



**Université Claude Bernard Lyon 1**

**Master Professionnel Bioévaluation des Écosystèmes et Expertise  
de la Biodiversité**

Mémoire de fin d'études Master 2  
mars - août 2012

**Martha Lucia Corredor Vivas**

**ESTIMATION DE LA DIVERSITÉ D'ABEILLES SAUVAGES SELON  
UN GRADIENT D'URBANISATION DANS LE GRAND LYON**

**(PROGRAMME LIFE+ BIODIVERSITE: URBANBEES)**



**Association Arthropologia**

**Hugues Mouret (Directeur de stage)**

**Bernard Kaufmann (Tuteur pédagogique)**





## ***REMERCIEMENTS***

Je remercie particulièrement M. Sylvain Dolédec, responsable de ma formation, de m'avoir donné l'opportunité de faire partie de cette promotion d'élèves 2011-2012. Merci à l'équipe pédagogique du Master BEEB de l'Université Claude Bernard Lyon 1, de m'avoir apporté les connaissances appliquées au cours de ce stage.

Merci, d'une manière très chaleureuse à tous les membres de l'association Arthropologia, spécialement à Hugues Mouret le Directeur et Caroline Sabah, la Coordinatrice. Pour l'accueil et la confiance qu'ils ont placés en moi tout au long du stage. Je remercie également, l'équipe de l'INRA d'Avignon et en particulier Charlotte Visage, la coordination du projet à été un modèle pour moi. Merci à Laura Fortel, doctorante de l'INRA pour son expérience sur le terrain et ces connaissances en statistiques. Finalement merci à Lolita et Vincent, stagiaires également qui m'ont apporté beaucoup de soutien pendant les relevés ainsi que leurs connaissances en botanique.

Au membres de ma famille, à ma mère Elisa, à mon père Oscar, à mes sœurs Isabel et Marcela et à mon petit neveu Sergio, qui avec leur soutien, m'ont encouragée tout le long de mes études et m'ont soutenue afin que je puisse aller au bout de cette aventure en France, loin d'eux. Finalement à mon mari Nicolas et à toute ma nouvelle famille, à Laurence ma belle mère qui m'a soutenue et encouragée à tout moment, merci du fond du cœur.

Aux abeilles capturées, à celles qui se sont échappées et à toutes les autres qui sont en vol...



## Table des matières

REMERCIEMENTS.....	3
RESUME.....	11
ABSTRACT.....	13
1 INTRODUCTION.....	15
1.1 L'Urbanisation.....	15
1.2 La pollinisation.....	17
1.3 Bénéfices de la pollinisation.....	19
1.4 Le service écosystémique.....	21
1.4.1 Déclin des pollinisateurs.....	23
1.4.2 Textes internationaux concernant l'utilisation durable des pollinisateurs.....	25
1.5 Généralités sur les abeilles sauvages.....	27
1.5.1 Taxonomie et morphologie.....	27
1.5.2 Diversité, biologie et écologie.....	27
1.5.3 Menaces .....	29
1.6 Programme Européen URBANBEES.....	31
1.6.1 Contexte du stage .....	35
1.6.2 Objectifs du stage.....	35
2 MATERIEL ET METHODES.....	37
2.1 Description du Grand Lyon .....	37
2.1.1 Description des sites du programme URBANBEES.....	37
2.1.2 Aménagements des sites .....	39
2.2 Relevés entomologiques et identification des abeilles .....	39
2.2.1 Méthode de capture passive: lots de coupelles colorées.....	41
2.2.2 Méthode de capture active: La chasse à vue avec un filet entomologique.....	41
2.2.3 Montage et identification des abeilles.....	45
2.3 Analyse des données.....	45
2.3.1 Estimation quantitative de l'urbanisation.....	47
2.3.2 Analyse en Composantes Principales sur le tableau des données d'urbanisation des sites UB.....	49
2.3.3 Analyse Factorielle des Correspondances sur le tableau faunistique des abeilles.....	49
2.3.4 Analyse de co-inertie.....	51



3 RESULTATS.....	56
3.1 Description des tableaux faunistiques et du gradient d'urbanisation .....	56
3.1.1 Abondance temporelle d'abeilles .....	56
3.1.2 Abondance d'abeilles selon le contexte paysagère et la méthode de capture .....	56
3.1.3 Description du gradient d'urbanisation des sites UB.....	56
3.2 Analyse multivariée du tableau des données des genres d'abeilles.....	58
3.2.1 Description générale du tableau des données des genres d'abeilles en fonction des sites UB et du contexte du paysage .....	60
3.2.2 Description de l'Analyse Factorielle des Correspondances .....	60
3.3 Analyses multivariées des tableaux des données des espèces d'abeilles et des sites UB .....	62
3.3.1 Richesse spécifique moyenne des abeilles selon le contexte du paysage.....	62
3.4 Analyse en Composantes Principales sur le tableau des données d'urbanisation des sites UB (Rayon 100m).....	64
3.4.1.1 Description générale de l'inertie du tableau des données .....	64
3.4.1.2 Interprétation du graphique des composantes décrivant les variables d'urbanisation .....	66
3.4.1.3 Interprétation du graphique de représentation des composantes décrivant les sites UB (Axe factoriel 1-2).....	66
3.4.1.4 Interprétation du graphique de représentation des composantes décrivant les variables d'urbanisation et les sites UB (Axe factoriel 1-2).....	66
3.4.2 Analyse en Composantes Principales sur le tableau des données d'urbanisation des sites UB (Rayon 500m).....	68
3.4.3 Analyse Factorielle des Correspondances sur le tableau faunistique de espèces d'abeilles .....	68
3.4.3.1 Description générale du tableau de données .....	68
3.4.3.2 Description générale de l'AFC.....	70
3.4.4 Analyse de co-inertie.....	72
4 DISCUSSION.....	74
4.1 Distribution temporelle des abeilles .....	76
4.2 Abondance d'abeilles en fonction de la méthode de capture.....	76
4.3 Diversité d'abeilles.....	80
4.4 Gradient d'urbanisation.....	82





4.5 Actions participatives visant à maintenir la diversité des abeilles.....	86
5 CONCLUSION.....	88
BIBLIOGRAPHIE .....	94
ANNEXES.....	106
1.2 Annexe: Analyses sur le gradient d'urbanisation.....	106
1.3 Annexe : Analyses et test statistiques effectuées sur l'abondance et richesse de genres par site UB. ....	108
1.4 Annexe: Analyses et test statistiques effectuées sur l'abondance et richesse spécifique par site UB. ....	115
1.5 Analyse de co-inertie.....	120



## ***RESUME***

Les abeilles sont considérées comme les principaux pollinisateurs des plantes à fleurs. Cependant, depuis des années 1990, on a observé un déclin des insectes pollinisateurs. Près de 80% d'espèces de plantes à fleurs dépendent des insectes pollinisateurs pour leur reproduction sexuée dont les productions agricoles (fruits et légumes principalement). Les principaux facteurs responsables de la diminution des pollinisateurs sont l'urbanisation et l'intensification agricole. Au regard de ce déclin, le Programme Européen LIFE+Biodiversité URBANBEES (UB) a été créé en coordination avec l'Association Arthropologia et avec l'INRA d'Avignon. Ce programme vise à maintenir et, si possible, à augmenter l'abondance et la diversité des abeilles en milieux urbains et périurbains afin de permettre la diffusion d'un guide de gestion et de conservation des abeilles sauvages. Pour atteindre cet objectif, 24 sites représentant quatre types de milieux (semi-naturels, agricoles, périurbains et urbains) ont été choisis dans le Grand Lyon. A travers deux méthodes de capture (coupelles colorées et filets entomologiques) chaque site a été échantillonné pendant une période de trois ans entre les mois de mars d'octobre (2010 à 2012). Les résultats préliminaires, mis en évidence dans ce rapport, indiquent qu'il existe un effet de l'urbanisation sur la diversité des abeilles sauvages. En effet, les milieux semi-naturels présentent une diversité d'abeilles plus importante, mais subissent une pression négative de l'urbanisation et l'agriculture.



## ***ABSTRACT***

Bees are considered the main pollinators of flowering plants. However, since the 90s, a decline of pollinators was observed. More over, 80% of flowering plants species depend on pollinators for sexual reproduction donations as well as for crops (mainly fruits and vegetables). The main factors causing the decline of pollinators are urbanization and agricultural intensification. Because of this decline, the European Programme LIFE + Biodiversity URBANBEES (UB) was created in coordination with Arthropologia Association and with INRA Avignon. This program aims to maintain and, if possible, to increase the abundance and diversity of bees in urban and suburban as well as to allow a guide for the management and conservation of wild bees to be written. To achieve this goal, 24 sites representing four habitat types (semi-natural, agricultural, suburban and urban) were selected in the Grand Lyon. Through two capture methods (entomological nets and colored cups) each site was sampled during the months of March to October in the years 2010 to 2012. The results shown in this report indicate that there is an effect of urbanization on the diversity of wild bees. Indeed, the semi-natural environments have a greater diversity of bees, but suffer of a negative pressure from urbanization and agriculture.

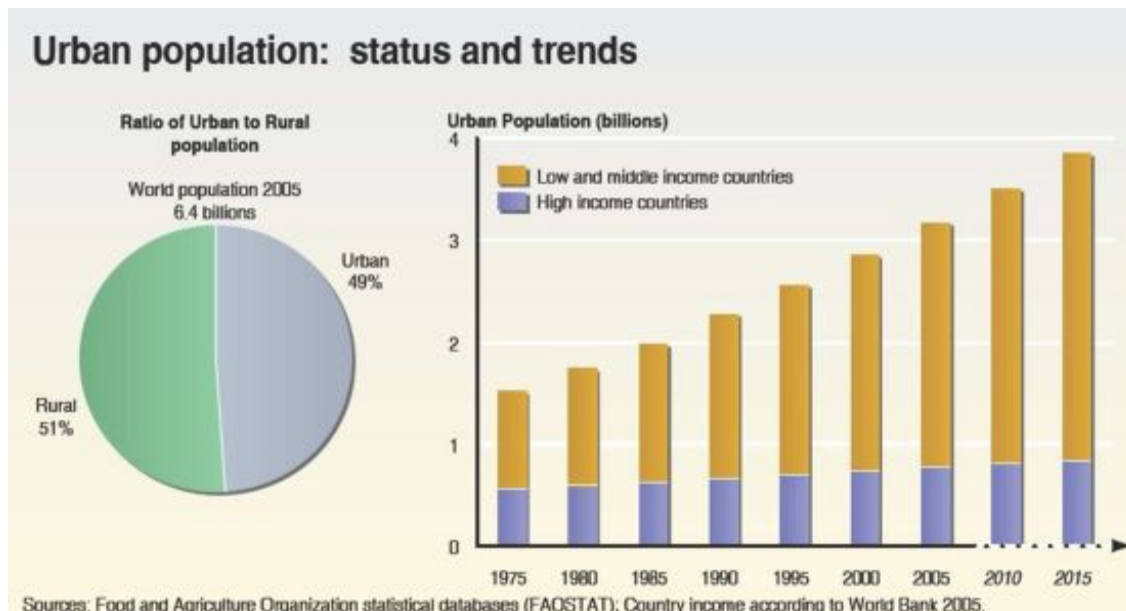


Figure 1 Évolution de la population urbaine au cours du temps (source: <http://www.grida.no>)

# 1 INTRODUCTION

## *1.1 L'Urbanisation*

Les milieux urbains sont généralement caractérisés comme des zones à forte densité de bâtiments exposés à l'activité humaine constante et intense (McIntyre et al., 2001). L'urbanisation est le processus qui résulte de l'augmentation locale de la densité d'habitants couplée à une augmentation de la consommation d'énergie par habitant et à des modifications importantes de l'environnement (y compris le microclimat) (Gilbert, 1991 et Vitousek et al., 1997). Ce processus génère des écosystèmes instables qui nécessitent des apports importants d'énergie et qui provoquent l'accumulation de grandes quantités de déchets (Stearns, 1970; McDonnell et Pickett, 1990 cité par Zanette et al., 2005). Bien que ne couvrant qu'une petite surface de la Terre (>5%), les milieux urbains ont une influence généralisée sur les écosystèmes environnants (Vitousek et al., 1997 et Goudie, 2000 cité par Zanette et al., 2005). Près de la moitié de la population mondiale vit actuellement dans les zones urbaines (Figure 1.) et, au rythme actuel, 65% de la population sera urbaine en 2025 et plus de 80% dans de nombreux pays (Zanette et al., 2005; ONU, 2008). En 2000, il y avait déjà 213 villes de plus d'un million d'habitants, et 23 métropoles de plus de 10 millions d'habitants. De plus, selon les estimations de l'Organisation des Nations Unies (ONU), la population urbaine pourrait encore doubler d'ici 100 ans. Entre 1900 et 2000 la population urbaine a été multipliée par 20 alors que la population mondiale n'a que quadruplée (ONU, 2008). En France, les villes représentent aujourd'hui 7% du territoire et abritent 77% de la population. A l'échelle de l'Europe, ce sont 72% des européens qui vivent en ville. Selon l'ONU, le nombre de personnes attendues dans les zones urbaines d'ici 2030 pourrait atteindre 5 milliards; et dans les pays en développement 81% de la population sera probablement dans les villes (Hernandez et al., 2009).

Par ailleurs, l'urbanisation est une des activités humaines les plus importantes, qui causent une altération radicale et persistante des habitats. De plus, elle est susceptible d'augmenter dans l'avenir (McKinney, 2006 ; Ahrné et al, 2009; Semple et al., 2010; Clergeau et al., 2006). Les bâtiments, les routes et les zones industrielles augmentent (également appelés surfaces imperméables) et de façon correspondante les espaces verts diminuent (Ahrné et al, 2009). En plus, l'augmentation des populations humaines dans les centres-villes, l'étalement urbain et l'intensification agricole ont entraîné les modifications les plus importantes du paysage. Ces modifications conduisent à la destruction et à la fragmentation des habitats naturels en plus

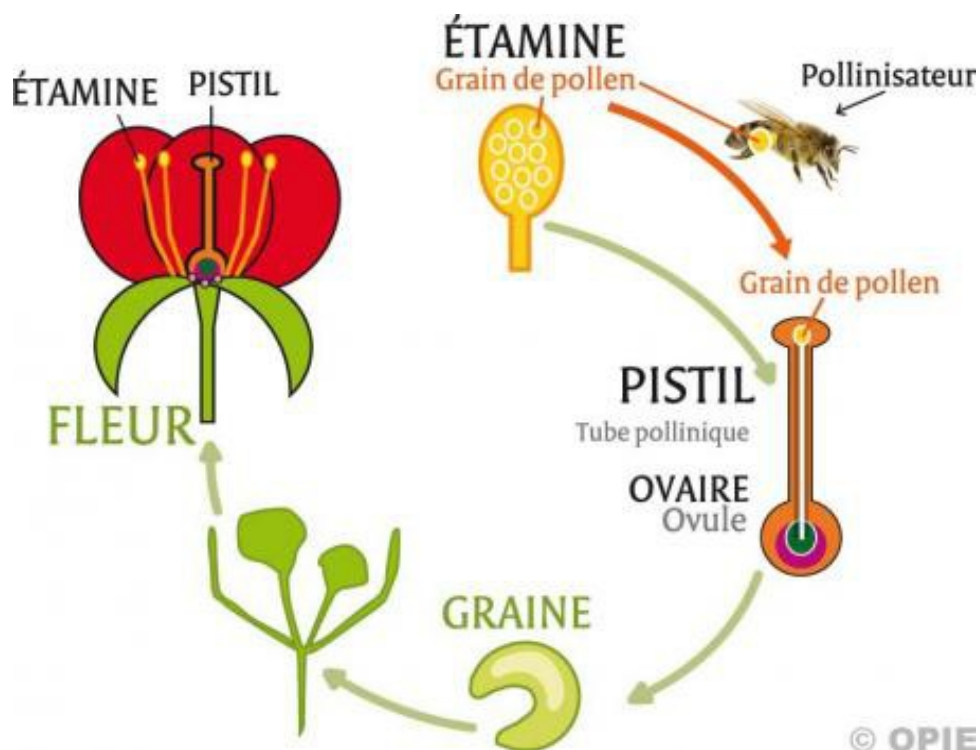


Figure 2: Schéma de la pollinisation par les insectes (Source: [www.spipoll.org](http://www.spipoll.org))



des pertes considérables de terres disponibles pour l'habitat naturel et pour la production agricole au niveau mondial (Ahrné et al., 2009; Colla et al., 2009).

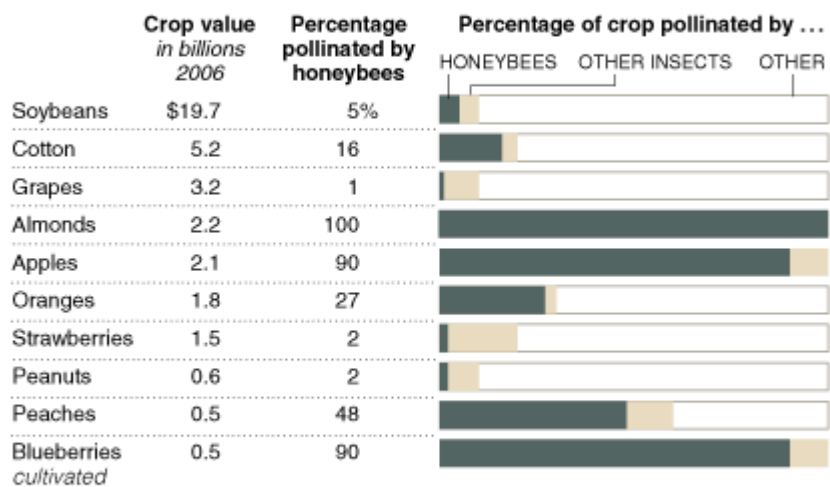
La plupart du temps, l'urbanisation est associée à des perturbations similaires caractéristiques des zones agricoles, qui se traduisent par une perte des ressources pour les insectes et un stress accru sur les populations (Bates et al., 2011). Les habitats dans les zones urbaines sont presque toujours fragmentés, le plus souvent dérangés (Gilbert 1989; Rebele 1994 et McIntyre 2000 cité par Matteson et al., 2008) et soumis à des niveaux élevés de pollution, qui s'ajoutent à des modifications de lumière et des régimes d'humidité (Rebele 1994, Niemela et al. 2002, Connor et al. 2003 cité par Matteson et al., 2008). En outre, les espèces envahissantes sont particulièrement abondantes dans les zones urbaines (McKinney 2002, 2006 cité par Matteson et al., 2008). Ces caractéristiques des écosystèmes urbains sont considérées comme une des principales causes de mise en danger des espèces (Matteson et al., 2008). De plus, l'intensification agricole, qui se traduit par une augmentation des surfaces arables combinée avec la perte et la fragmentation des habitats naturels, est suspectée d'être un autre facteur clé de la perte des pollinisateurs des cultures (Carré et al., 2009). Un grand nombre de recherches porte sur les réponses des insectes pollinisateurs à des perturbations anthropiques causées par l'intensification agricole. Leurs recherches portent sur la perte et la fragmentation de l'habitat naturel, la perte de ressources de nidification, la réduction de la diversité de la ressource florale et l'augmentation des effets des pesticides sur les pollinisateurs (Bates et al., 2011). Pour l'instant, peu d'études ont examiné l'effet de l'urbanisation sur les pollinisateurs. Traditionnellement, l'importance des pollinisateurs sur les zones urbaines est considérée comme limitée. Cependant, il existe trois raisons importantes pour comprendre les effets de l'urbanisation sur eux: (1) la valeur intrinsèque des pollinisateurs urbains pour la conservation, (2) la valeur utilitaire des services des écosystèmes des pollinisateurs urbains, et (3) l'utilisation des gradients d'urbanisation comme un espace pour les effets futurs de l'urbanisation continue (Bates et al., 2011).

