : Résultats de l'ANOVA pour la variable explicative 'Abondance en fleurs d'herbacées' et des modèles linéaires généralisés pour les variables 'Nombre d'arbres en fleurs' et 'Température'. P-valeur : 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '°' 0.05 ' ' 1. Coléo = Coléoptères ; Lépido = Lépidoptères. Pour l'ANOVA sont renseignés les signes des coefficients, pour les GLM sont renseignés les coefficients et leur signe.

Réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs et indices de ces réseaux :

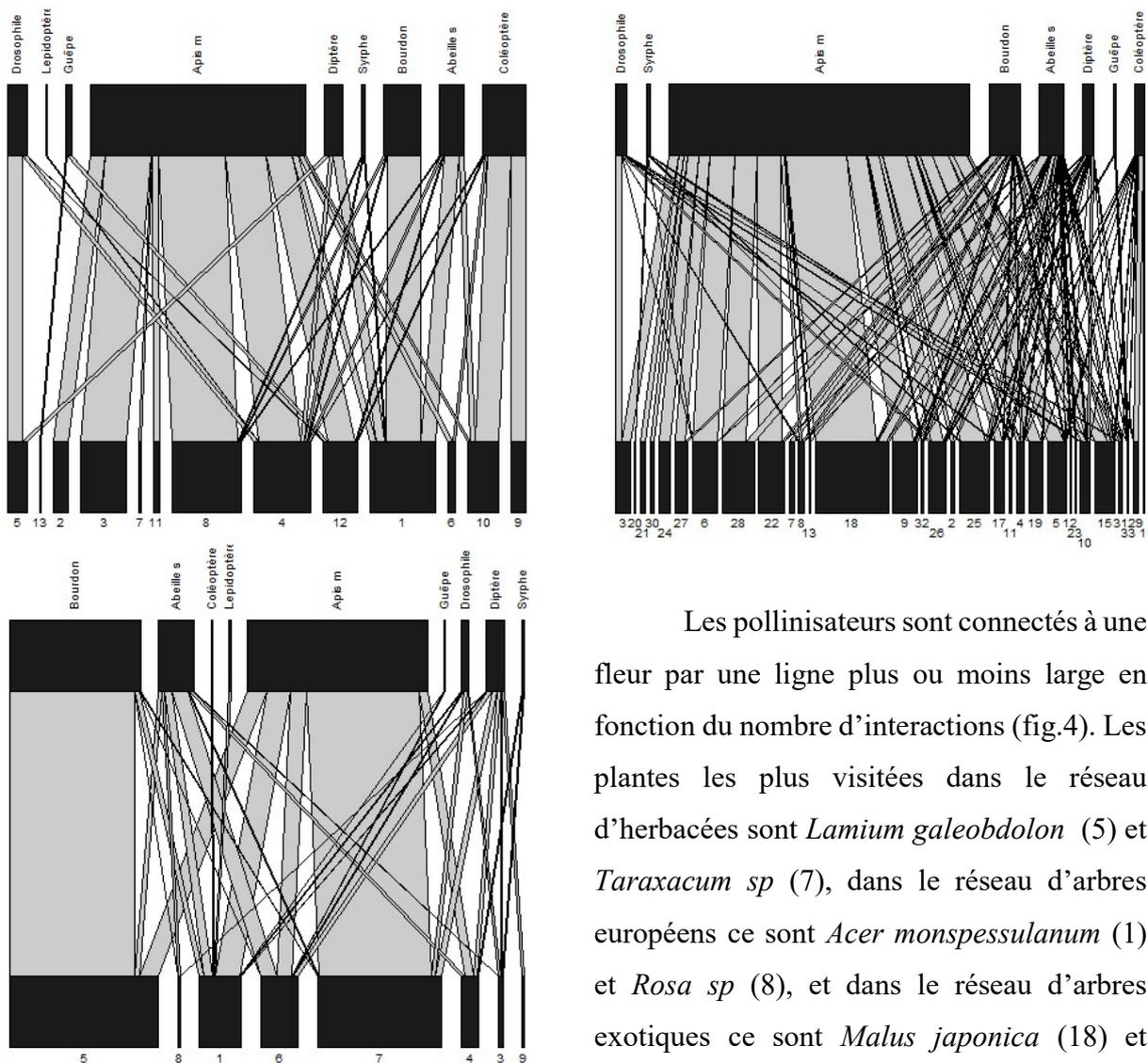
	H ²	Connectivité	Imbrication	Partenaires LL	Partenaires HL	Interactions par espèce	Modularité
Arbres européens	0.606	0.299	16.67	1.00	1.63	1.59	0.443
Arbres exotiques	0.359	0.415	15.86	1.76	6.21	2.64	0.171
Herbacées	0.502	0.472	10.31	2.50	1.97	2.00	0.427