## **1.2      *La pollinisation***

La pollinisation est le transport d'un grain de pollen (gamète mâle) d'une étamine (organe mâle) vers le pistil (organe femelle) d'une autre fleur de la même espèce (Figure 2). La pollinisation est l'étape préalable à la fécondation de l'ovule. En Europe, on distingue deux grands agents pollinisateurs pour effectuer ce transport: le vent (20% des espèces de plantes) et les insectes (80%). Les pollinisateurs des plantes entomophiles (plantes pollinisées par les

## Relying on Bees

Some of the most valuable fruits, vegetables, nuts and field crops depend on insect pollinators, particularly honeybees.



Besides insects, other means of pollination include birds, wind and rainwater.

Sources: United States Department of Agriculture;  
Roger A. Morse and Nicholas W. Calderone, Cornell University

The New York Times

Figure 3 : Cultures de fruits pollinisées par les insectes pollinisateurs et plus particulièrement les abeilles.

insectes) sont des agents plus efficaces que le vent car ils transportent le pollen directement d'une fleur à l'autre (Terzo et Rasmont, 2007). La pollinisation est l'une des clés de la vie sur Terre puisqu'elle est indispensable à la reproduction sexuée des plantes à fleurs (Endress, 2011). C'est pourquoi, la pollinisation par les animaux sauvages est considérée comme un service écosystémique clé, qui est en voie de disparition (Terzo et Rasmont, 2007).

### **1.3 Bénéfices de la pollinisation**

La pollinisation est un des processus les plus importants dans le maintien de la diversité biologique. De nombreux écosystèmes, y compris les agro-écosystèmes dépendent de la diversité des pollinisateurs pour maintenir la biodiversité mondiale. Les pollinisateurs sont très diversifiés, avec plus de 20 000 espèces d'abeilles et des milliers d'espèces d'insectes et vertébrés pollinisateurs (Carré et al., 2009; Fontaine et al., 2006). La pollinisation par les insectes (entomogamie) est à la fois un service écosystémique et une pratique de production largement utilisée par les agriculteurs du monde entier pour leurs productions. Il s'agit d'un service écosystémique dans lequel les pollinisateurs, (en particulier les abeilles sauvages) contribuent de manière significative à la pollinisation d'un large éventail de cultures (Figure 3). De même, les abeilles domestiques, certaines espèces de bourdons et d'autres abeilles sauvages sont utilisées comme outils de gestion, puisqu'elles sont achetées ou louées par les agriculteurs de nombreux pays afin de compléter la faune de pollinisateurs locaux (McGregor, 1976; Olmstead et Wooten, 1987; Robinson et al., 1989; Dag et al., 2006 cités par Gallai et al., 2009). Ainsi, le bénéfice économique de la pollinisation des insectes est clair pour les agriculteurs. Par ailleurs, le marché de la location de colonies est bien développé et organisé pour les abeilles aux États-Unis et en Europe. Il en est de même pour les bourdons du monde entier (Gallai et al., 2009). Les insectes et les abeilles en particulier, sont considérés comme le groupe le plus important de pollinisateurs au niveau mondial (Bates et al., 2011). Les bourdons et les autres abeilles sauvages jouent un rôle écologique intégral en tant que pollinisateurs d'un grand nombre de fleurs sauvages et de plantes cultivées (Ahrné et al., 2009). Pour les cultures européennes, 264 espèces nécessitent de l'activité pollinisatrice. La production de 84% des espèces cultivées en dépendent directement; en particulier des abeilles (Klein et al., 2007; Gallai et al., 2009). En ce qui concerne 1330 espèces et variétés de culture tropicale, certaines voient leur production augmenter significativement grâce aux pollinisateurs (Roubik, 1995 cité par Klein et al., 2007).

Les insectes pollinisateurs des plantes à fleurs sont donc considérés comme des espèces clés,



car ils jouent un rôle très important dans le fonctionnement des écosystèmes. Ce rôle est tel que leur absence pourrait avoir des effets plus étendus et profonds que leur abondance semblerait indiquer. La réduction ou la disparition des insectes pollinisateurs pourrait se traduire par une réduction importante de la reproduction des plantes à fleurs, qui à son tour affecterait non seulement les plantes mais aussi les semences qui nourrissent des animaux herbivores, les prédateurs des herbivores, et ainsi de suite dans une cascade trophique. Bien que l'importance de ces relations soit reconnue, nous connaissons encore peu de choses sur la façon dont les changements climatiques et le développement urbain touchent les communautés de pollinisateurs (Klein et al., 2007).

#### **1.4      *Le service écosystémique***

Un service écosystémique est défini comme les avantages pour le bien-être humain qui sont fournis par les organismes qui interagissent dans les écosystèmes (Daily, 1997 cité par Klein et al., 2007). Par ailleurs, tous les insectes pollinisateurs jouent un rôle primordial à l'échelle mondiale car ils sont directement responsables de la reproduction sexuée de près de 80% des espèces de plantes sauvages (Klein et al., 2007). C'est pourquoi la pollinisation par les insectes correspond à un service écosystémique pour l'homme. De plus, en permettant la production de fruits, de graines et le brassage génétique des populations de plantes à fleurs, les pollinisateurs constituent un maillon indispensable de la flore et de la faune terrestre (Terzo et Rasmont, 2007). Cependant, la dépendance de certaines cultures céréalières (blé, maïs, riz, etc.) aux pollinisateurs est faible voire nulle (Garibaldi et al., 2011). En revanche, elle est très élevée pour la plupart des cultures de fruits et légumes par exemple (Klein et al., 2007).

Le coût de la pollinisation au niveau planétaire a été estimé à cent cinquante-trois milliards d'euros en 2005 (Aizen et al., 2009 ; Gallai et al., 2009) et à environ quatorze milliards d'euros pour l'Union Européenne (Vanengelsdorp et Meixner, 2010). Ces chiffres, qui ont été évalués pour les principales denrées cultivées, représentent 9,5% de la valeur de l'ensemble de la production mondiale (Klein et al., 2007). Les enjeux reposant sur cette fonction écologique s'avèrent donc importants et c'est l'ensemble de l'économie mondiale qui viendrait à pâtir des effets de la disparition des pollinisateurs (Aizen et al., 2009). On estime que 70% des différents types de cultures du monde qui sont directement utilisés pour la consommation humaine dépendent de la pollinisation animale dans une certaine mesure (Gallai et al., 2009).



#### 1.4.1 *Déclin des pollinisateurs*

La possibilité de déclin et d'extinction des communautés en cascade est particulièrement préoccupante. Toute perte de biodiversité est une question d'intérêt public, mais les pertes d'insectes pollinisateurs peuvent être plus troublantes, du fait de leurs effets potentiels sur la reproduction des plantes. Beaucoup de cultures et de populations de plantes naturelles dépendent de la pollinisation et souvent le service est fourni par les communautés de pollinisateurs sauvages. Toutefois, il est nécessaire d'avoir une meilleure compréhension des multiples services fournis par la diversité des pollinisateurs ainsi que des facteurs qui influencent leur déclin afin de maintenir les services des pollinisateurs associés aux agro-écosystèmes. Par conséquent, il est essentiel d'identifier les pratiques de gestion adaptées qui réduisent au minimum les impacts négatifs d'origine anthropique sur les pollinisateurs et leur milieu.

Par ailleurs, l'intensification agricole, qui se traduit par une augmentation des surfaces arables combinée avec la perte et la fragmentation des habitats naturels, est suspectée d'être un facteur clé de la perte des pollinisateurs des cultures. En effet, plusieurs études démontrent que l'intensification agricole est en corrélation avec la diminution de la richesse des abeilles. Pourtant, d'autres études ont prouvé que certaines espèces d'abeilles peuvent être favorisées par les zones anthropiques telles que les zones agricoles ou urbaines (Carré et al., 2009). Au cours des dernières décennies, il y a eu un certain déclin de la diversité et de l'abondance des abeilles sauvages en Europe et aux États-Unis. Les principales causes de ce déclin sont identifiées comme la destruction et la fragmentation des habitats en conséquence de l'activité humaine (Ahrné et al., 2009). Ainsi, au niveau mondial, ce serait 35% des volumes de production qui seraient impactés négativement si les insectes pollinisateurs venaient à disparaître (Klein et al., 2007).

L'essentiel de la pollinisation est assuré par les abeilles (Albrecht et al., 2007; Greenleaf et al., 2007). Or, celles-ci subiraient une forte diminution de leurs effectifs, et ce partout dans le monde (Williams et al., 2010 ; Kluser et Peduzzi, 2007). Les pertes de colonies entières d'abeilles de ruche (*Apis mellifera*), de plus en plus observées ont permis d'attirer l'attention de la communauté scientifique sur le phénomène (Norton, 2007). Cependant, les connaissances concernant les abeilles sauvages restent faibles. Elles sont donc peu souvent concernées par les régimes et programmes de protection – peu d'espèces sur les listes rouges par exemple – (Winfree, 2010).





#### *1.4.2 Textes internationaux concernant l'utilisation durable des pollinisateurs*

Le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) a convoqué un groupe de travail spécial d'experts sur la diversité biologique en novembre 1988, en vue d'étudier et de vérifier le déclin des pollinisateurs et, d'explorer le besoin de créer une convention internationale sur la diversité biologique. C'est ainsi que, dans le milieu des années 1990, le PNUE a constitué un groupe de travail spécial d'experts techniques et juridiques afin de préparer un instrument juridique international sur la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique. C'est alors que le groupe de travail spécial est devenu le Comité intergouvernemental de négociation et ses travaux se sont achevés avec la Conférence de Nairobi pour l'adoption du texte convenu de la Convention sur la diversité biologique. La « Convention sur la Diversité Biologique » (CDB) est un traité international adopté lors du sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992 ayant comme un des objectifs principaux la conservation de la diversité biologique ([www.cbd.int](http://www.cbd.int)). Lors de la Conférence des Parties (CdP), sept programmes de travail thématiques correspondant à certains des principaux biomes de la planète ont été établis. À sa sixième réunion, la Conférence des Parties a adopté la décision sur la « Biodiversité Agricole », qui contient des dispositions sur la mise en œuvre des programmes de travail sur: l'Initiative Internationale pour la Conservation et l'Utilisation Durable des Pollinisateurs, la biodiversité des sols entre autres, la libéralisation du commerce et les technologies génétiques restrictives (Biesmeijer et al., 2006; Carré et al., 2009; [www.cdb.int](http://www.cdb.int)). L'initiative sur la conservation et l'utilisation durable des pollinisateurs a été officiellement créée par la décision VI/5 de la Conférence des Parties, en 2002. Le cadre de cette initiative a été développé en tenant compte des recommandations de la Déclaration de Sao Paulo sur les pollinisateurs, sur la base des résultats de l'Atelier sur la conservation et l'utilisation durable des pollinisateurs dans l'agriculture, qui s'est tenue à Sao Paulo, au Brésil en 1998 ([www.biodiv.org](http://www.biodiv.org)). L'initiative intersectorielle sur la conservation et l'utilisation durable des pollinisateurs de la Convention a pour objectifs de: suivre le déclin des pollinisateurs et son incidence sur les services de la pollinisation; traiter l'absence d'information taxonomiques sur les pollinisateurs; évaluer la valeur économique de la pollinisation ainsi que l'incidence économique du déclin des services de pollinisation et promouvoir la conservation, la restauration et l'utilisation durable de la diversité des pollinisateurs dans l'agriculture et les écosystèmes associés. Dans l'Union Européenne comme dans le territoire français, plusieurs textes juridiques et

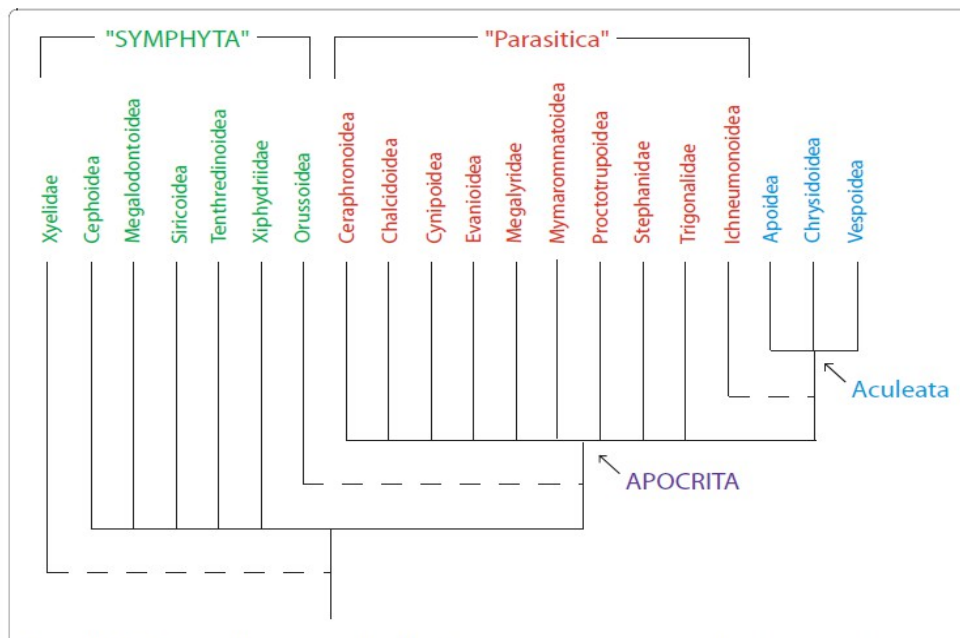


Figure 4: Résumé de relations entre hyménoptères: Sous-ordres représentés en lettres majuscules; Taxons terminaux indiquent superfamilles ou les familles non affectées à une superfamille. Les lignes pointillées indiquent l'hypothèse relations de groupe sœurs (Davis et al., 2010).

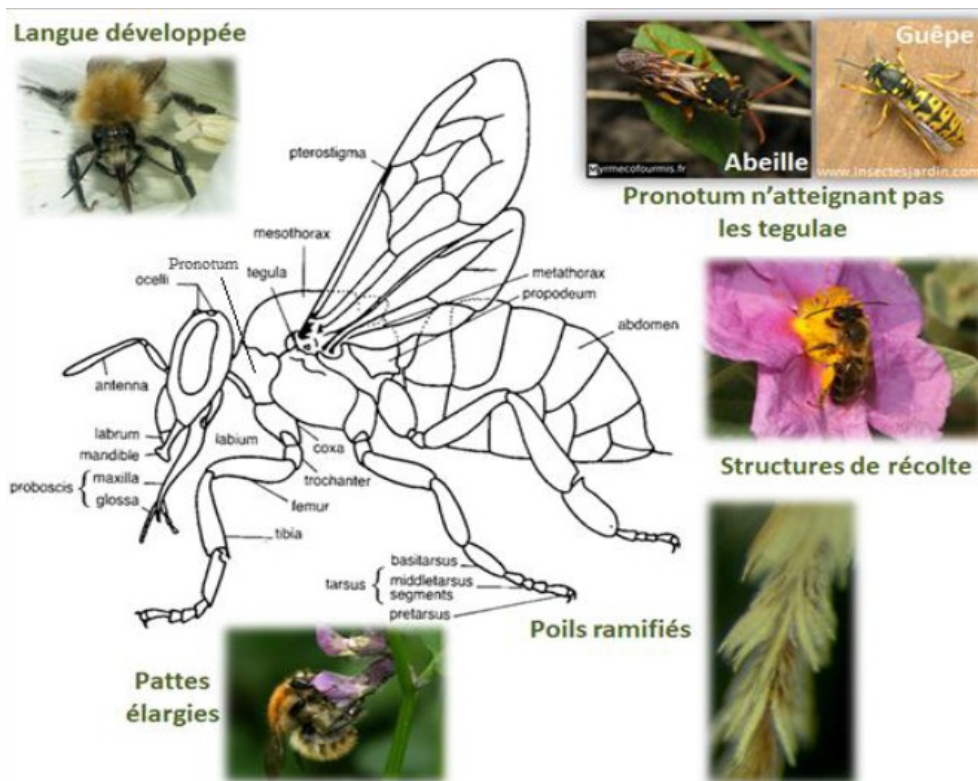


Figure 5: Morphologie et caractères spécifiques d'une abeille (Photographies: Arthropologia, L. Motino)

instruments gouvernementaux protègent la biodiversité, les espaces naturels et les espèces sauvages menacées (Directive sur les oiseaux 1979 et Directive habitat, 1992, Agenda 21, Loi de Grenelle 1 et 2).

## **1.5 Généralités sur les abeilles sauvages**

### **1.5.1 Taxonomie et morphologie**

L'embranchement des arthropodes, présente plusieurs classes dont les insectes. Ils sont divisés en 32 ordres dont les Hyménoptères (Leconte, 2002). Les abeilles appartiennent à l'ordre des hyménoptères (union des ailes membraneuses), au sous-ordre Apocrita (étranglement entre le thorax et l'abdomen = taille de guêpe), à l'infra-ordre Aculeata (présence du dard chez la femelle) et à la superfamille des Apoidea (poils ramifiés et le pollen est leur source de protéines) (Figure 4; Davis, 2010). Il existe neuf familles d'abeilles dans le monde dont six sont présentes en France dont la région Rhône-Alpes (Patiny, 2009). Elles peuvent se subdiviser en deux groupes : les abeilles à langue courte (Andrenidae, Colletidae, Halictidae et Melittidae), qui butinent principalement les fleurs à corolle peu profonde, et les abeilles à langue longue (Apidae et Megachilidae), qui peuvent accéder au nectar des fleurs à corolle soudée (Borrell, 2005). L'abeille présente une morphologie adaptée à la récolte du pollen tels que des poils ramifiés et la modification (notamment) des pattes postérieures en structures de récoltes de pollen (Michener, 2007) (Figure 5).

### **1.5.2 Diversité, biologie et écologie**

Environ vingt mille espèces d'abeilles sont actuellement décrites dans le monde (Danforth, 2006 ; Nantes-Parra, 2006). Plus de deux mille espèces sont présentes en Europe (Patiny, 2009) et près d'un millier se retrouvent en France (Potts, 2011). Dans la région Rhône-Alpes, le nombre d'espèce peut être estimé à quatre cents (Mouret, 2010). Le cycle de vie des abeilles (Figure 6), insectes holométaboles, est caractérisé par plusieurs stades (œuf, larve, nymphe et adulte). Après l'accouplement, la femelle conserve le sperme dans sa spermathèque et choisit de féconder ou non certains de ses œufs (Michener, 2007). Chez les abeilles sauvages, elle se met ensuite en quête d'un nid – sol nu, tiges creuses, cavités du bois etc. Elle amalgame des grains de pollen et du nectar pour en faire un « pain de pollen » qui servira de réserves à la future larve. Après le dépôt du pain et la ponte, elle referme la cavité du nid. L'adulte en sort à la saison suivante (Michener, 2007). Les abeilles ont une vision trichromatique reposant sur trois types de photorécepteurs dont les spectres d'absorption vont

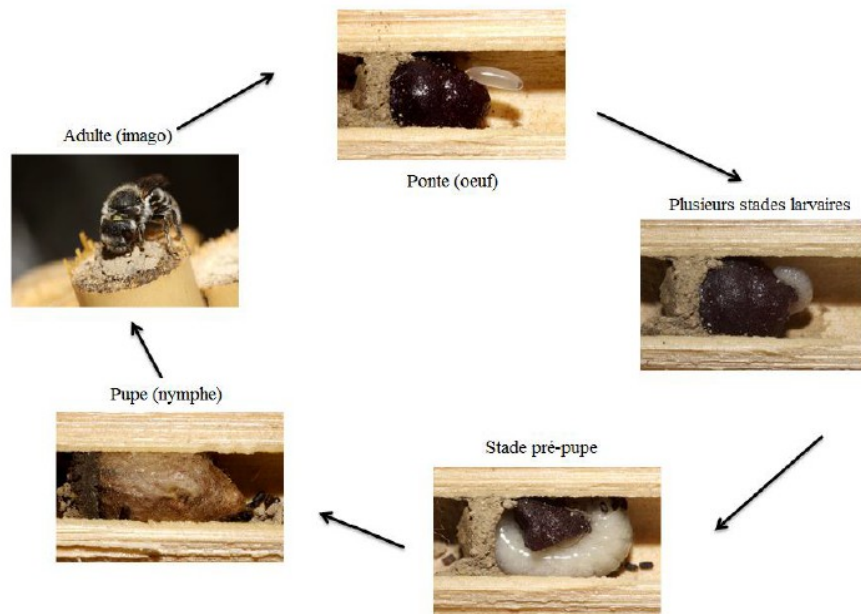


Figure 6: Cycle de vie d'une abeille sauvage (L. Motino)



Figure 7: Différentes formes de sociabilité: solitaire (Haut à gauche), grégaires (haut à droite) et sociales (en bas) Photographies : Arthropologia, et [www.spipoll.org](http://www.spipoll.org).

de l'ultraviolet (300nm) à la limite du rouge (650nm), elles sont sensibles au vert, au bleu et à l'ultraviolet (mais pas au rouge). La vision dans l'ultraviolet leur permet de distinguer des lignes qui convergent des pétales vers le cœur de la fleur et ainsi de mieux localiser les zones riches en nectar (Kien et Menzel 1977). Certaines abeilles sont des cleptoparasites – abeilles-coucou – et pondent leurs œufs dans les nids occupés, profitant des réserves présentes. A tous les stades de sa vie, l'abeille a donc un régime herbivore, constitué de nectar et de pollen (Sedivy, 2011). Quatre niveaux de sociabilité existent chez les abeilles. Certaines, comme l'abeille de ruche ou les bourdons, sont eusociales. Elles vivent en colonie avec une reine pondeuse. Les autres abeilles de la colonie – ouvrières par exemple – sont affiliées à une tâche – récolte du pollen, etc. – (Sagili et al., 2011). D'autres espèces sont subsociales. Elles vivent regroupées en un même lieu et seule l'une d'elle pond (Michener, 2007). Les abeilles grégaires vivent également en groupe – nids proches – mais n'ont pas d'influence les unes sur les autres (Figure 7). Enfin, les abeilles solitaires, qui constituent la majorité des abeilles sauvages, vivent et nichent seules (Michener, 2007).

Finalement, la diversité des abeilles dans les agro-écosystèmes est expliquée par les conducteurs à différente échelle biogéographique. À l'échelle continentale, le climat et les conditions topographiques déterminent la distribution des espèces. À l'échelle du paysage, les habitats autour des champs, définis comme le contexte du paysage, et en particulier les habitats semi-naturels sont le principal moteur de la diversité des abeilles, car ceux-ci fournissent des ressources pour la nourriture, les sites de nidification et d'hivernage. Par ailleurs, le changement d'utilisation des terres modifie la distribution spatiale et temporelle de ces ressources et affecte ainsi les communautés de pollinisateurs des cultures. À l'échelle locale la biodiversité des abeilles dépend de facteurs biotiques et abiotiques tels que la compétition, la prédation ou les maladies (Carré et al., 2009).

### 1.5.3 Menaces

Récemment la baisse en Amérique du Nord et en Europe de l'abeille domestique *Apis mellifera* et d'autres insectes pollinisateurs, appelée «crise de pollinisation» a fait l'objet d'un intérêt politique, académique, des médias et du public (Bates et al., 2011). Le déclin des abeilles sauvages en Europe a tout de même pu être confirmé avec l'observation simultanée d'une érosion de la diversité en abeilles sauvages au Royaume-Uni et aux Pays-Bas (Biesmeijer et al., 2006). On observe depuis plusieurs années que les études se penchent sur les menaces à l'origine du déclin des abeilles (Saddier, 2009; Williams, 2010). Ainsi, les





*Figure 8: Site UB9 aménagé (Parc du Château, Saint-Priest) Photographie: L. Corredor*

ruches sont de plus en plus infestées par *Nosema ceranae*, champignon microscopique, (Paxton, 2010) ce qui laisserait supposer une faiblesse de l'immunité des abeilles (Seaver, 2011). Il en est de même pour *Varroa destructor*. Cet acarien parasite des abeilles a pourtant longtemps été présent dans les ruches, sans être la cause d'une mortalité si importante (Le Conte, 2010). D'autres facteurs sont donc incriminés comme l'exposition aux molécules de certains produits phytosanitaires (acéphate, imidaclopride, fipronil etc.) (Bacandritsos, 2010) qui, selon les doses, provoqueraient une mort directe ou indirecte (Mayer, 2003 ; Johnson, 2010). Enfin d'autres pistes sont soulevées telles que l'impact des ondes électromagnétiques (Sharma et Kumar, 2010) ou encore les changements climatiques (Potts, 2010 ; Le Conte et Navajas, 2008).

Étant donné la grande importance des pollinisateurs et l'accumulation des preuves de leur déclin, l'Initiative internationale pour la conservation et l'utilisation durable des pollinisateurs a été créée dans le cadre de la Convention sur la Diversité Biologique (CDB). Un des principaux objectifs est de mettre en place la surveillance des pollinisateurs et d'identifier les relations entre les changements de la diversité et l'abondance des pollinisateurs et les causes des changements (Wesphal et al., 2008). L'Union Européenne (UE) a choisi d'agir avec la mise en œuvre de programmes d'études tels que Status and Trends of European Pollinators (STEP), le programme ALARM (Assessing LArge scale Risk for biodiversity with tested Methods) ou encore les programmes LIFE+(L'Instrument Financier pour l'Environnement).

## **1.6 Programme Européen URBANBEES**

Comme conséquence de cette réduction d'abeilles sauvages, l'association Arthropologia en partenariat avec l'Institut National pour la Recherche Agronomique (INRA) d'Avignon en 2008 ont pris l'initiative de créer le projet URBANBEES (Urban Bee biodiversity action planS) avec la mise en place d'un programme Life + Biodiversité. L'objectif principal du programme est la diffusion au niveau européen d'un guide de gestion qui vise à maintenir et augmenter la diversité et l'abondance des abeilles sauvages en milieux urbains et périurbains. Pour cela, sur le territoire du Grand Lyon, différents sites ont été aménagés pour faciliter l'alimentation et la nidification des abeilles sauvages (Figure 8). Pendant cette période, dans ces sites, des suivis et des observations permanents de ces populations permettront d'affiner les connaissances et d'améliorer la gestion des ressources dont elles ont besoin. Ce programme se base aussi sur la sensibilisation des différents publics (élus, grand public, scolaires et professionnels) à travers de nombreuses actions de communication (animations,





sorties, conférences, ateliers et formations) ([www.urbanbees.eu](http://www.urbanbees.eu)). Le choix de la réalisation de ce programme en milieu urbain se base sur le fait que les villes peuvent être considérées comme des lieux de refuge pour l'entomofaune (Matteson et al., 2008). En effet, en ville l'utilisation de produits phytosanitaires est plus réduite que dans les campagnes en zones périurbaines (McIntyre et Hostetler, 2001). De plus, les villes offrent une ressource considérable en nourriture en abritant de nombreux parcs et jardins (Fetridge et al., 2008). D'autre part, les villes concentrent une grande partie de la population. Or, l'action de sensibilisation du grand public représente une partie importante du programme et une des actions les plus efficaces pour la protection de la biodiversité (Dearborn, 2010). Certains taxons d'abeilles possèdent des exigences d'habitat qui sont incompatibles avec le développement urbain. Cependant, de nombreuses abeilles peuvent persister dans les zones métropolitaines. Les zones suburbaines, en particulier, peuvent-être plus favorables que les paysages urbains pour de nombreuses espèces d'abeilles, car ces zones peuvent conserver les caractéristiques des habitats que les abeilles exigent pour la nidification et sont renforcées dans les ressources florales sous la forme de jardins résidentiels (Fetridge et al., 2008). Les banlieues sont définies comme des zones principalement résidentielles en pleine expansion, subsumant l'habitat naturel sur lequel les abeilles et d'autres groupes comptaient auparavant. Les jardins représentent potentiellement de riches habitats artificiels pour les abeilles. Certaines abeilles solitaires et beaucoup d'eusociales sont polylectiques, capables de recueillir le pollen sur un large éventail d'espèces de plantes, probablement même certaines plantes exotiques et ornementales. Ces dernières pourraient ainsi fournir des ressources alimentaires pour de nombreuses abeilles. En outre, les jardins peuvent contenir des matériaux et des sites de nidification, comme un sol nu, des tas de feuilles, de tiges et branches mortes, et des cavités dans des structures artificielles (Fetridge et al., 2008). La perte d'espèces d'abeilles à la suite de l'urbanisation est inévitable. Cependant, les régions spécifiques qui fournissent ces informations peuvent-être utilisées ensuite pour influencer le développement dans d'autres régions urbaines et promouvoir ainsi des espaces ouverts conçus pour attirer et soutenir les espèces d'abeilles indigènes (Hernandez et al. 2009).

Le programme URBANBEES (UB) est chiffré à plus de deux millions d'euros, dont la moitié est financée par l'Union Européenne (UE). Il est également soutenu par plusieurs partenaires tels que les villes de Lyon et Villeurbanne, le Service Science et Société de l'Université de Lyon et le Muséum d'Histoire Naturelle de Londres. Ce programme est également à l'initiative d'actions concrètes dans le Grand Lyon puisque le projet inclut la mise en place



d'aménagements (hôtels à abeilles, spirales à insectes, carrés de sol, prairies fleuries) pour favoriser la nidification et l'alimentation des abeilles dans les parcs urbains.

#### *1.6.1 Contexte du stage*

Mon stage réalisé au sein de l'Association Arthropologia s'inscrit au sein du programme URBANBEES. Réalisé du mois de mars au mois d'août 2012, il s'est déroulé pendant la période de relevés. Vingt-quatre sites dont seize aménagés ont fait l'objet des relevés botaniques et entomologiques. Mon travail consistait à une contribution au travail de la doctorante de l'INRA d'Avignon, dont la thèse porte sur la comparaison de la diversité des abeilles en fonction du gradient écologique de milieux. Les relevés ont été réalisés en partenariat entre le personnel de l'association et de l'INRA d'Avignon.

#### *1.6.2 Objectifs du stage*

Le présent travail essaye de répondre à plusieurs questions: Les abeilles sauvages sont-elles distribuées au hasard dans les sites UB ou suivent-elles un gradient d'urbanisation? Existe-il un lien entre la diversité d'abeilles (richesse spécifique) et le gradient d'urbanisation des sites UB? Quatre types de milieu (semi-naturel, agricole, périurbain et urbain) ont été choisis pour représenter le gradient d'urbanisation. L'objectif principal du stage est d'estimer la diversité (richesse spécifique) et l'abondance des abeilles sauvages en fonction du gradient d'urbanisation. Pour répondre à cet objectif, j'ai estimé, dans un premier temps et d'une manière quantitative, le gradient d'urbanisation grâce à l'utilisation des logiciels de Systèmes d'Information Géographique (SIG). Une fois les sites classés en fonction de leur urbanisation et, par conséquent, en suivant un gradient de perturbation, j'ai estimé la diversité et l'abondance des abeilles sauvages dans chacun des sites. Des analyses statistiques seront nécessaires pour répondre à cette question. Mon hypothèse repose sur le fait que la diversité d'abeilles sauvages serait plus importante dans les sites semi-naturels. En effet, les milieux naturels présentent de nombreuses sources de nourriture et de nidification pour les abeilles. De plus, ce sont des sites qui présentent des faibles perturbations anthropiques du milieu. Il est également important de prendre en compte que la diversité d'abeilles pourrait dépendre aussi de la disponibilité, de la qualité et de la quantité de ressources alimentaires disponibles et effectives. Finalement, les hypothèses et les méthodes utilisées ont été discutées par rapport aux résultats obtenus dans cette étude.

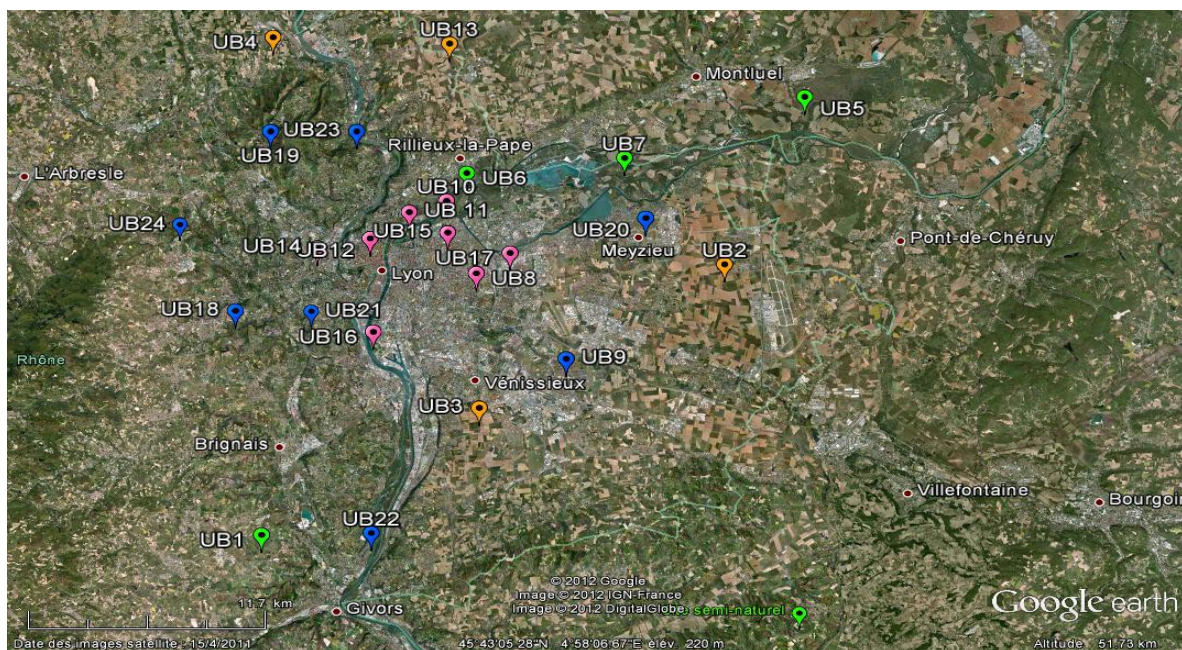


Figure 9: Carte de la région lyonnaise indiquant les sites UB. Contexte du paysage (vert: semi-naturel, orange: agricole, bleu: périurbain et rose: urbain. Source: Google earth, Réalisation: L. Corredor)

Contexte du paysage	Numéro du site	Nom du site	Commune	Coordonnées GPS
Semi-naturel	UB1	Marais de Morlin	TALUYERS	45°37'09.4"N / 4°43'50.1"E
	UB5	Camp militaire de la Valbonne	BALAN	45°49'23.07"N / 5°7'23.12"E
	UB6	Crépieux-Chamy	CREPIEUX-LA-PAPE	45°48'06.1"N / 4°53'51"E
	UB7	La Forestière	MEYZIEU	45°48'03.1"N / 5°00'03.4"E
Agricole	UB2	Genas	GENAS	45°44'16.6"N / 5°3'13.4"E
	UB3	Feyzin	FEYZIN	45°40'30"N / 4°52'57.3"E
	UB4	Saint Germain au Mont d'Or	SAINT GERMAIN AU MONT D'OR	45°52'20"N / 4°54'00.1"E
	UB13	La Rivoire	CAILLOUX SUR FONTAINE	45°49'13.6"N / 4°39'42.4"E
Urbain	UB8	Parc de Chambovet	LYON	45°44'52.45"N / 4°53'42.3"E
	UB10	Parc de la Feyssine	VILLEURBANNE	45°47'17.4"N / 4°52'55.6"E
	UB11	Parc de la Tête d'Or	LYON	45°47'3.9"N / 4°51'22.1"E
	UB12	Bon Pasteur	LYON	45°46'20.92"N / 4°49'47.03"E
	UB14	Cressonnaire	LYON	45°46'13.27"N / 4°47'45.05"E
	UB15	Rue Léon Chomel	VILLEURBANNE	45°46'16.35"N / 4°52'47.03"E
	UB16	Parc de Gerland	LYON	45°43'27.1"N / 4°49'37.3"E
Périurbain	UB17	IUFM	VILLEURBANNE	45°45'23.90"N / 4°55'8.16"E
	UB9	Parc du Château	SAINT-PRIEST	45°41'46.9"N / 4°56'35.2"E
	UB18	Grand Moulin de l'Yzeron	FRANCHEVILLE	45°44'28.48"N / 4°44'10.25"E
	UB19	Parc du Stade	LIMONEST	45°50'02.2"N / 4°46'28.8"E
	UB20	Parc de la République	MEYZIEU	45°46'2.05"N / 5°00'30.4"E
	UB21	Chemin des Hauts du Bois	SAINTE-FOY-LES-LYON	45°44'15.66"N / 4°47'9.99"E
	UB22	SMIRIL	GRINGY	45°36'49.29"N / 4°48'1.90"E
	UB23	Château du Tournéon	COLLONGES AU MONT D'OR	45°49'49.67"N / 4°49'55.19"E
	UB24	École Vétérinaire AgroSup	MARCY L'ETOILE	45°47'46.12"N / 4°42'53.84"E

Tableau 1: Description des sites UB

## 2 MATERIEL ET METHODES

### 2.1 *Description du Grand Lyon*

L'agglomération du Grand Lyon se situe en Europe continentale, au centre-est de la France. C'est la plus importante agglomération de la Région Rhône-Alpes, placée au cœur de la vallée du Rhône (Grand Lyon, 2010). Le Grand Lyon est la deuxième plus grande agglomération française, composée de cinquante-huit communes; sa population s'élève à plus de 1 300 000 habitants, soit 80% de la population du département du Rhône, pour une superficie qui représente seulement 16% du territoire du département (Grand Lyon, 2010). La communauté urbaine du Grand Lyon regroupe une occupation variée des sols urbains. Cette agglomération est composée de 57% d'espaces artificiels (28822ha), de 26% d'espace agricole (13200ha) et 8% d'espaces naturels (9258ha). Grâce à sa situation géographique, l'agglomération du Grand Lyon connaît un climat diversifié; avec des influences océaniques, continentales, alpines et méditerranéennes, la région lyonnaise présente une richesse paysagère, floristique et faunistique importante (Grand Lyon, 2010). La Région Lyonnaise, avec près de 3000 espèces de plantes, est une des plus riches de France. On trouve une grande diversité des milieux, comme des marais, des tourbières, des pelouses, des landes et des forêts.