Tableau 3 : Indices relatifs aux trois réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs. Les colonnes Partenaires LL/HL correspondent à la moyenne du nombre de partenaires du niveau supérieur (HL) et du niveau inférieur (LL). La colonne interactions par espèce représente la moyenne du nombre d'interactions de l'intégralité des espèces d'un réseau

L'indice H² qui traduit la spécificité du réseau est plus grand chez les arbres européens, puis ensuite chez les herbacées, et enfin chez les arbres exotiques où il est relativement faible (tab.3). Ceci traduit que les réseaux plantes-pollinisateurs des herbacées et des arbres européens semblent être bien plus spécialisés que le réseau des arbres exotiques, plus généraliste. L'indice d'imbrication nous montre que les réseaux d'arbres européens et d'arbres exotiques sont bien plus imbriqués que le réseau des herbacées. Les espèces végétales des réseaux d'herbacées sont celles qui possèdent le plus de partenaires en moyenne : 2.5, alors que les arbres européens ne possèdent qu'un seul partenaire en moyenne, et les arbres exotiques 1.76. Les classes de pollinisateurs du réseau d'arbres exotiques sont celles qui possèdent le plus de partenaires en moyenne : 6.21 contre 1.63 pour le réseau d'arbres européens et 1.97 pour le réseau

d'herbacées. Si on regarde le nombre moyen d'interaction de l'intégralité des partenaires d'un réseau, c'est dans le réseau d'arbres exotiques qu'on a le plus d'interactions en moyenne avec 2.64 interactions par classe/espèce. Dans le réseau d'arbres européens il est uniquement de 1.59 et pour le réseau d'herbacées de 2. L'indice de modularité est plus grand chez les réseaux d'arbres européens (0.443) et d'herbacées (0.427) que dans le réseau d'arbres exotiques (0.171).

Figure 4 : Réseaux de plantes-pollinisateurs en fonction du type de la plante. Les barres situées en haut correspondent aux pollinisateurs et les barres situées en bas correspondent aux espèces de plantes à fleurs entomogames. Les graphiques sont séparés en fonction du type de la plante. En haut à gauche : arbres locaux ; En haut à droite : arbres exotiques ; en bas à gauche : herbacées. Les espèces de plantes sont listées en annexe (annexe.1).



Les pollinisateurs sont connectés à une fleur par une ligne plus ou moins large en fonction du nombre d'interactions (fig.4). Les plantes les plus visitées dans le réseau d'herbacées sont *Lamium galeobdolon* (5) et *Taraxacum sp* (7), dans le réseau d'arbres européens ce sont *Acer monspessulanum* (1) et *Rosa sp* (8), et dans le réseau d'arbres exotiques ce sont *Malus japonica* (18) et *Viburnum burkwoodii* (28). Chez les

herbacées *Lamium galeobdolon* concentre presque toutes les interactions des bourdons ; *Taraxacum sp* concentre presque toutes les interactions d'*Apis mellifera*. Le réseau exotique

semble très généraliste avec *Apis mellifera* qui interagit avec presque toutes les espèces de plantes. Le réseau d'arbres exotiques comprend une richesse spécifique de plantes bien plus importante que dans les deux autres réseaux.

4 Discussion

Peu importe le type de plante, c'est l'abeille domestique qui visite le plus les fleurs. Les hyménoptères sauvages semblent préférer les herbacées alors qu'ils ont tendance à éviter les arbres exotiques (fig.1). La différence au sein des molécules odorantes entre les arbres exotiques et les arbres européens pourraient peut-être expliquer cette différence. L'abeille domestique n'a en effet pas le même odorat que les autres hyménoptères sauvages (Faegri 1979, Dopson 1987). Les diptères sont très faiblement représentés sur les trois types de plantes, cela peut être dû au fait que les diptères sont en faible abondance en contexte péri-urbain, cependant aucune étude n'a été trouvée pour étayer cette hypothèse. Ici les lépidoptères ainsi que les coléoptères semblent être des pollinisateurs anecdotiques. Ceci pourrait peut-être aussi s'expliquer par leur faible présence en milieu périurbain ou bien par la date trop précoce (INPN 2019). L'indice de Shannon et de Simpson confirment que les pollinisateurs d'arbres européens ainsi que d'herbacées possèdent une plus grande diversité que ceux des arbres exotiques (tab.1). Le fait que les indices de Shannon sont supérieurs aux indices de Simpson, confirme que l'abeille domestique domine très largement dans la communauté de pollinisateurs de l'arboretum. Le faible indice d'équitabilité au sein des pollinisateurs d'arbres exotiques prouve que c'est sur ce type de plantes qu'*Apis mellifera* domine le plus.

La baisse de l'abondance moyenne des visites des pollinisateurs au cours du temps semble correspondre à l'augmentation du nombre d'arbres en fleurs de l'arboretum ainsi que du nombre de fleurs d'herbacées (fig.2). Il semble donc que la baisse de l'abondance moyenne soit due à une dilution des pollinisateurs au sein des fleurs de l'arboretum. Après avoir testé ces hypothèses il apparaît que la plupart des pollinisateurs est négativement impactée par l'abondance en fleurs d'herbacées ainsi que par le nombre d'arbres en fleurs (tab.2). L'effet dilution semble donc se confirmer. Il est cependant possible que ce ne soit pas uniquement un effet de dilution concernant l'abondance en fleurs d'herbacées. Les deux herbacées retrouvées majoritairement sont *Taraxacum sp* et *Ranunculus repens* qui possèdent toutes deux des fleurs jaunes. Les hyménoptères semblent avoir plus de facilité à détecter les fleurs de couleur jaune comparées à celles d'autres couleurs (Chittka 1996, Lovett Doust 1988, Faegri 1979, Lunau 1996). L'impact de la couleur ainsi que de la morphologie sur les abondances a été testé mais

ne possède pas d'effet sur les visites, ceci peut être dû à la trop grande hétérogénéité des effectifs des modalités et ne sera donc pas traité dans cette étude. Les coléoptères eux sont impactés positivement par l'abondance en fleurs d'herbacées ainsi que par le nombre d'arbres en fleurs (tab.2). Nous ne sommes plus dans un cas de dilution mais l'inverse. Sachant que leur pic d'abondance dans la saison est aux alentours de juin-juillet (INPN 2019), il est possible que l'augmentation de leur abondance dans la saison superpose simplement l'augmentation de nos variables 'abondance en fleurs d'herbacées' et 'nombre d'arbres en fleurs'. La chute de la richesse spécifique au niveau des semaines 2 et 5 semble pouvoir être expliquée par la météo : il a fait relativement froid. Les insectes pollinisateurs sont des animaux poïkilothermes et dépendent donc du soleil et de la température pour mettre leur organisme en action (Faegri 1979). L'impact de la température sur l'abondance de visite de pollinisateurs a été testé par un modèle linéaire généralisé (tab.2). Une température faible diminue l'abondance globale des visites. Cependant il est possible que les plantes en fleurs durant cette période soient plus spécialisées. Pour répondre à cette hypothèse il faudrait comparer les plantes étant en fleur durant la semaine 2 et 5 (annexe.1).