#### 2.1.1 *Description des sites du programme URBANBEES*

La diversité de l'occupation des sols, la concentration d'une grande partie de la population et la demande sociale de la présence de la nature en ville justifient le choix de cette agglomération comme zone d'étude. Le Grand Lyon est une zone test intéressante puisqu'elle s'étend sur une grande superficie et est formée selon le schéma de la plupart des grandes métropoles européennes (Berthelot, 2007). De plus, dans la démarche d'Agenda 21, elle s'est engagée à préserver la biodiversité du territoire (Grand Lyon, 2008). Dans le cadre des actions du programme URBANBEES, vingt-quatre sites ont été choisis au total dans le Grand Lyon (Figure 9) dont huit urbains et périurbains, et quatre agricoles et semi-naturels (Tableau 1). Tout d'abord, huit sites d'étude dits «en milieu urbain» abritent une surface chacun de 500m<sup>2</sup> et une surface totale de 4000m<sup>2</sup>. Ces sites très urbanisés s'étendent sur les villes de Lyon et Villeurbanne. Cette zone est composée de 89% d'espaces artificiels dont 52% d'habitations, 9% d'activités économiques et 27% d'autres espaces. En plus de 10% d'espaces naturels et 1% d'espaces agricoles (Agence d'urbanisme de Lyon, 2007). Cinq sites sont situés dans la ville de Lyon et trois à Villeurbanne. Certains de ces sites se trouvent dans des parcs urbains (UB11 Tête d'Or et UB Gerland) et d'autres sont situés dans des espaces verts. Ensuite, les sites





*Figure 10: Site UB composé d'hôtels à abeilles, de carrés de sol, une spirale à insectes et des panneaux informatifs (UB16 Parc de Gerland)  
Photographie : Arthropologia.*

«périurbains», huit au total, sont situés en zone urbaine moins dense, intégrant la couronne urbaine. Cette zone est composée de 53% d'espaces artificiels dont 33% d'habitation, 10% d'activité économique et 10% d'autres espaces. Elle compte aussi 28% d'espaces agricoles et 19% d'espaces naturels (Agence d'urbanisme de Lyon, 2007). La zone périurbaine résidentielle entoure la zone urbaine. Les espaces verts, les parcs et les jardins sont plus fréquents et les espaces naturels et agricoles sont plus proches de cette zone. Puis, les quatre sites « agricoles », sur une surface totale de 2000m<sup>2</sup>. Cette zone est composée d'une partie des communes appartenant au Grand Lyon et les terrains sont principalement utilisés pour l'agriculture. Les quatre sites se situent de manière discontinue au sein du territoire du Grand Lyon, principalement dans le Mont d'Or et l'Est lyonnais. Enfin, les sites semi-naturels sont très variés et comptent les îles de Crépieux-Charmy, les steppes de la Valbonne, les prairies et landes du plateau de Montagny et la Forestière. Le site de Crépieux-Charmy et le marais de Morlin (dans l'ENS des Landes de Montagny) sont protégés par un Arrêté Préfectoral de Protection de Biotope (APPB). Les îles de Crépieux-Charmy se situent sur le champ-captant d'eau potable pour le Grand Lyon, aussi on y pratique une gestion écologique particulière. Par ailleurs, trois sites sont gérés par le Conservatoire Rhône-Alpes des Espaces Naturels (CREN) (Agence d'urbanisme de Lyon, 2007).

### *2.1.2 Aménagements des sites*

Seuls les sites « urbains et périurbains » ont été aménagés. En 2010, des aménagements composés d'hôtels à abeilles, de carrés de sol et d'une spirale à insectes (Figure 10) ont été installés sur huit premiers sites (Parc de Gerland, Tête d'Or, Cressonnière, Léon Chomel, SMIRIL, Stade de Limonest, Parc République de Meyzieu et Chemin des Haut du bois à Saint- Foy-lès-Lyon). Les huit autres sites restants ont été aménagés en 2012 (Parc Chambovet, Feyssine, Château du Tourvéon, Grand Moulin de l'Yzeron, École Vétérinaire et Parc du Château). Ces installations ont pour objectif de proposer des zones de nidification et d'alimentation pour les abeilles, tout en présentant un caractère pédagogique, puisque des animations sont réalisées autour des aménagements en plus des panneaux informatifs présents en permanence.

## *2.2 Relevés entomologiques et identification des abeilles*

Les études de Westphal et al., 2008 ont servi de guide et ont permis à l'INRA et Arthropologia d'établir un protocole d'échantillonnage des abeilles. Quelques modifications du protocole réalisé au cours des relevés de la saison 2010, ont permis d'établir un protocole finalisé pour



*Figure 11: Méthode de capture passive: (Coupelles colorées).  
Disposition des coupelles (bas) Photographie: Arthropologia*



*Figure 12: Méthode de capture active (Filet entomologique)  
Photographie : L. Corredor.*



les relevés de 2011 et 2012. Trois méthodes de relevés entomologiques ont été effectuées. En premier lieu, une méthode de capture passive à l'aide de deux lots de coupelles colorées. Deuxièmement une méthode de capture active: la chasse à vue avec un filet entomologique. Et troisièmement, l'évaluation du taux d'émergence des abeilles dans les hôtels à l'aide de cages d'émergence. Seuls les deux premières méthodes sont traitées dans le présent rapport.

### *2.2.1 Méthode de capture passive: lots de coupelles colorées*

Les coupelles colorées constituent une méthode de piégeage passif basée sur l'attraction visuelle des insectes qui permet d'obtenir des données quantitatives sur l'abondance d'une grande partie de la faune d'abeilles sans avoir le biais associé à l'efficacité de capture d'un observateur. C'est une méthode non ciblée qui permet de capturer aussi bien des abeilles que d'autres insectes. Sur chacun des sites, une fois par mois et à un intervalle de  $30 \pm 5$  jours deux lots des coupelles colorées (bleu, blanc et jaune) sont installés pendant une durée de 24 heures. Chaque lot de coupelles, installé en forme de triangle à 3m de distance et légèrement au-dessus de la végétation, contient un mélange d'eau et de quelques gouttes de détergeant (Figure 11). Le lendemain du jour de pose, les abeilles sont récupérées et déposées dans un flacon avec une étiquette et de l'éthanol à 70%. Les spécimens capturés sont ensuite lavés, étalés, séchés et étiquetés, après quoi ils sont identifiés au genre; puis envoyés vers les différents spécialistes de ces genres pour être identifiés à l'espèce. Les abeilles domestiques présentes dans les captures sont notées et dénombrées.

### *2.2.2 Méthode de capture active: La chasse à vue avec un filet entomologique*

Si les conditions météorologiques sont favorables ( $T^{\circ} > 30^{\circ}\text{C}$ , pas de pluie et vent faible) sur chaque site et une fois par mois à un intervalle de  $30 \pm 5$  jours, l'observateur prospecte toutes les plantes en fleur dans un rayon de 100m à partir du barycentre des lots de coupelles. Les relevés s'effectuent chaque mois en alternance le matin et l'après-midi par rapport au midi solaire. Sur le rayon, on réalise un inventaire des espèces de plantes fleuries et on localise le patch fleuri le plus abondant de cette espèce. Si la plante n'est pas identifiée à l'espèce, elle sera collectée ou prise en photographie pour être envoyée ensuite au jardin botanique de Lyon. Une fois le patch d'une espèce de plante fleurie localisé, on commence à observer si des abeilles butinent les fleurs. Si pendant deux minutes aucune abeille ne butine cette espèce de fleur, alors on passe à une autre espèce. Dans le cas contraire, si des abeilles sont aperçues butinant les fleurs, elles sont alors capturées à l'aide d'un filet entomologique,

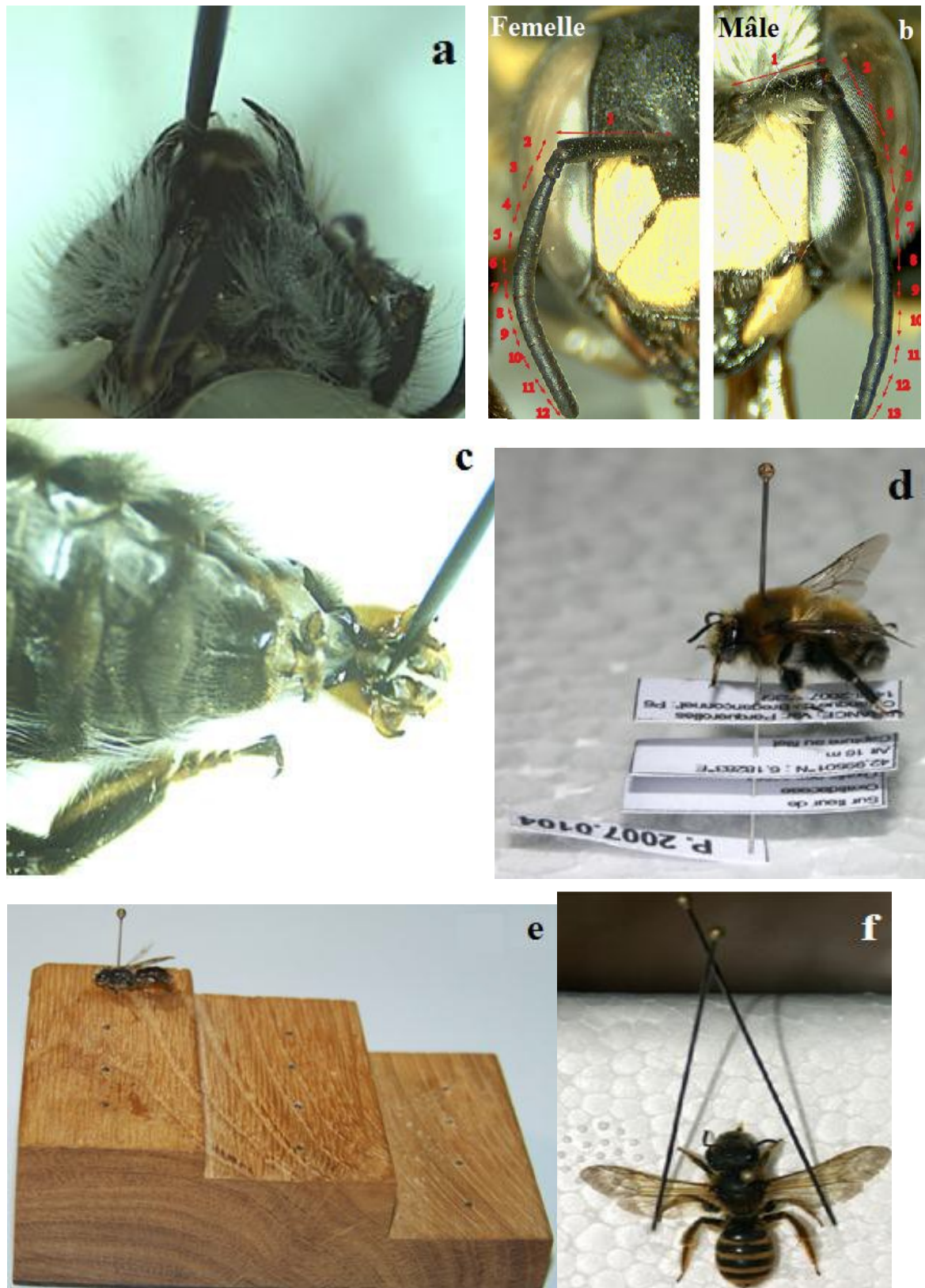


Figure 13: Différentes étapes du montage d'abeilles :  
 (a) ouverture des mandibules, (b) détermination du  
 sexe, (c) extraction des genitaliae, (d) épinglage, (e)  
 mise à hauteur avec le gabarit, (f) étalage sur  
 polystyrène (Photographies : Arthropologia mise en  
 page L. Motino)

pendant une période de cinq minutes (Figure 12). Les abeilles capturées sont placées dans un pot à cyanure préalablement activé avec quelques gouttes d'eau et contenant un papier absorbant. Une fois morte, l'abeille est mise dans un flacon avec une étiquette, puis tous les spécimens sont conservés au congélateur.

### *2.2.3 Montage et identification des abeilles*

Les abeilles récoltées ont été montées par le personnel d'Arthropologia et de l'INRA. L'objectif du montage des insectes est de rendre visibles les caractères nécessaires à leur identification et de leur permettre une conservation optimale (Figure 13). Une fois que l'abeille a été décongelée (15min après sortie du congélateur), sous la loupe binoculaire, on procède à l'écartement des mandibules avec une pince ou une épingle. L'étape suivante consiste à déterminer le sexe. Les abeilles mâles possèdent treize segments antennaires, tandis que les femelles en ont douze. Si c'est un mâle, il faut extraire alors les genitaliae (organe sexuel). L'abeille est ensuite épinglée sur la partie droite du centre du thorax avec une épingle entomologique adaptée à sa taille. L'abeille est mise à niveau avec un gabarit, puis étalée bien à plat sur une plaque de polystyrène. Avec une pince et des épingles, les pattes et les ailes sont bien positionnées. Une fois l'étalage réalisé, les abeilles sont mises à sécher pendant au moins dix jours dans un endroit protégé (Figure 14a). Les données appartenant à chaque abeille sont rentrées dans la base des données de l'INRA, ce qui permet d'attribuer un numéro unique à chaque abeille. Ces données permettent alors de produire (macro) les étiquettes. Par la suite, un classement par genre d'abeilles est réalisé. Finalement, les abeilles rassemblées par genre dans des boîtes seront envoyées aux différents spécialistes capables d'identifier jusqu'à l'espèce (Figure 14).

## *2.3 Analyse des données*

Les analyses réalisées à continuation seront effectuées grâce à deux logiciels. Le premier ArcMap pour l'analyse de Systèmes d'Information Géographique et le second le logiciel d'analyses statistiques R. Les librairies relimp, ade4 et vegan ont été utilisées pour les analyses statistiques. Ces analyses s'intéressent à la relation entre les espèces d'abeilles et le type de milieu. A ces fins, des analyses préalables et séparées sur chaque tableau de données sont indispensables à fin de mettre en pratique une analyse de couplage qui intègre et résume cette information. Le tableau de données du milieu est traité selon une ACP (Analyse en Composantes principales) et le tableau faunistique est traité selon une AFC. Les résultats de ces deux analyses seront mises en relation avec une analyse de co-inertie.



*Figure 14: Étapes de préparation des abeilles: a) étalage et séchage sur le polystyrène (haut), b) étiquetage (milieu) et c) détermination au genre (bas). Photographies: L. Corredor*



### 2.3.1 *Estimation quantitative de l'urbanisation*

Des cartes SIG ont été récupérées par la stagiaire de l'INRA d'Avignon dans les bureaux du Grand Lyon. C'est pourquoi, toute reproduction sans autorisation en dehors du Programme URBANBEES est interdite. Le dossier contient toutes les cartes correspondantes aux éléments du paysage urbain dans le département du Rhône et de l'Ain. Les cartes sont en format .shape (.shp) et correspondent aux couches vecteurs. Les couches vecteurs utilisées (Tableau 2) sont similaires aux catégories d'urbanisation de Harnandez (2009). Grâce au logiciel ArcMap, les couches vecteurs ont été projetées dans le Système de Coordonnées Projetées des grilles nationales appartenant à la France: Lambert II étendu. Une fois les couches et les sites UB projetés, une zone buffer ou tampon de 100m et 500m a été délimitée autour de chacun des points correspondant aux sites. C'est alors que chacune des couches est découpée (couverture\_végétale par exemple) avec la zone tampon à l'aide de l'outil « clip » dans la barre d'outils située dans le menu. Dans la table attributaire de cette nouvelle couche (clip.couverture-végétale et buffer à 100m), un nouveau champ «Surface» est ajouté et la surface (m<sup>2</sup>) de chaque polygone appartenant à une couche est estimée. Une jointure entre les deux dernières couches, permet d'attribuer le nom du site à chacun des polygones de cette couche à l'intérieur de chaque zone tampon. Puis, la matrice de la somme des surfaces des polygones par couche et par site est obtenue.

Cette matrice, permet d'effectuer plusieurs analyses de l'urbanisation dont la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) des sites UB dans un rayon de 100 et 500m. L'objectif de cette méthode (CAH) est de classer des individus (sites UB) en groupes ayant un comportement similaire sur un ensemble de variables (gradient d'urbanisation). Cette méthode suppose qu'on dispose d'une mesure de dissimilarité entre les individus; dans le cas de points situés dans un espace euclidien, on peut utiliser la distance comme mesure de dissimilarité. On commence par agréger les deux individus les plus proches. Puis, on continue en agrégeant les éléments (individus ou groupes d'individus) les plus semblables. L'algorithme continue jusqu'à ce que l'ensemble des individus se retrouve dans une unique classe. Les individus sont donc regroupés de façon hiérarchique ascendante. La CAH facilite la visualisation et permet d'apercevoir les similarités entre les sites. Le rassemblement des sites en groupes et sous-groupes permet une meilleure interprétation.

Catégorie d'urbanisation	Éléments du paysage qui composent la couche
Couverture végétale	lande ligneuse, haie, forêt fermée de feuillus et forêt ouverte
Zones vertes	parcs public, jardin public et privé, espaces verts
Surface d'eau	rivière, fleuve, ruisseau, lac artificiel/ naturels, zones humides
Chemin	larges et petits chemins pour piétons
Route	autoroute, route, rue
Bâtiments	maisons, bâtiments et surfaces imperméables

Tableau 2: Variables environnementales groupées en catégories ou couches vecteurs utilisées pour estimer le gradient d'urbanisation.

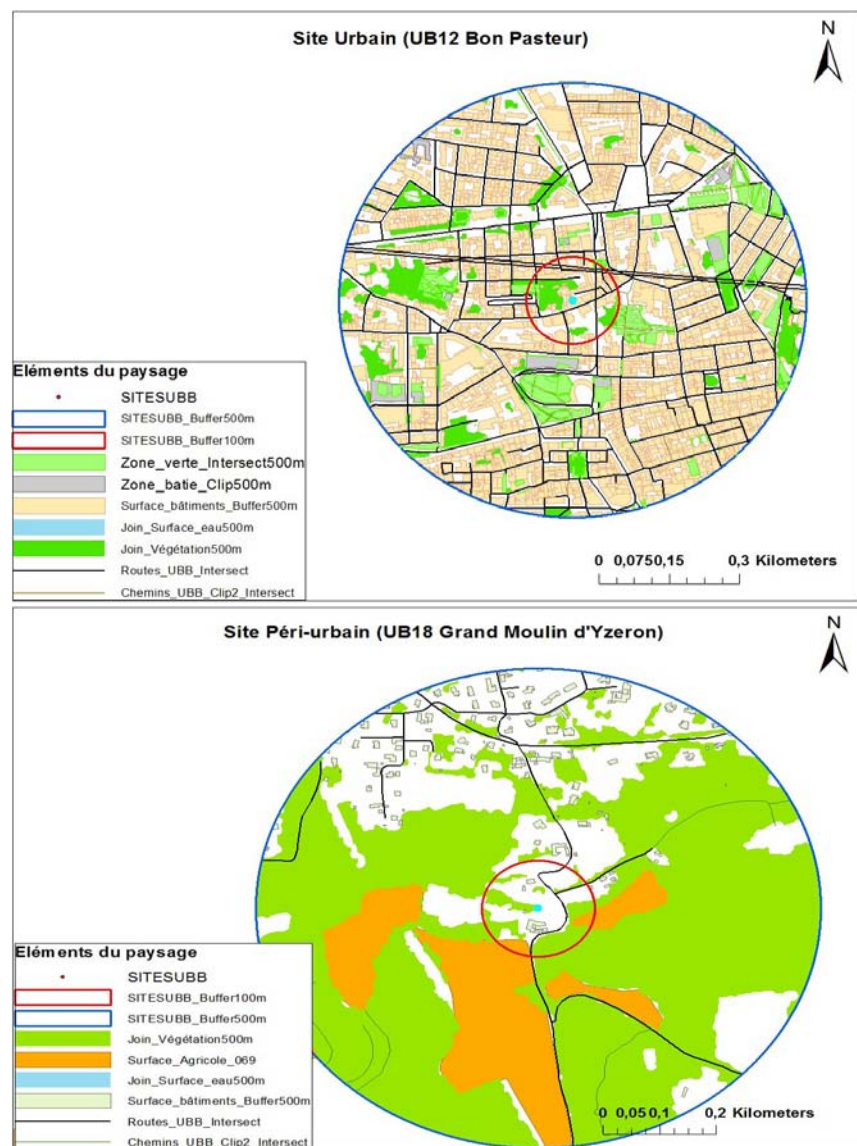


Figure 15: Type de cartes obtenues après l'analyse de SIG.  
Sources de données Le Grang Lyon, INRA Avignon. Réalisation : L. Corredor

### 2.3.2 *Analyse en Composantes Principales sur le tableau des données d'urbanisation des sites UB*

L'Analyse en Composantes Principales ACP permet de décrire le tableau de données des variables quantitatives (gradient d'urbanisation) des sites UB. Leur objectif est de les résumer et de réduire la dimension des variables. L'ACP permet de réaliser plusieurs études: La première est l'étude des individus (sites UB): elle s'intéresse à la variabilité entre sites afin d'identifier leurs similarités, d'établir un profil et d'opposer les groupes de sites. La deuxième est l'étude des variables environnementales qui décrivent l'urbanisation. Elle permet de les résumer dans une matrice de corrélations et de chercher les variables synthétiques qui représentent le gradient d'urbanisation des sites UB à partir des variables mesurées. Finalement, on peut lier les sites UB avec les variables d'urbanisation afin de les caractériser en groupes. Toutes les variables du gradient d'urbanisation sont quantitatives car elles présentent les mêmes unités de surface (m<sup>2</sup>).