Bien que les communautés de pollinisateurs semblent différentes en fonction du type de plantes visitées, ces différences ne sont certainement pas assez importantes pour observer des répartitions nettes des individus à l'intérieur de l'ACP (fig.3). L'ACP n'est pas très informative et permet uniquement de conclure qu'*Apis mellifera* est groupée à la variable 'diptères'. Pour statuer d'une réelle différenciation des communautés, une analyse NMDS aurait été plus appropriée qu'une ACP. En effet une NMDS est une technique extrêmement souple qui peut s'adapter à une variété de types de données différents.

Les plantes envahissantes exotiques (Hansen 2018) ainsi que les espèces cultivées ou horticoles exotiques (Geslin 2017) perturbent les réseaux d'interactions de plantes natives. Dans l'arboretum les essences exotiques sont gérées et sont présentes en grande diversité. Nous pouvons donc nous demander comment ce type de plante impacte les réseaux plantes-pollinisateurs. Le fait que les réseaux plantes-pollinisateurs d'herbacées et d'arbres européens sont plus spécialisés que celui des arbres exotiques (tab.3) est facilement explicable par la coévolution et par la non-adaptation des pollinisateurs locaux face aux fleurs d'arbres exotiques que ce soit en terme d'odorat ou bien encore en terme de morphologie de fleurs. Des études complémentaires portant sur divers traits morphologiques des fleurs pourraient confirmer si les pollinisateurs hors *Apis mellifera* sont moins adaptés à la récolte de nectar et de pollen des fleurs

exotiques. En effet la morphologie de la fleur et surtout la profondeur du calice floral impactent fortement la possibilité de récolte du nectar pour certains pollinisateurs (Kobayashi 1999).

Les réseaux plantes-pollinisateurs d'arbres sont plus imbriqués que celui des herbacées (tab.3/7). Cela traduit le fait que les interactions sont plus équitablement réparties chez les herbacées, cependant uniquement 9 espèces d'herbacées ont été observées. Ce résultat n'est donc pas forcément généralisable à toutes les herbacées locales, mais les 9 espèces sont bien représentatives de la flore locale. Le nombre élevé de partenaires moyens des plantes dans le réseau plantes pollinisateurs d'herbacées, ainsi que le nombre élevé de partenaire moyen des pollinisateurs du réseau plantes-pollinisateurs d'arbres exotiques sont à confronter. Chez les herbacées cela indique que les plantes possèdent des interactions avec beaucoup de pollinisateurs différents (d'où la faible valeur d'imbrication). Chez les arbres exotiques cela indique que les pollinisateurs possèdent des interactions avec beaucoup de plantes différentes. La faible connectivité du réseau plantes-pollinisateurs des arbres européens est une confirmation de la spécialisation du réseau. Le réseau plantes-pollinisateurs d'herbacées possède des niveaux très connectés entre eux, cependant la force des interactions d'*Apis mellifera* sur *Taraxacum sp* et des bourdons sur *Lamium galeobdolon* prouve que le réseau est très spécialisé. Encore une fois ces résultats peuvent être aussi impactés par le nombre de plantes du niveau inférieur. Sachant que la modularité implique des compartiments d'interactions discrets avec peu d'interactions entre espèces en dehors de chaque compartiment, cet indice semble représenter une sorte de partition de la spécialisation à l'intérieur d'un réseau. Dans le réseau plantes-pollinisateurs des arbres européens plusieurs compartiments semblent se dessiner : *Apis mellifera*, coléoptères, drosophiles. Dans le réseau plantes-pollinisateurs d'herbacées on distingue très clairement un compartiment *Apis mellifera* ainsi qu'un autre pour le bourdon. Les arbres exotiques ont perdu leurs pollinisateurs originels, la compétition est donc fortement réduite et de nouveaux pollinisateurs arrivent (Ibanez 2012). Le maillage complexe du réseau plantes-pollinisateurs des arbres exotiques (fig.4) ainsi que le faible indice de modularité (tab.3) confirment un réseau très généraliste.

Bibliographie

- Bartholomée O (2018) *Quantification de Services Ecosystémiques de Régulation à l'Echelle Locale, Indicateurs, Protocoles de Terrain et Incertitudes – Cas des Services de Pollinisation et de Régulation du Climat Global*. Université Grenoble Alpes
- Blüthgen N, Fründ J, Vazquez D & al (2008) *What do Interaction Network Metrics Tell us About Specialization and Biological Traits ?*. *Ecology*, 89(12) :3387-3399
- Chittka L (1996) *Optimal Sets of Color Receptors and Color opponent Systems for Coding of Natural Objects in Insect Vision*. *Journal of Theoretical Biology*, 181 :179-196
- Dobson HEM (1987) *Role of Flower and Pollen Aromas in Host-Plant Recognition by Solitary Bees*. *Oecologia*, 72 :618-623
- Faegri K, Pijl L (1979) *The Principles of Pollination Ecology*. Pergamon Press, 3rd edition.
- Geslin B, Gauzen B, Baude M & al (2017) *Massively Introduced Managed Species and Their Consequences for Plant-Pollinator Interactions*. *Advances in Ecological Research*,
- Hansen S, Roets F, Seymour C & al (2018) *Alien Plants Have Greater Impact Than Habitat Fragmentation on Native Insect Flower Visitation Networks*. *Diversity and Distribution*, 24(1) :58-68
- Ibanez S (2012) *Optimizing Size Thresholds in a Plant-Pollinator Interaction Web : Towards a Mechanistic Understanding of Ecological Networks*. *Oecologia*, 170 :233-242
- INPN (2019) *Données d'inventaire Lépidoptère et Coléoptère*. Bases de données : 242, 262, 286, 292, 233, 16532
- Kobayashi S, Inoue K, Kato M (1999) *Mechanism of Selection Favoring a Wide Tubular Corolla in *Campanula punctata**. *Evolution*, 53(3) :752-757
- Kremen C (2004) *Pollination Services and Community Composition : Does it Depend on Diversity, Abundance, Biomass, or Species Traits ?*. *Federal University of Ceara, Solitary Bees* : 115-124
- Lovett Doust J & L (1988) *Plant Reproductive Ecology : Patterns and Strategies*. Oxford University Press
- Lunau K, Wacht S, Chittka L (1996) *Colour Choices of Naive Bumble Bees and their Implications for Colour Perception*. *Journal of Comparative Physiology A*, 178 :477-489
- R Development Core Team (2005) *R : A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing.
- Stang M, Klinkhamer GL (2007) *Asymmetric Specialization and Extinction Risk in Plant-Flower Visitor Web : a Matter of Morphology or Abundance ?*. *Oecologia*, 151 : 442-453