### 2.3.3 *Analyse Factorielle des Correspondances sur le tableau faunistique des abeilles*

Les objectifs de l'Analyse Factorielle des Correspondances AFC sont similaires à ceux de l'ACP : obtenir une typologie des lignes et des colonnes et étudier le lien entre ces deux typologies. Cependant, le concept de similarité entre les lignes et les colonnes est différent. Ici, la similarité entre deux lignes ou deux colonnes est complètement symétrique. Deux lignes (resp. colonnes) sont proches l'une de l'autre si elles s'associent aux colonnes (resp. lignes) de la même façon. On recherche les lignes (resp. colonnes) dont la distribution est la plus différente de celle de la population. Chaque groupe de lignes (resp. colonnes) est caractérisé par les colonnes (resp. lignes) auxquelles il est particulièrement ou peu associé. Cette méthode est principalement destinée au traitement des tables de contingence (ex. décomptage d'espèces dans les relevés) en principe de nombres positifs ou nuls. L'ordination par AFC revêt un intérêt particulier lorsque les données proviennent d'un gradient que l'on cherche à reconstruire. L'AFC fournit la meilleure ordination réciproque (1er facteur) des espèces et des relevés en ce sens qu'elle maximise la corrélation entre l'ordination des unes et des autres. Par ailleurs, cette analyse donne accès à des mesures optimales d'amplitude d'habitat pour les espèces (de plus ou moins grande dispersion sur le gradient des relevés où l'espèce est présente). Réciproquement, la dispersion des espèces d'un relevé le long de ce gradient (préférences écologiques) constitue la diversité écologique de ce relevé. Cette

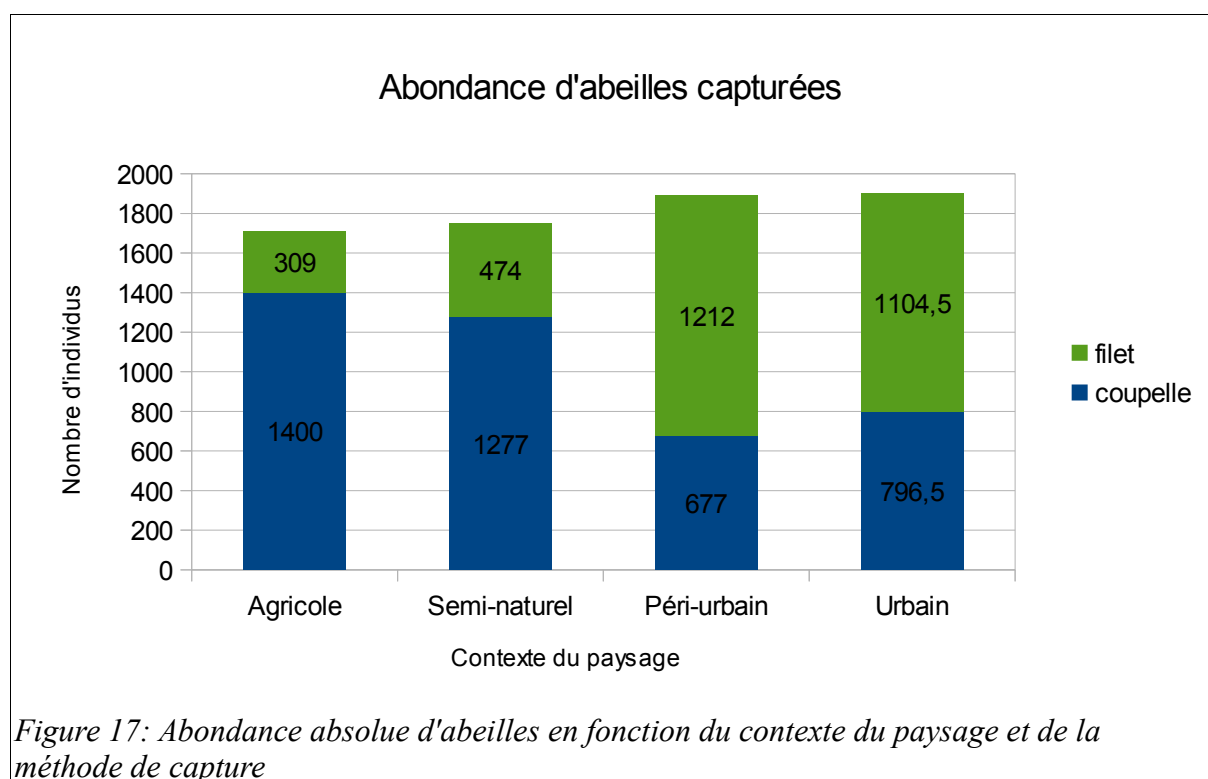
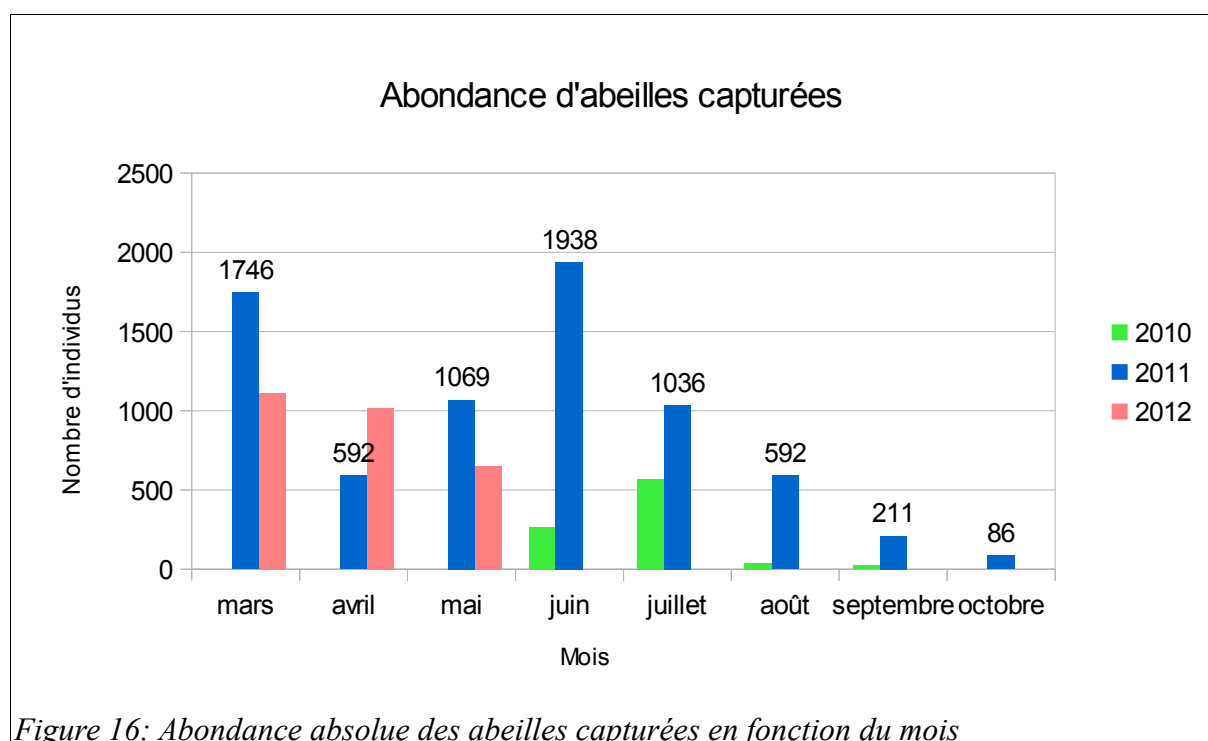




diversité est maximale si les optimales écologiques des espèces du relevé sont plus éloignées sur ce gradient (TD DSSB n°3).

#### 2.3.4 *Analyse de co-inertie*

L'analyse de co-inertie est une méthode de couplage entre deux tableaux. Nous disposons de deux tableaux quantitatifs: le premier est l'ACP du milieu (gradient d'urbanisation des sites UB). Le second correspond à l'AFC des données faunistiques des abeilles dans les sites UB. Le point commun entre les deux tableaux est représenté par les stations où les abeilles ont été capturées. L'analyse de co-inertie permet de réduire le nombre des relevés et d'estimer la structure de ces deux tableaux ou encore la covariation entre les structures associées. La co-structure observée des deux tableaux est comparée à un grand nombre de permutations aléatoires dans l'appariement des deux tableaux. Un test de Monte-Carlo est réalisé à l'endroit où les lignes des deux tableaux sont permutés simultanément. A chaque permutation aléatoire un recentrage des tableaux est assuré. Le nombre de permutations est de 999. Il en résulte que la co-structure observée des deux tableaux est totalement étrangère à l'ensemble des valeurs simulées. L'analyse de co-inertie peut être exécutée et débute par l'analyse du tableau croisé. La matrice traitée contient les covariances entre l'abondance d'une espèce d'abeille et une variable du gradient d'urbanisation normalisée. C'est ainsi que l'analyse d'inertie d'une matrice croisée est alors obtenue. Les analyses de co-inertie fournissent souvent des graphiques de valeurs propres très explicites car celles-ci sont le produit d'indices de structures de chaque tableau par un indice de co-structure.



### 3 RESULTATS

#### 3.1 *Description des tableaux faunistiques et du gradient d'urbanisation*

##### 3.1.1 *Abondance temporelle d'abeilles*

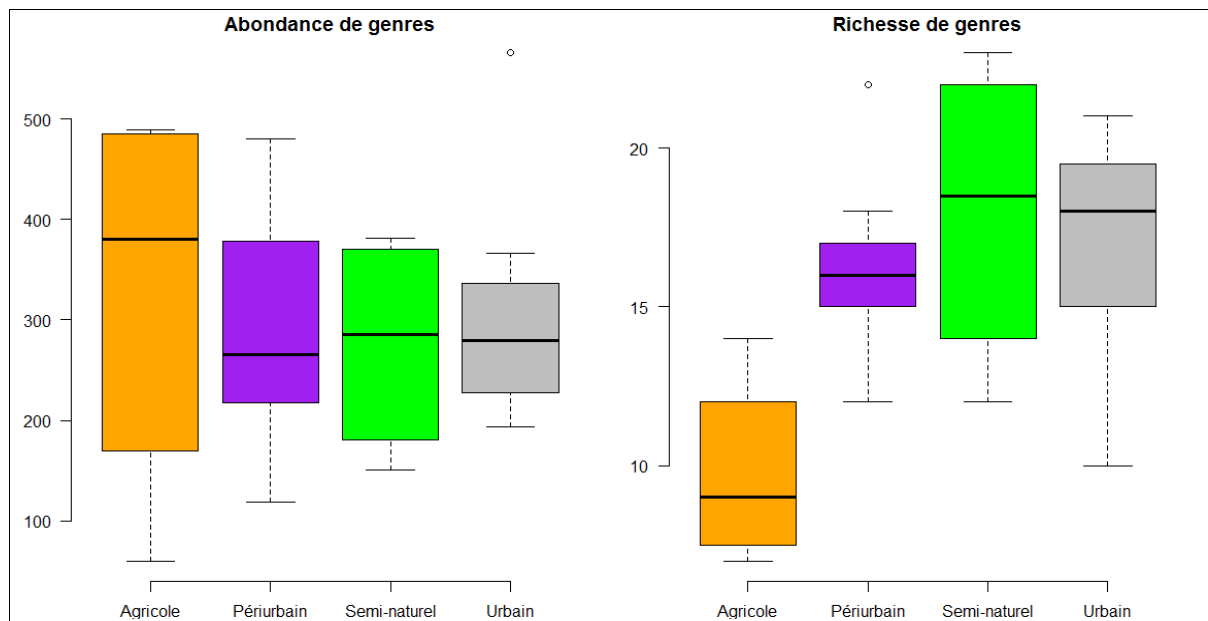
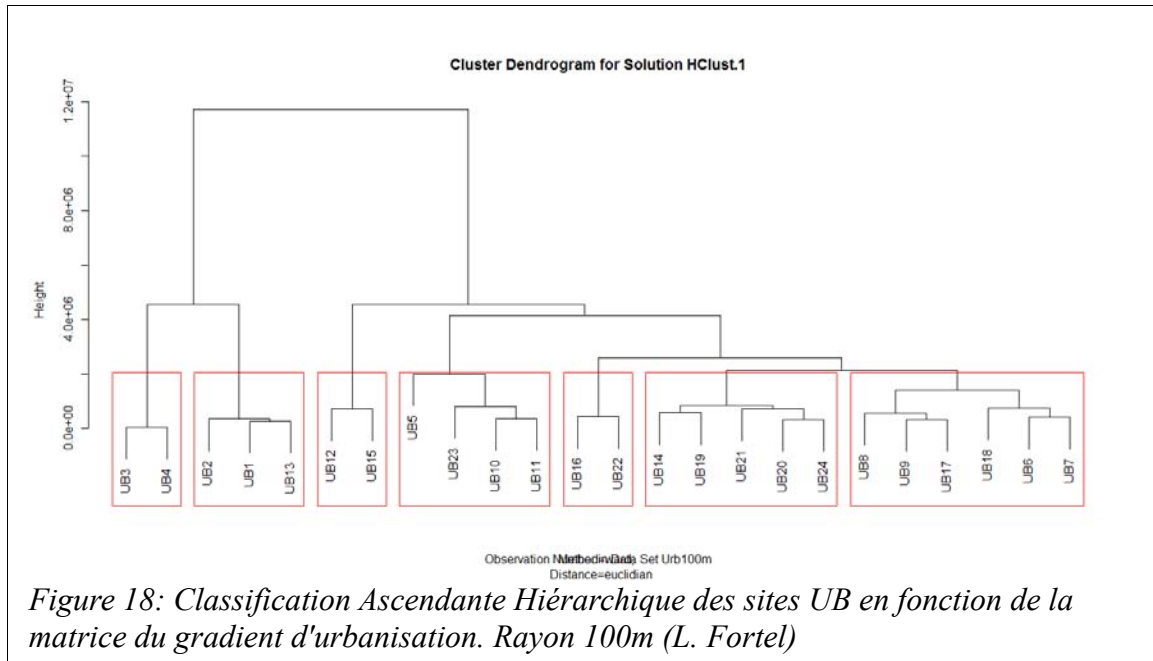
Au total 10950 abeilles ont été capturées dans les sites UB pendant les trois années de relevés. En 2010, 899 abeilles ont été capturées entre le mois de juin et le mois de septembre. En 2011, 7297 abeilles ont été capturées pendant les huit mois de relevés. En 2012, 2781 abeilles ont été capturées au cours de trois premiers mois des relevés. La distribution du nombre d'abeilles capturées pendant ces trois années présente deux pics importants. Le premier est enregistré au mois de mars, puis une diminution des individus au mois d'avril est observée. Les captures ont augmenté au mois de mai jusqu'au mois de juin (deuxième pic de capture d'abeilles plus important). A partir du mois d'août l'abondance d'abeilles diminue jusqu'au mois d'octobre qui présente un taux de capture minimal (Figure 16). L'abondance d'abeilles capturées n'est pas la même pendant les deux dernières années de relevés. Le mois de mars est un exemple, en 2011: 1746 individus ont été capturés contre 1113 en 2012. Cette tendance change au mois d'avril: 592 abeilles capturées en 2011 contre 1017 en 2012.

##### 3.1.2 *Abondance d'abeilles selon le contexte paysagère et la méthode de capture*

Concernant l'abondance d'abeilles capturées selon le type de milieu ou le contexte du paysage (Figure 17), on remarque que les sites appelés «Périurbains» et «Urbains» ont enregistré le nombre le plus important de captures avec la méthode de capture active - le filet entomologique- (respectivement 1212 et 1104,5 individus). Dans les sites «Semi-naturels» et «Agricoles» l'abondance d'abeilles capturées a été plus importante avec la méthode de capture passive des coupelles colorées (respectivement 1400 et 1277 individus).

##### 3.1.3 *Description du gradient d'urbanisation des sites UB*

Grâce au logiciel ArcMap, le gradient d'urbanisation a été quantifié. Une carte par site UB a été obtenue et chaque carte comporte chacune des variables environnementales utilisées pour estimer le gradient d'urbanisation. Deux matrices de la superficie en mètres carrés des variables d'urbanisation par site ont été obtenues. Une première matrice dans un rayon de 100m et la deuxième dans un rayon de 500m. Ces matrices nous ont permis de réaliser plusieurs analyses dont une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) des sites UB



*Figure 19: a) Abondance moyenne et b) Richesse moyenne des genres d'abeilles en fonction du contexte du paysage*

(Figure 18). Les CH nous ont facilité la visualisation et nous ont permis d'apercevoir les similitudes entre les sites. Le rassemblement des sites en groupes et sous-groupes nous permet une meilleure interprétation. Dans le rayon de 100m, plusieurs groupes ont été aperçus. Tout d'abord, le premier grand groupe divise les sites correspondants aux sites agricoles des autres. Les sites UB3 et UB4 (forte pression agricole) sont séparés de UB2, UB1 et UB13 (moyenne pression agricole). Le deuxième grand groupe réunit tous les autres sites correspondants au contexte du paysage: semi-naturel, périurbain et urbain. Un groupe est formé entre les sites UB12 et UB15 (les plus urbanisés). UB10 et UB11. Le groupe qui rassemble UB16 et UB22 correspond aux sites qui présentent d'importantes surfaces d'eau. Le groupe suivant réunit UB14, UB19, UB21, UB20 et UB24. Le dernier groupement abrite les sites UB8, UB9, UB17, UB18, UB6 et UB7 qui présentent une forte couverture végétale. Dans le rayon de 500m le groupement des sites n'est pas le même que dans celui du rayon de 100m (Annexe 1.2.b). Un groupement final de 5 groupes a été réalisé. Le premier groupe correspond aux sites agricoles, le deuxième correspond aux grands parcs (UB20: Meyzieu, UB21: Ste-Foy-lès-Lyon, UB8: Parc de Chambovet et UB9: Parc du Château à St-Priest). Un troisième groupe rassemble les sites UB17: IUFM, UB14: Cressonnière, UB12: Bon Pasteur et UB15: Léon Chomel (très urbains). Le quatrième groupe rassemble les sites UB18: Moulin d'Yzeron, UB23: Collonges au Mont d'Or, UB6: Crépieux, UB5: Balan et UB7: La Forestière, qui présentent une forte couverture végétale. Le dernier groupe abrite deux classes: UB16 Parc de Gerland, UB11: Parc Tête d'Or, UB22: Grigny, ce sont les sites qui présentent d'importantes surfaces d'eau.