Annexe

N° H	N° EX	N° EU	Nom vernaculaire	Nom latin	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Semaine 5	Semaine 6
		4	Ceirisier	<i>Prunus cerasus</i>						
26			Poire asiatique	<i>Pyrus pirifolia</i>						
	5		Cerisier à grappe	<i>Prunus padus</i>						
20			Osmanthe Burkwoodii	<i>Osmarea Burkwoodii</i>						
27			Staphilier de chine	<i>Staphylea holocarpa</i>						
8			Néflier du Japon	<i>Chaenomeles speciosa</i>						
16			Magnolia de Soulange	<i>Magnolia soulangeana</i>						
	1		Erable de Montpellier	<i>Acer monspessulanum</i>						
28			Viorne de Burkwood	<i>Viburnum burkwoodii</i>						
6			Berbérís	<i>Berberis sp</i>						
10			Aubépine dorée	<i>Crataegus chryocarpus</i>						
18			Pommier japonais	<i>Malus japonica</i>						
17			Pommier a fleur	<i>Malus floribunda van Houtte</i>						
7			Caragena du Turkestan	<i>Caragana turkestanica</i>						
24			Poncirus	<i>Poncirus trifoliata</i>						
	3		Pommier	<i>Malus sp</i>						
19			Pommier toringo	<i>Malus toringo</i>						
33			Xanthocerbe à feuille de sorbier	<i>Xanthoceras sorbifolia</i>						
15			Chevrefeuille	<i>Lonicera sp</i>						
8			Rosier	<i>Rosa sp</i>						
13			Viorne obier boule de neige	<i>Viburnum opulus compactum</i>						
31			Viorne sp	<i>Viburnum sp</i>						
29			Viorne velu	<i>Viburnum plicatum</i>						
22			Seringat de Lewis	<i>Philadelphus lewisii</i>						
	11		Lila commun	<i>Syringa vulgaris</i>						
30			Viorne a feuille ridé	<i>Viburnum rhytidophyllum</i>						
1			Erable trident	<i>Acer buergerianum</i>						
4			Pavier jaune	<i>Aesculus flava</i>						
14			Cœur de Marie	<i>Lamprocapnos spectabilis</i>						
9			Cotonéaster Luisant	<i>Cotoneaster nitens</i>						
12			Chalef en Ombelle	<i>Elaeagnus umbellata</i>						
5			Marronnier du Japon	<i>Aesculus turbinata</i>						
7			Prunus	<i>Prunus sp</i>						
6			Prunus tardif	<i>Prunus serotina</i>						
3			Erable sp	<i>Acer sp</i>						
	2		Marronnier	<i>Aesculus sp</i>						
32			Weigélie fleurie	<i>Weigelia florida</i>						
2			Erable a peau de serpent	<i>Acer davidii Franchet</i>						
21			Paulownia	<i>Paulownia tomentosa</i>						
22			Seringat	<i>Philadelphus sp</i>						
	10		Alisier torminal	<i>Sorbus torminalis</i>						
13			Kolwitzia	<i>Kolwitzia amabilis</i>						
	12		Viorne obier	<i>Viburnum opulus</i>						
	9		Sureau noir	<i>Sambucus nigra</i>						
	11		Deutzie	<i>Deutzia maximowicziana</i>						
9			Violette odorante	<i>Viola odorata</i>						
5			Ortie jaune	<i>Lamium galeobdolon</i>						
7			Pissenlit	<i>Taraxacum sp</i>						
3			Paquerette	<i>Bellis perenis</i>						
4			Liere terrestre	<i>Glechoma hederecea</i>						
8			Veronique	<i>Veronica sp</i>						
1			Bugle rampante	<i>Ajuga repens</i>						
6			Renoncule rampante	<i>Ranunculus repens</i>						
2			Ail des ours	<i>Allium ursinum</i>						

Annexe 1 : Chronologie de fleuraison des espèces de plantes observées de l'arboretum. N° correspond au numéro des espèces de plantes présentes sur les réseaux d'interactions (fig.4). H = réseau d'interactions des plantes herbacées ; EU = réseau d'interactions des arbres européens ; EX = réseau d'interactions des arbres exotiques.

Résumé

Dans le contexte de disparition des pollinisateurs, les réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs se voient être modifiés. Durant mon stage, j'ai étudié la composition des communautés de pollinisateurs de l'arboretum du campus universitaire. Une première étape a consisté à observer et répertorier pour chaque arbre les classes de pollinisateurs associées. Dans une autre phase, des analyses statistiques, une ACP ainsi que plusieurs mesures ont été réalisées (richesse, abondance, équitabilité, diversité). Puis des réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs ont été créés pour mettre en valeur la différence des communautés de pollinisateurs de chaque type de plante (herbacées, arbres européens, arbres exotiques). Il apparaît que plus il y a d'arbres en fleurs et de fleurs d'herbacées, moins les pollinisateurs sont observés, dû à un effet de dilution. La température impacte positivement les abondances de visite. Des différences capitales apparaissent entre les deux réseaux de plantes natives et d'arbres exotiques. Les arbres exotiques favorisent l'abeille domestique *Apis mellifera*. Ces arbres possèdent un réseau très généraliste alors que celui des herbacées et des arbres européens sont plus spécialisés.