Ces analyses nous ont permis de mettre en évidence la similitude et les différences entre sites basé sur les variables environnementales employées pour estimer l'urbanisation. Ceci nous permet de connaître quels sont les sites les plus proches les uns des autres et de vérifier s'ils appartiennent bien au contexte du paysage auquel ils ont été attribués. Nous allons maintenant trouver le lien qui existe entre la diversité d'abeilles sauvages (richesse spécifique) et le gradient d'urbanisation des sites UB.

### **3.2      *Analyse multivariée du tableau des données des genres d'abeilles***

Cette analyse est une première approche qui nous permettra de connaître la diversité de genres des abeilles présentes dans des sites qui suivent un gradient d'urbanisation. Elle a pour objectif de trouver une tendance de la distribution des genres d'abeilles et le lien, s'il existe, avec un gradient d'urbanisation. L'analyse comporte le tableau de données des abeilles qui ont

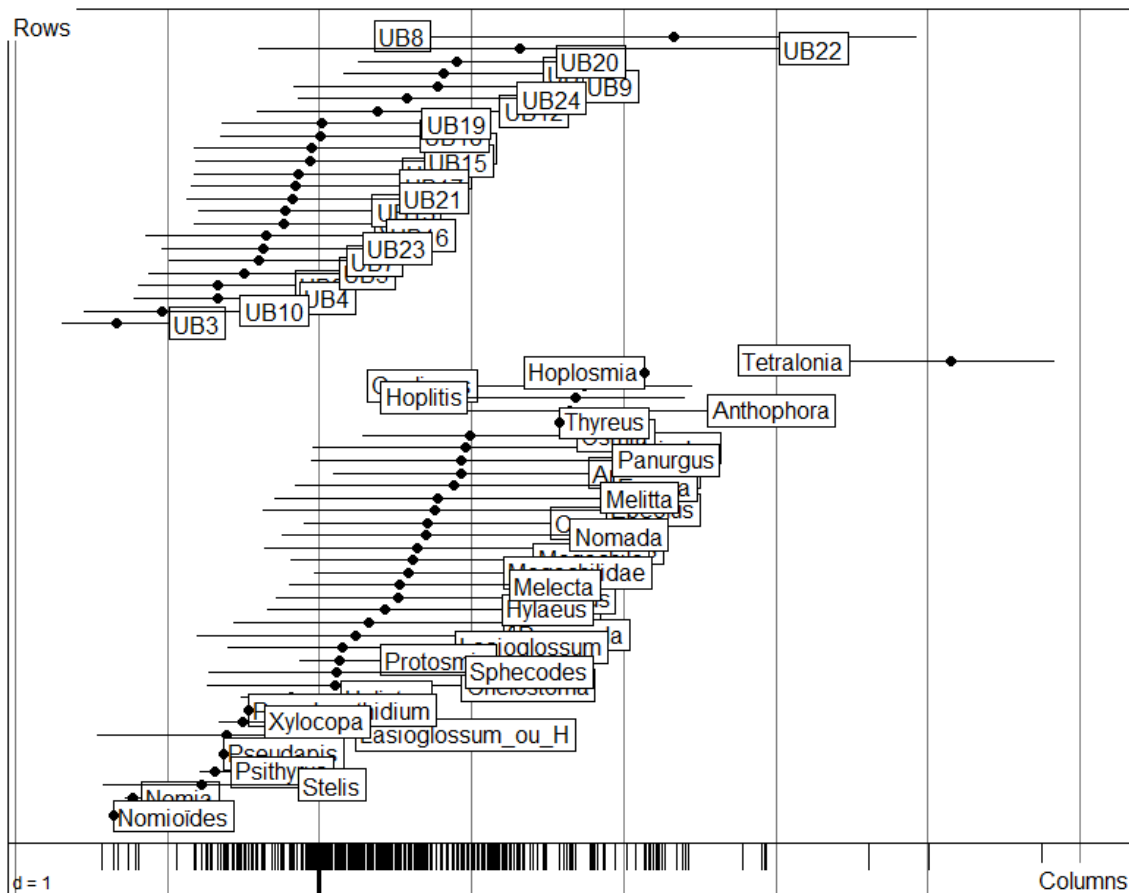


Figure 20: Distribution des genres à la moyenne des coordonnées des sites sur le premier axe d'une AFC (assortie d'un écart-type).

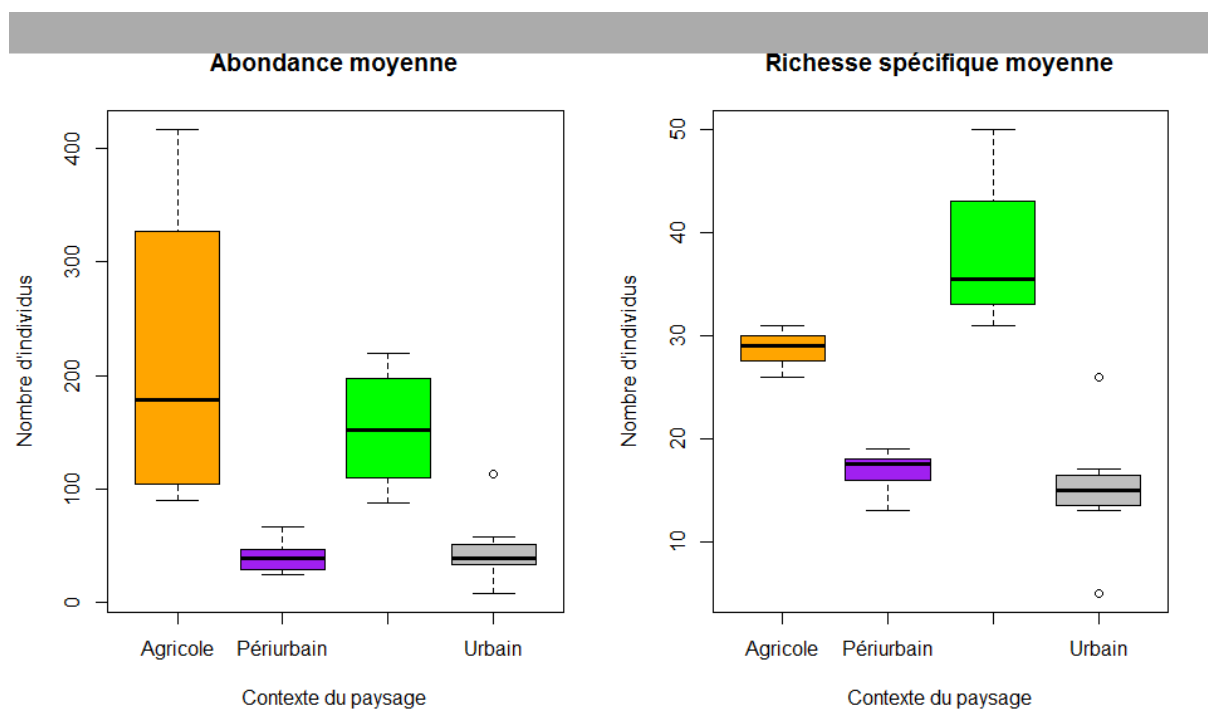
été déterminées jusqu'au genre dans chacun des sites UB. Il s'agit d'une étape de sélection des abeilles préalable à l'envoi des individus aux spécialistes, afin qu'ils les identifient jusqu'à l'espèce. Du total d'abeilles capturées pendant les trois années, 7182 spécimens ont été déterminés jusqu'au genre.

### 3.2.1 *Description générale du tableau des données des genres d'abeilles en fonction des sites UB et du contexte du paysage*

Au total 38 genres différents d'abeilles ont été trouvés dans les 24 sites UB. En observant la richesse au niveau du genre dans les 24 sites, on remarque que la richesse du genre la plus faible se trouve dans le site UB3 avec 7 genres différents et la maximale dans le site UB6 avec 23 genres différents. En général, on peut trouver en moyenne 15,70 genres d'abeilles différents par site. La diversité de genres en moyenne et en fonction du contexte du paysage (Figure 19b) nous montre que se sont les sites semi-naturels qui présentent le plus de genres (18 en moyenne). Les sites urbains présentent en moyenne 17 genres et, non loin, on trouve 16,25 genres dans sites périurbains. Les sites agricoles sont ceux qui présentent la richesse de genres d'abeilles la plus faible (9,75 genres en moyenne). La variance de cette richesse des genres est la plus forte dans les sites semi-naturels et la plus faible dans les sites périurbains. Concernant l'abondance de genres, on remarque que c'est dans les sites agricoles où l'abondance d'abeilles capturées a été la plus importante, mais aussi, celle qui présente la variance la plus forte (Figure 19a). Une analyse de comparaison de moyennes (Annexe 1.3.c) montre qu'il n'existe pas de différence significative entre l'abondance moyenne de genres des abeilles en fonction du contexte du paysage. En revanche, il existe une différence significative de la richesse moyenne des genres en fonction du contexte du paysage (p-value 0,011). Cependant, le même test est réalisé cette fois-ci sans les sites agricoles, et, ils montrent qu'il n'existe pas de différence significative de la richesse moyenne des genres en fonction du contexte du paysage (p-value 0,7335). En effet, en observant le tableau général de la distribution des genres en fonction de l'abondance absolue des sites (Annexe 1.3.a), il est délicat d'établir une tendance puisqu'elle ne semble pas varier d'un site à un autre. En revanche, il semble apparaître que certains sites sont plus diversifiés en genre d'abeilles que d'autres. On remarque aussi que ce sont *Lasioglossum* ou *Halictus* les genres qui prédominent dans presque tous les sites.

### 3.2.2 *Description de l'Analyse Factorielle des Correspondances*

La corrélation canonique qui existe entre la position des genres en fonction du site de relevé



Figures 21: a) Abondance et b) Richesse spécifique moyenne d'abeilles en fonction du contexte du paysage

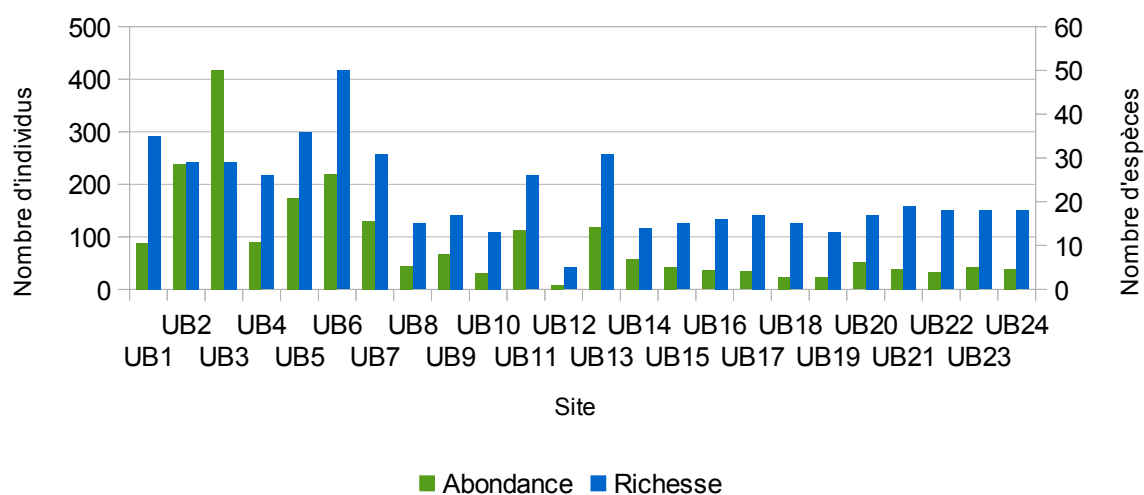


Figure 22: Abondance et richesse spécifique en fonction du site UB



importante avec est de 36,61%. Les deux premiers axes pris en compte de l'AFC expliquent 39,57% de l'inertietotale du tableau de données faunistiques, et le premier axe explique 22,47% de la variance totale. Seuls les deux premiers axes ont été pris en compte pour les analyses.

Une représentation de la position des genres à la moyenne (points noirs) et de leur distribution dans les sites UB, assortis d'une amplitude distribution (écart-type) est possible grâce à la fonction score de l'AFC (Figure 20). On peut alors associer les valeurs des coordonnées factorielles des sites UB (en haut du graphique) et des espèces (en bas du graphique). Les genres qui présentent des valeurs des coordonnées positives sont *Tetralonia*, *Hoplosmia*, *Anthophora*, *Hoplitis* et *Thyreus*. De même, ces genres sont corrélés avec les sites UB22, UB8, UB20, UB9 et UB24. En revanche, *Xylocopa*, *Pseudapis*, *Stelis*, *Nomia* et *Nomioides* présentent des valeurs négatives des coordonnées factorielles. Ces genres sont corrélés avec les sites UB4, UB10, UB3.

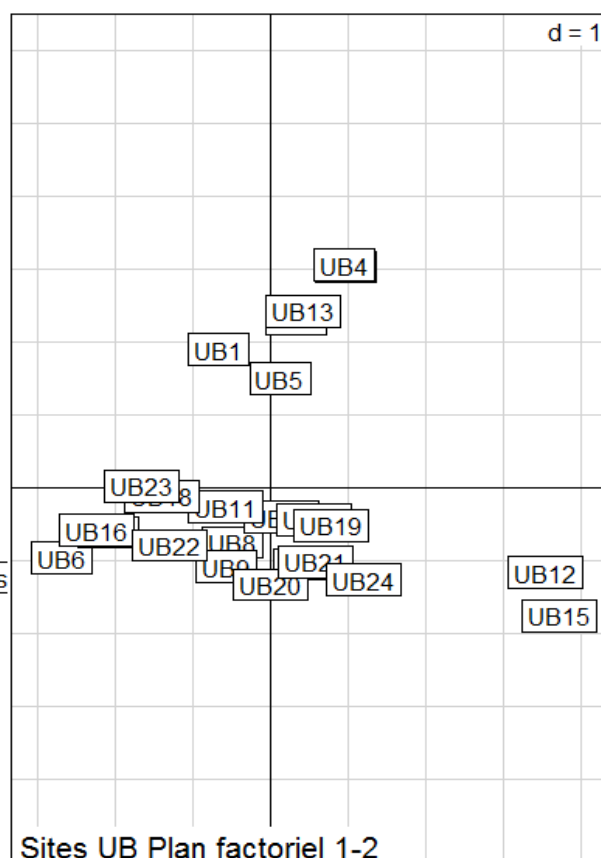
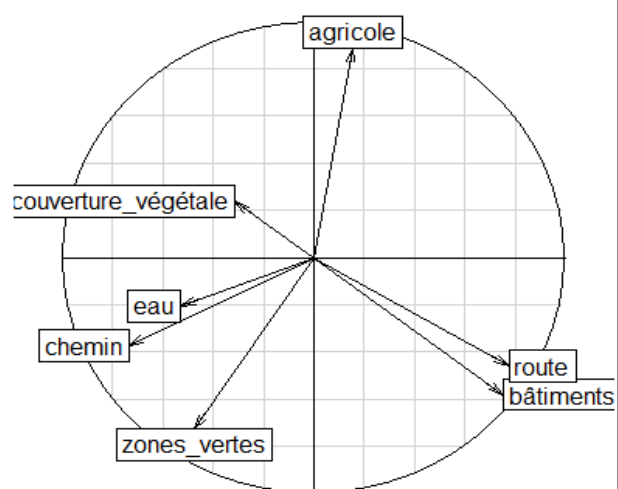
Ces observations ne sont pas pertinentes, car le nombre d'espèces d'abeilles par genre varie fortement. De plus, la distribution des genres et des sites UB ne suit aucun pattern de gradient d'urbanisation. Les sites ne sont regroupés ni par contexte du paysage ni comme sur la Classification Ascendante Hiérarchique. C'est pourquoi, des analyses plus judicieuses et plus approfondies doivent être réalisées directement sur les tableaux de données des espèces d'abeilles plutôt que sur leurs genres. Cette analyse n'est pas concluante mais elle nous donne un aperçu des genres d'abeilles qui peuvent être trouvées dans ces sites.

### **3.3 Analyses multivariées des tableaux des données des espèces d'abeilles et des sites UB**

Les analyses présentes dans le rapport étudient uniquement les spécimens identifiés jusqu'à l'espèce et où le nombre d'individus identifiés est supérieur à 1. En 2011, parmi les 7297 abeilles capturées seulement 2164 ont été identifiées jusqu'à l'espèce dans les vingt-quatre sites UB. Au total 110 espèces différentes d'abeilles ont été identifiées.

#### **3.3.1 Richesse spécifique moyenne des abeilles selon le contexte du paysage**

D'une manière générale, la richesse spécifique la plus importante a été enregistrée dans le UB6 avec 49 espèces différentes; la richesse spécifique la plus faible a été observée dans le site UB12 avec 5 espèces seulement. En moyenne, on retrouve près de 22 espèces par site (21,8). En observant la richesse spécifique moyenne en fonction du contexte du paysage



Cercle de corrélation Plan factoriel 1-2

Figure 23: Résultats de l'ACP des données décrivant le gradient d'urbanisation. a) Cercle de corrélation des variables et b)

(Figure 21b), on remarque que se sont les sites semi-naturels qui en présentent la plus en moyenne 38 espèces; puis, les sites agricoles avec en moyenne 28 espèces. Les sites péri-urbains et urbains présentent une faible richesse spécifique (respectivement 16.87 et 15.12 en moyenne).

Les moyennes ont été testées par un test student et un test de Fisher à travers un modèle linéaire et une analyse de décomposition des variances et ont permis de démontrer qu'il existe une différence significative de la richesse spécifique moyenne en fonction du contexte du paysage ( $p$ -value  $5.529e-07$ ). De plus, si l'on observe les variances des type de milieu, on remarque que les sites semi-naturels et périurbains présentent les variances les plus élevées (respectivement 68,66 et 32,98 voir Annexe 1.3.b). Abondance moyenne d'abeilles selon le contexte du paysage Concernant l'abondance moyenne en fonction du contexte du paysage (Figure 21a), on observe que les sites agricoles sont ceux qui présentent l'abondance moyenne la plus forte. Ils enregistrent en moyenne 216 individus, suivis des sites semi-naturels avec 153 individus. Les sites urbains et péri-urbains enregistrent de faibles abondances moyennes (respectivement 46 et 39 individus). Cependant, les sites agricoles sont ceux qui présentent la variance la plus élevée et les sites péri-urbains la plus faible (voir Annexe 1.3.b). La Figure 22 nous permet de remarquer que le site UB3 enregistre une forte abondance d'individus capturés et une richesse spécifique moyenne (29espèces). Au contraire, le site UB6 présente une abondance de 200 individus et la richesse spécifique la plus élevée (49 espèces). UB12 est un cas à part particulier, car il présente une faible abondance et une faible richesse spécifique (4 espèces).

### **3.4      *Analyse en Composantes Principales sur le tableau des données d'urbanisation des sites UB (Rayon 100m)***

#### **3.4.1.1      *Description générale de l'inertie du tableau des données***

L'ACP nous permet d'étudier les profils des sites uniquement en fonction des variables d'urbanisation (catégories du paysage). Les variables actives ne seront donc que celles qui concernent les catégories dans lesquelles le paysage urbain est composé. Les trois premières composantes représentent 80,66% de l'inertie totale. L'inertie correspond à la variance totale du tableau des données. Le premier axe représente 33,26% de l'inertie totale, le second axe représente 29,91% de l'inertie et le troisième 17,47%. En résumé, notre tableau de données présente une variabilité qui peut être bien expliquée par les trois premiers axes de notre ACP.

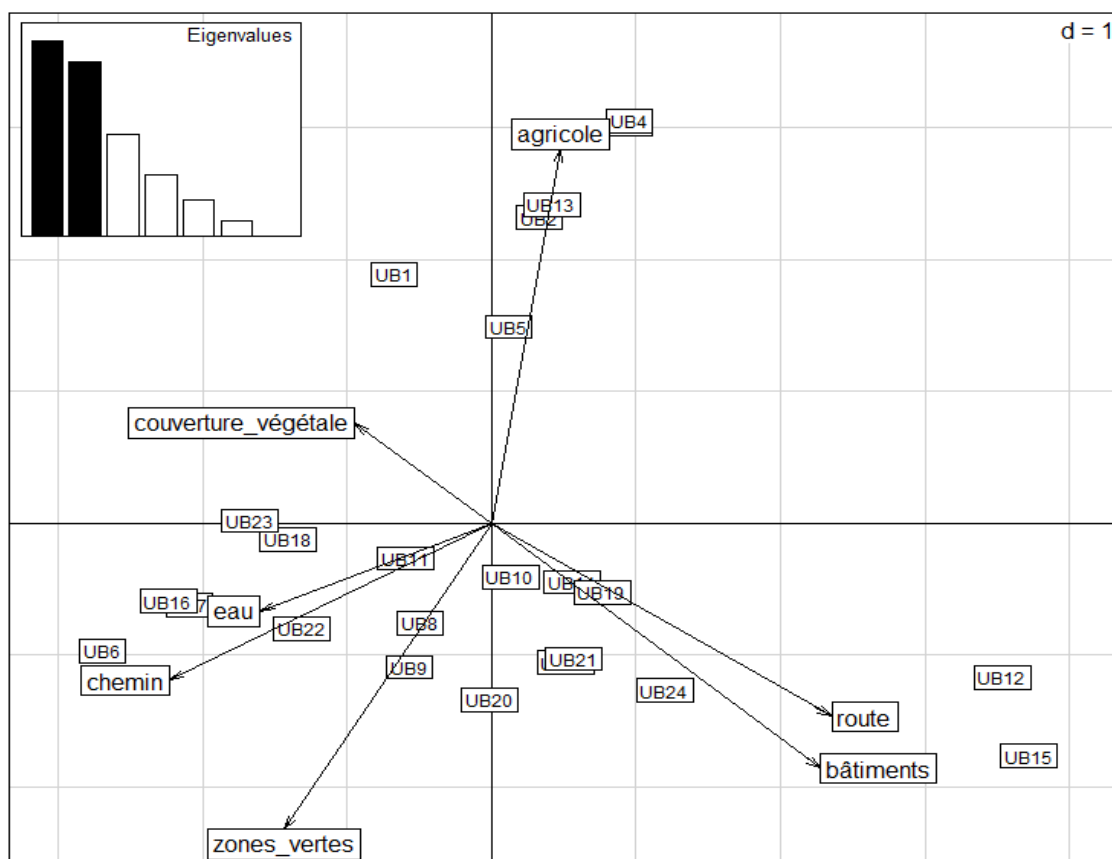


Figure 24 : ACP simultanée des sites UB et des variables d'urbanisation (Plan factoriel 1-2, rayon 100m).

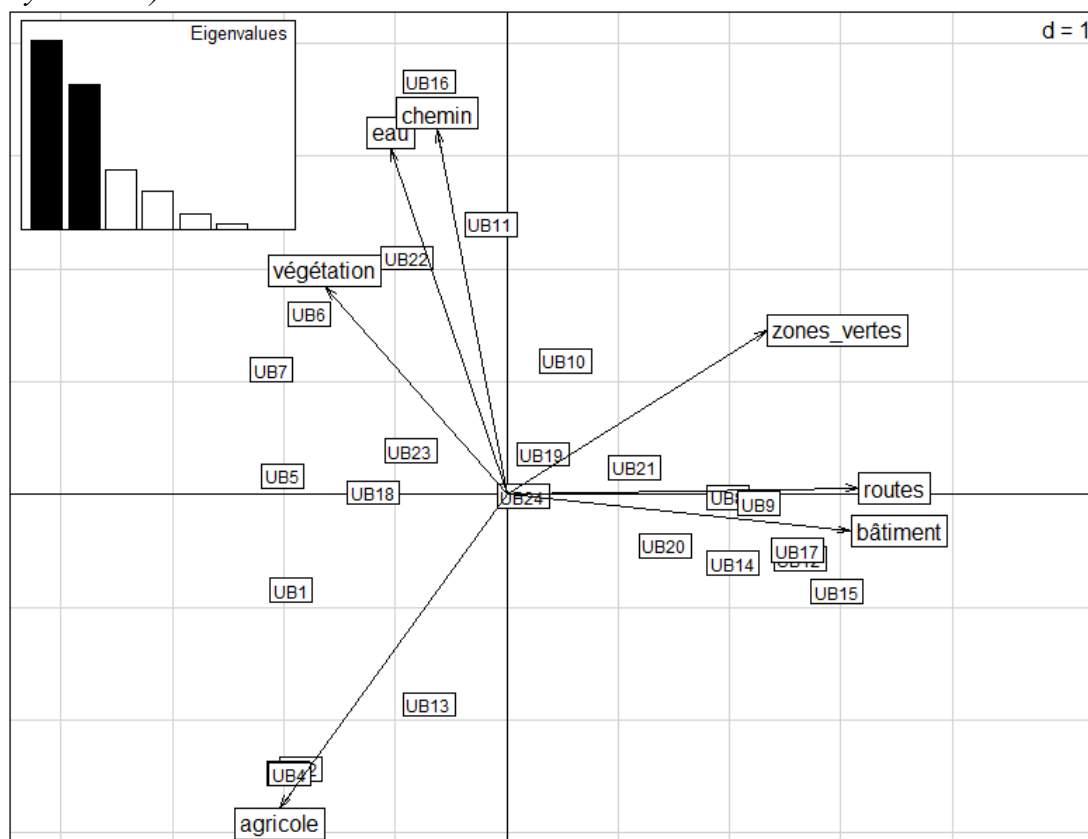


Figure 25 : ACP simultanée des sites UB et des variables d'urbanisation (Plan factoriel 1-2, rayon 500m).

#### *3.4.1.2 Interprétation du graphique des composantes décrivant les variables d'urbanisation*

Le cercle de corrélation des composantes 1-2 (Figure 23a) a montré que les variables routes et bâtiments sont corrélées entre elles et expliquées par la première composante (respectivement 0.74963 et 0.77558). Ces deux dernières variables sont négativement corrélées à la variable couverture végétale, qui est expliquée par la troisième composante (0.8893609). La deuxième composante, quant à elle, explique la variable des zones agricoles (0.886163) qui est inversement corrélée aux zones vertes, aux chemins et à la couverture de l'eau. En regardant le cercle de corrélation des composantes 1-3, on remarque que la couverture végétale est inversement corrélée aux zones agricoles.

L'analyse des variables les plus contributives à l'axe 1 (Annexe 1.2.c) montrent que les valeurs positives sur cet axe de l'ACP correspondent aux sites les plus urbanisés. Ce sont les sites qui présentent une forte couverture de bâtiments et de routes. Les valeurs négatives correspondent aux sites avec une forte couverture végétale.

#### *3.4.1.3 Interprétation du graphique de représentation des composantes décrivant les sites UB (Axe factoriel 1-2)*

La projection des sites UB sur les axes factoriels 1-2 (Figure 23b) décrit la variabilité maximale entre les sites et permet d'identifier leurs ressemblances (sites proches) ou leurs différences (sites éloignés). Dans une première approche, le nuage de points correspondant aux sites est bien reparti tout le long de deux axes. Dans le premier axe, on peut distinguer trois groupes: les sites UB12 et UB15 à l'extrême droite, qui sont négativement corrélés aux sites UB6, UB16, UB7, UB18, UB23 et UB22. Dans le deuxième axe, on observe un groupe des sites (UB4, UB3, UB13, UB1 et UB5) corrélés à tous les autres sites restants.

#### *3.4.1.4 Interprétation du graphique de représentation des composantes décrivant les variables d'urbanisation et les sites UB (Axe factoriel 1-2)*

La projection des sites UB et des variables (Figure 24) permet de visualiser la corrélation entre les sites et les variables d'urbanisation. A première vue, les sites se regroupent selon un gradient d'urbanisation. La première composante représente la corrélation des sites UB12 et UB15 à l'extrême droite qui sont corrélés aux variables couverture de bâtiments et surface des routes. En effet, ce sont les sites les plus urbanisés. Ils sont inversement corrélés à la variable couverture végétale. A l'extrême gauche du premier axe, on remarque que les sites UB6, UB7,

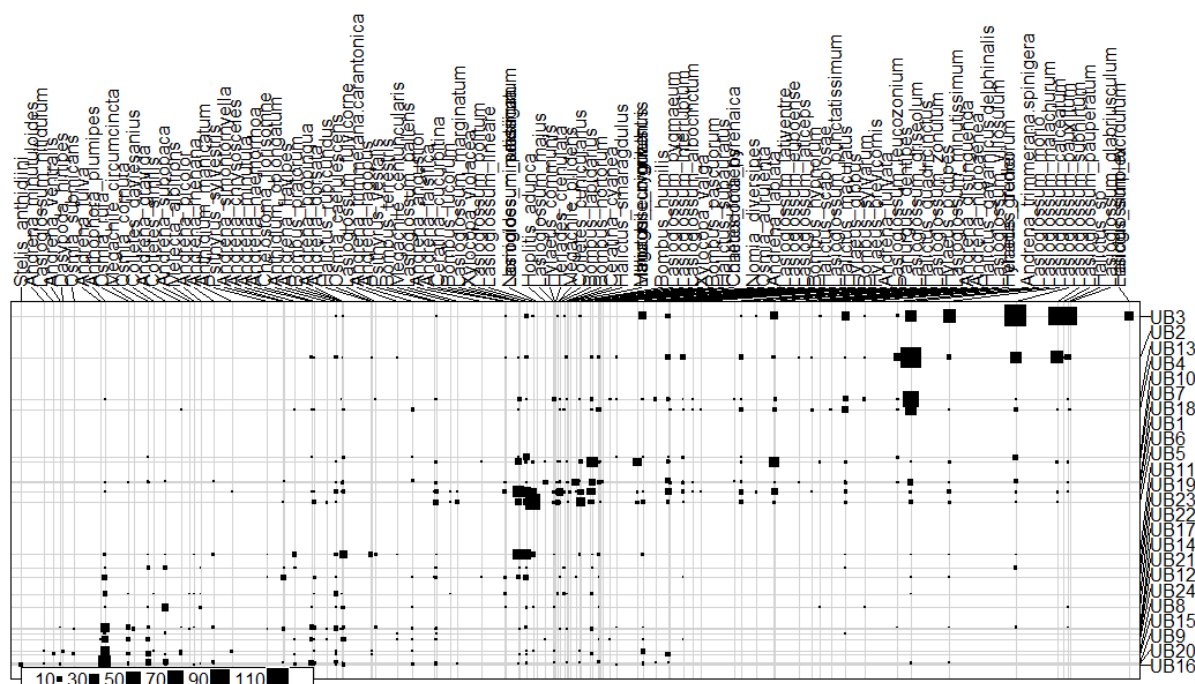


Figure 26 : Réorganisation du tableau faunistique initial sur l'axe 1 de l'AFC pour visualiser l'agencement espèce-site de relevé.

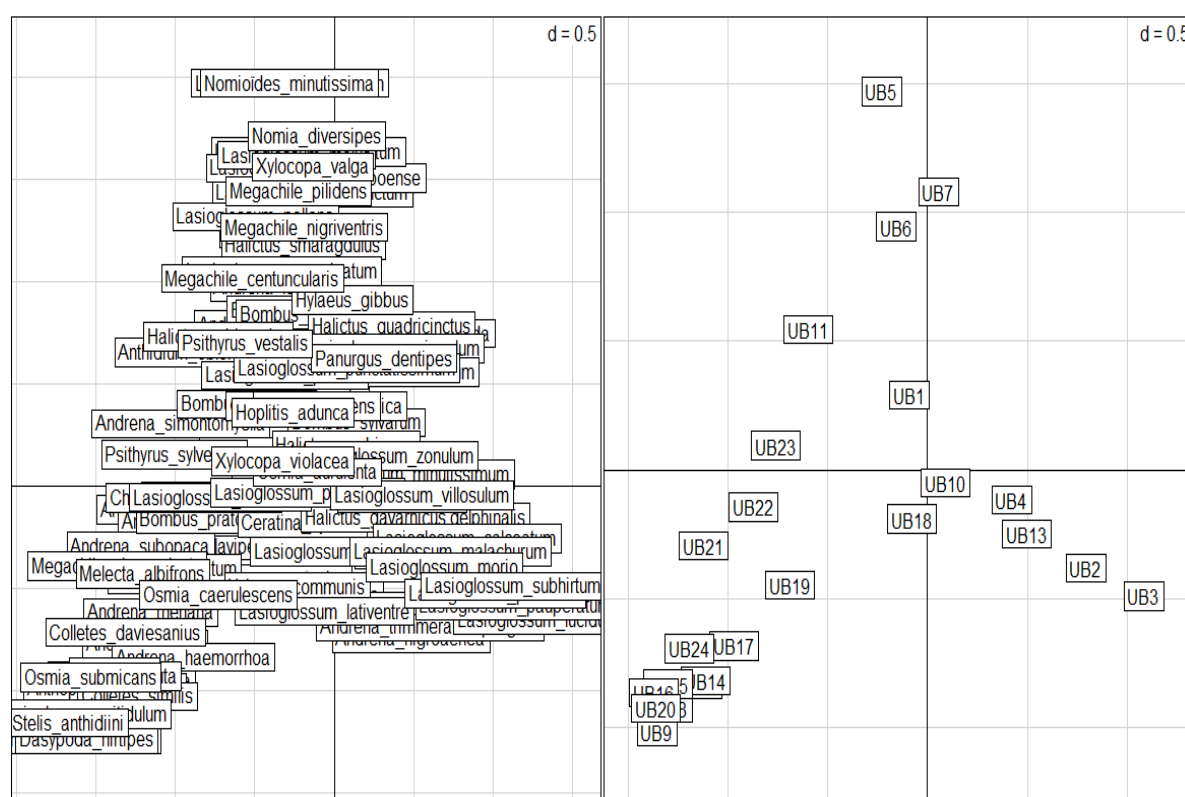


Figure 27 : Représentation de a) les espèces d'abeilles et b) les sites UB dans les plans factoriels 1-2 de l'AFC.

UB16 et UB22 sont regroupés et sont ceux présentant une forte couverture de la surface d'eau et des chemins. La deuxième composante regroupe les sites UB2, UB3, UB4 et UB13 qui sont corrélés avec les surfaces agricoles. En ce qui concerne les sites UB1 et UB5, ils sont situés au milieu, entre les variables surface agricole et couverture végétale. En effet, ce sont des sites qui sont caractérisés par d'importantes surfaces agricoles et surfaces de végétation naturelle.

### *3.4.2 Analyse en Composantes Principales sur le tableau des données d'urbanisation des sites UB (Rayon 500m)*

Les deux premières composantes expliquent 73,39% de l'inertie totale du tableau de données, seule la première explique 41,63% de cette variabilité. Les variables bâtiments et routes sont bien expliquées par la première composante (respectivement 0.9147803 et 0.9351934). Les variables chemin et surface d'eau sont bien expliquées par la deuxième composante (respectivement 0.79268246 et 0.83784842). En observant la représentation des composantes décrivant les variables d'urbanisation et les sites dans l'axe factoriel 1-2 (Figure 25), nous observons une similitude avec l'ACP dans le rayon de 100m. Les sites sont répartis et corrélés avec les variables suivant un gradient d'urbanisation. Le nuage de point réparti les sites tout au long de deux axes factoriels. Les sites UB 9, UB14, UB17, UB12 et UB15 sont corrélés entre eux et corrélés à la surface des bâtiments et des routes. Le deuxième axe, montre bien que les sites UB16, UB11 et UB22 corrélés entre eux sont liés aux variables surface en eau et chemins. Les variables surface agricole, couverture végétale et zones vertes ne sont pas expliquées par les deux premiers axes. Cependant on observe que les sites UB13, UB4 et UB2 sont corrélés aux surfaces agricoles. Les sites UB6 et UB7 sont corrélés à la couverture végétale et les sites UB1, UB5 et UB18 se distribuent entre ces deux dernières variables. Ces analyses nous permettent d'observer la proximité et, par conséquent, la corrélation entre les sites UB et les variables environnementales qui décrivent l'urbanisation. Cependant, elles ne nous permettent pas de vérifier le lien avec la composition faunistique d'abeilles sauvages, ni d'établir un lien entre les deux tableaux.

### *3.4.3 Analyse Factorielle des Correspondances sur le tableau faunistique de espèces d'abeilles*

#### *3.4.3.1 Description générale du tableau de données*

Le tableau de données faunistique peut être représenté en traçant un histogramme qui montre la distribution des 110 espèces d'abeilles dans chacun des 24 sites UB (Annexe 1.4.a). On observe, que les abeilles ne sont pas distribuées de manière homogène dans tous les sites.

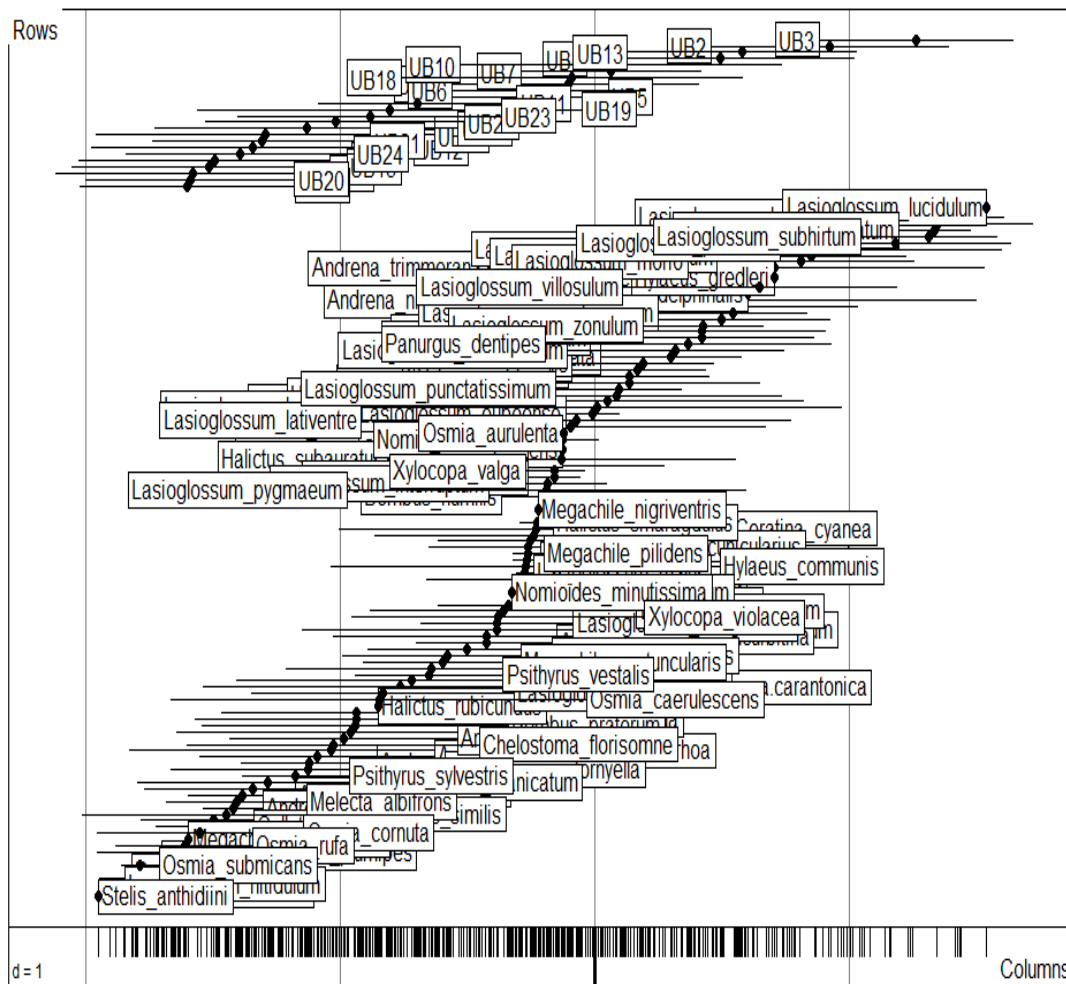


Figure 28: Distribution de chaque espèce a la moyenne des coordonnées des sites sur le premier axe d'une AFC (assortie d'un écart-type).



Certaines espèces sont présentes avec une fréquence plus forte ou plus faible selon le site. Par conséquent, nous avons testé l'hypothèse d'une distribution aléatoire des abeilles dans les sites UB. En effet, il n'existe pas d'indépendance entre les espèces et les relevés (p-value 0.004998). Les abeilles se distribuent selon un gradient et c'est avec l'Analyse Factorielle des Correspondances que nous allons le découvrir.

#### 3.4.3.2 Description générale de l'AFC

L'AFC fournit la meilleure ordination réciproque (axe1) des espèces et des sites afin de maximiser la corrélation entre l'ordination des unes et des autres. La racine carrée de la première valeur propre nous indique la valeur de la corrélation canonique. Il existe une corrélation canonique de 81,96% entre la position des espèces et le site de relevés UB. Les trois premiers axes de l'AFC expliquent 36,88% de l'inertie totale du tableau de données faunistiques, et le premier axe explique seulement 15,41% de la variance totale.

La fonction `table.value` permet d'organiser les sites en fonction des communautés d'abeilles (Figure 26). On remarque que certaines espèces sont absentes ou présentes selon le site. Par exemple, les sites UB3, UB2, UB13 et UB14 (en haut de la figure) présentent une communauté d'abeilles proche à ces sites. La composition d'abeilles dans les sites UB12, UB14, UB8, UB15, UB9, UB20 et UB16 (en bas du graphique) est proche entre ces sites et éloignée des sites précédemment énoncés. Certains sites présentent presque la même composition d'abeilles UB18, UB1, UB6 et UB5. Cependant cette figure reste un peu complexe à interpréter. Une représentation de la position des espèces et des sites à la moyenne (points noirs) et de leur distribution dans les sites UB, assortie d'une amplitude distribution (écart-type) est possible grâce à la fonction `score` de l'AFC (Figure 28). On peut alors associer les valeurs des coordonnées factorielles des sites UB (en haut du graphique) et des espèces (en bas du graphique). C'est alors, qu'on observe que certaines espèces d'abeilles ne sont présentes que dans certains sites. Par exemple, des abeilles telles que *Lasioglossum lucidulum* et *Lasioglossum subhirtum* présentent une valeur positive de coordonnées factorielles et sont présentes dans les sites UB3, UB2, UB13, et UB4. Ces sites correspondent principalement aux zones agricoles. Par opposition à ces espèces, nous trouvons que *Stelis anthidiini* et *Osmia submicans* présentent des valeurs négatives des coordonnées factorielles et qui sont corrélées aux sites UB20, UB16, UB9 et UB24. Ces sites se trouvent principalement dans des grands parcs ou jardins publics.

La représentation des espèces et des sites dans les axes factoriels (Figure 27) distribue les sites



en forme de triangle, d'un côté les sites (UB UB3, UB2, UB13, UB14) qui correspondent aux zones agricoles, l'autre côté les sites semi-naturels et l'autre côté les sites très urbains. On observe par exemple que les espèces *Nomioides minutissima*, *Nomia diversipes* se trouvent uniquement dans le site UB5: Balan. Les espèces *Megachile pilidens*, *Megachile nigriventris* et *Megachile centuncularis* sont liées aux sites UB5, UB6 et UB7.

#### 3.4.4 Analyse de co-inertie

Avant de réaliser l'analyse de co-inertie nous avons effectué un test de corrélation de Pearson entre le premier axe de l'ACP du milieu d'urbanisation et le premier axe de l'AFC de la richesse des abeilles. Il existe une corrélation négative entre la distribution des abeilles et le gradient d'urbanisation. Cette corrélation est de 11, 21%. Cette valeur est un peu faible, et ne nous permet pas de conclure qu'il existe vraiment une corrélation entre la distribution des abeilles et le gradient d'urbanisation. C'est pourquoi, nous avons réalisé l'analyse de co-inertie avec les tableaux de l'AFC et de l'ACP.

L'analyse de co-inertie réalise le produit de deux matrices à coupler et fait un tableau croisé. Les deux tableaux correspondent à l'ACP du tableau du gradient d'urbanisation et l'AFC du tableau de données des espèces d'abeilles. Cette procédure correspond au plus simple des couplages qui produit une double analyse d'inertie coordonnée sur l'une des marges du tableau. L'analyse de co-inertie produit deux systèmes de coordonnées qui sont le plus covariants possible. Cette analyse nous permet d'établir le pattern entre la richesse spécifique des abeilles et les variables environnementales qui décrivent le gradient d'urbanisation. La corrélation obtenue par l'analyse de co-inertie est statistiquement significative (p-value 0.001). Les parts de variabilité de chacun des tableaux extraites par l'axe 1 de l'analyse de co-inertie, correspondent à 94,75% de la variabilité de la composante des abeilles et 89,98% de l'axe des composantes urbanisation. Le lien des deux tableaux sur l'axe 1 de la co-inertie est égal à 0,9467672. La valeur RV nous montre le degré de corrélation qui existe entre les deux tableaux. Dans notre cas, la corrélation est de 58,69% (RV: 0,5869667). Il existe donc une corrélation significative entre le deux tableaux qui peut être interprétée comme l'effet du gradient d'urbanisation sur la composition des abeilles.

On peut résumer cette information dans le graphique complet de la co-inertie (Figure 29). Il nous montre les projections des axes d'inertie de l'AFC des espèces d'abeilles et l'ACP du gradient d'urbanisation séparées sur les axes de co-inertie. Le premier cercle projette l'axe 1 de la co-inertie que correspond à la distribution des abeilles. Le deuxième cercle projette les



deux axes de la co-inertie du gradient d'urbanisation. On trouve aussi l'histogramme des valeurs propres prises en compte. La projection des sites, des variables d'urbanisation et des espèces d'abeilles sur le plan factoriel des deux premiers axes d'inertie. En ce qui concerne la projection des sites, on montre que le début de la flèche indique la position initiale par rapport au tableau d'origine et la fin de la flèche indique par rapport au tableau de co-inertie. Les flèches des sites UB13, UB4, UB3 et UB1 n'ont pas changé de position tandis que celles des sites UB12, UB15 et UB24 sont plus longues.

Concernant la richesse spécifique des abeilles, le lien avec le gradient d'urbanisation a pu être établi à l'aide d'une régression simple et on peut conclure que 18,22% de la variabilité de la richesse des abeilles est expliquée par l'axe 1 «gradient d'urbanisation». Un autre modèle de régression multiple (orthogonalité) montre que les différentes composantes du gradient d'urbanisation retenues jouent un rôle important dans la richesse spécifique des abeilles. C'est pourquoi il est nécessaire d'approfondir l'analyse sur les autres variables de l'urbanisation.

#### **4 DISCUSSION**

Les résultats obtenus dans ce mémoire et leurs interprétations représentent un aperçu des résultats de ceux qui seront obtenus à la fin des trois années d'étude. Les données de l'année 2010 ont servi à donner une indication de l'abondance temporelle d'abeilles, cependant, elles ne peuvent pas être exploitées car elles ont servi à mettre en place le protocole de relevés. De ce fait, l'année 2010 a été considérée comme une année de lancement du projet, pour le volet scientifique, et a permis de bien spécifier le protocole de relevés. Concernant les données de l'année 2011, les étapes de préparation des spécimens étant assez longues (montage, épinglage et étiquetage), tous les spécimens ne sont pas encore identifiés jusqu'à l'espèce. Par conséquent, mon étude traite particulièrement des spécimens identifiés jusqu'à l'espèce et plus généralement de leur genre. De plus, l'identification des centaines d'espèces d'abeilles collectées demande une expertise faite par des spécialistes au niveau européen (France, Belgique et Royaume-Uni) et prend donc beaucoup de temps. En dépit de ces inconvénients, en 2012, ce retard de préparation a été comblé et la quasi totalité des spécimens ont été envoyés aux spécialistes pour l'identification.

Cette discussion se concentre sur les données de l'année 2011 et traite plus particulièrement de leur diversité, de leur abondance, des méthodes de captures, de l'effet du gradient d'urbanisation sur leur diversité et des activités participatives visant à la conservation des abeilles sauvages.



#### **4.1      *Distribution temporelle des abeilles***

L'abondance temporelle des abeilles (Figure 16) représente le schéma normal de leur distribution dans les zones tempérées et celui-ci semble correspondre à la période de floraison des plantes (Fortel L., par communication personnelle de Kuhlmann M.). Le premier pic dans la distribution au cours du temps des abeilles, au mois de mars, représente l'émergence d'un grand nombre d'espèces. C'est le cas de *Osmia cornuta*, *Anthophora plumipes*, et certaines espèces de *Lasioglossum* sp., et de *Bombus* sp., qui ont été les premières espèces à être capturées pendant le premier mois de relevés. La diminution du nombre d'abeilles collectées au mois d'avril 2011 par rapport au mois d'avril 2012 peut être expliquée par les conditions météorologiques défavorables. En effet, le mois d'avril 2011 a été un mois particulièrement chaud et sec, avec une température 4°C d'écart supérieurs à la moyenne saisonnière. Au contraire, au mois d'avril 2012 a enregistré des températures autour de la moyenne saisonnière. Cette hausse de température en avril 2011 aurait engendré une diminution de ressources alimentaires (fleurs fanées), qui aurait entraîné une augmentation de la mortalité des abeilles, et par conséquent une diminution de capture d'abeilles. Cette diminution de capture d'abeilles au mois d'avril n'a pas été observée pendant l'année 2012, car ce mois-ci s'est caractérisé par un climat chaud, sec et ensoleillé mais pas aussi chaud que l'année précédente. Par conséquent, on ne peut pas exclure que les années de forte températures ont un impact sur la richesse, l'abondance et la mortalité des abeilles (Baum et Walles, 2011).

#### **4.2      *Abondance d'abeilles en fonction de la méthode de capture***

En ce qui concerne l'abondance d'abeilles selon la méthode de capture, les deux méthodes semblent être complémentaires. Dans les sites agricoles et semi-naturels la méthode qui a permis la capture du plus grand nombre d'abeilles est la méthode de capture passive (coupelles). En revanche, dans les sites urbains et périurbains, la méthode la plus efficace semble être la méthode de capture active. Nos résultats se rapprochent de ceux de Wesphal et al. (2008). Dans leur étude, ils ont démontré que la méthode la plus efficace pour la capture d'abeilles dans les sites semi-naturels et agricoles sont les coupelles colorées. Par ailleurs, une explication de la forte abondance dans les sites agricoles pendant le mois de mars et le mois de juin, semblerait être le manque de ressources en nourriture. En effet, les sites agricoles sont appauvris en nourriture, et, les abeilles, en quête de source de protéines (fleurs), auraient visité





les coupelles en croyant que c'était des fleurs. Il est à noter que pour certains genres, le type de sociabilité influence les forts effectifs de capture. C'est le cas, par exemple des genres *Lasioglossum* ou *Halictus*, et *Bombus*, dont la plupart sont des espèces subsociales. Elles se seraient regroupées en masse lorsqu'elles étaient présentes, ce qui expliquerait leurs forts effectifs dans les coupelles. Toute méthode de capture présente des avantages et des inconvénients (Cane et al., 2000). La méthode de capture passive des coupelles colorées facilite la capture des petites espèces d'abeilles qui sont souvent oubliées lors de transects. De plus, les coupelles représentent bien les modèles d'activité des abeilles diurnes. C'est une méthode peu coûteuse, fiable et simple, qui peut servir à attirer les pollinisateurs en l'absence de floraison. En fin, elles fournissent des données sur l'effort d'échantillonnage qui est facile à quantifier. Cependant, comme toute autre méthode elle présente des inconvénients: Elles ne fournissent aucune information sur les associations florales, et n'attirent pas que les abeilles. En effet, d'autres animaux attirés par les fleurs se noient accidentellement dans l'eau. La méthode des coupelles peut présenter un biais taxonomique (couleur-dépendant) et peut sous estimer les grandes abeilles qui peuvent s'échapper plus facilement (Campbell et Hanula, 2007; Wesphal et al., 2008, Nielsen et al., 2011).

En ce qui concerne l'efficacité de la méthode de capture avec le filet dans les sites urbains et périurbains; cette efficacité semblerait être expliquée par la répartition des ressources en nourriture. En effet, la plupart de plantes dans les parcs et jardins publics se trouvent agglomérées en patchs. La capture d'abeilles dans ces patchs avec le filet s'avère plus simple que lorsque les plantes à fleurs sont bien dispersées. De plus, il semblerait que la taille des abeilles et l'entraînement de capture représente un biais observateur inconscient. C'est le cas des *Bombus*, qui sont plus facilement repérables grâce à leur grande taille, et plus faciles à capturer grâce à leur lenteur au vol. De même, une attirance personnelle pour une espèce d'abeille de la part de l'observateur représenterait aussi un biais inconscient.

Les faibles effectifs au sein des autres genres et espèces ne permettent pas de tirer de conclusions. Dans certains cas, lorsqu'un seul individu d'une espèce a été prélevé, celui-ci n'a pas été pris en compte. Sa capture permet tout de même d'avoir un indice de présence/absence de l'espèce, mais sa faible abondance ne permet pas de prédire une tendance. On pourrait expliquer ses faibles effectifs de deux manières: (1) l'abeille se trouvait en quête de ressources par hasard dans ce site; (2) un biais de l'observateur, car certaines espèces ne sont pas faciles à capturer ou l'observateur n'avait jamais réalisé de relevés.



On peut conclure, les deux méthodes sont complémentaires, une permet de capturer plus de spécimens dans les sites agricoles et semi-naturels et l'autre dans les sites urbains et périurbains.

### **4.3      *Diversité d'abeilles***

Des 10 000 abeilles capturées pendant les 3 années de relevés, seuls 20% d'entre elles ont été identifiées jusqu'à l'espèce. Ce pourcentage montre qu'un échantillon représentant près de 10% des espèces abeilles présentes en France (sur 1000 espèces) et 27% des espèces abeilles présentes en Rhône-Alpes (estimation de 400 espèces) a été capturé. En comparant la richesse dans le Grand Lyon avec celle déjà trouvée à Berlin (Saure, 1996), on peut s'attendre qu'à la fin de l'étude la collection d'abeilles soit composée de plusieurs centaines d'espèces différentes. Saure (1996) a enregistré 262 espèces d'abeilles à Berlin sur un total de 315 espèces en Allemagne. La France, du fait de sa situation géographique dans les régions méditerranéennes compte parmi les pays ayant la plus grande diversité d'abeilles (Michener, 2007). Cette diversité a été plus importante dans les sites semi-naturels que dans les sites agricoles et elle serait expliquée par le grand nombre d'habitats possibles. En effet, les habitats semi-naturels ont tendance à être plus riches en plantes, en micro-habitats et en sites de nidification que les sites agricoles. Les sites agricoles offrent généralement une seule source alimentaire distribuée de manière homogène pendant une courte période de floraison (Wesphal et al., 2008). De plus l'hétérogénéité spatiale et temporelle des ressources et une plus grande surface de végétation peuvent expliquer aussi la richesse d'abeilles dans les sites semi-naturels. Par conséquent, on ne peut pas rejeter mon hypothèse que la diversité des abeilles est maximale dans les sites semi-naturels. En revanche, nous nous attendions qu'elle soit plus importante dans les sites périurbains.

Il faudrait préciser que la richesse spécifique correspond à la diversité alpha mesurée en nombre d'espèces différentes par site UB, que la diversité bêta correspond à la richesse moyenne mesurée dans les types de milieux (contexte du paysage) et que la diversité gamma correspond à toute la région Rhône-Alpes.

La richesse spécifique dans les sites agricoles est forte et peut être classée en deuxième position des sites UB. En revanche, si on regarde la richesse des genres dans les mêmes sites, nous observons que leur richesse est la plus faible. C'est ainsi que l'on trouve dans les sites agricoles UB2: 32 espèces, UB3: 21 espèces, UB4: 26 espèces et UB13: 36 espèces. Par



contre, la richesse de genre observée est la plus faible (UB2: 1 à genres, UB3: 7 genres, UB4: 8 genres et UB13: 14 genres). En conclusion, les sites agricoles présentent une richesse spécifique forte et une richesse de genres faible. En effet, il reste difficile de comparer la richesse des abeilles en utilisant uniquement les genres, car il existe des genres qui contiennent plusieurs centaines d'espèces et d'autres qui en contiennent très peu. C'est le cas d'*Andrena* spp. ou *Lasioglossum* spp. (respectivement près de 200 et 98 espèces différentes). En revanche, les genres de *Systophe* spp, *Nomiodes* spp. et *Xylocopa* spp. sont représentées par peu d'espèces en France (respectivement 2, 3 et 4 espèces différentes). En ce qui concerne les 38 genres que nous avons obtenus, ils sont représentatifs d'une diversité importante mais il est difficile d'en tirer une conclusion pertinente.

Une analyse des relations sociales entre abeilles devrait être prise en compte. C'est le cas des espèces parasites sociales et des espèces d'abeilles cleptoparasites. Dans le cas des espèces cleptoparasites, la femelle entre dans le nid de son hôte et pond un œuf dans une cellule, puis elle quitte le nid. Dans d'autres cas, le cleptoparasite éjecte l'hôte de son nid et s'y installe. La larve parasite se nourrit des denrées qui avaient été prévues pour la larve hôte. Ces abeilles sont souvent appelées « les abeilles-coucous » (Michener, 2007). Nos résultats montrent que cela serait le cas des espèces de *Stelis* sp. qui est un genre d'espèce cleptoparasite trouvé dans les sites UB20, UB9, UB16 et UB14 (les même que pour les espèces d'*Osmia* voir Figure 13 partie inférieure).

#### **4.4      *Gradient d'urbanisation***

L'estimation du gradient d'urbanisation s'est avérée un peu complexe. En cause, le temps d'obtention des cartes du Grand Lyon récupérées par l'INRA et leur superposition. De plus, les matrices d'urbanisation à 100m et 500m ont du être ajustées car certaines couches étaient superposées et la même surface était mesurée deux fois. De plus, dans d'autres cas, le manque d'attribution de contexte d'urbanisation (espaces en blanc) à une couche a été ajouté manuellement à partir des cartes aériennes. Par ailleurs, il n'est pas simple de décrire la diversité et la composition floristique d'un milieu comme une couche de végétation. Des études floristiques ont été réalisées en même temps que les relevés faunistiques, mais leurs résultats ne font pas partie de ce rapport.

Concernant les analyses réalisées pour estimer le gradient d'urbanisation et leur effet sur la diversité d'abeilles (ACP, AFC et Analyse de co-inertie), elles ont facilité l'interprétation d'un



grand nombre de données. Nos analyses montrent qu'il existe une corrélation entre la diversité d'abeilles (richesse spécifique) et le gradient d'urbanisation. Cependant le gradient d'urbanisation ne peut pas être tracé d'une manière linéaire (résultat de CAH). En effet, les graphiques de l'ACP des variables d'urbanisation nous montrent qu'il existe trois composantes qui interviennent dans le gradient d'urbanisation. Ces trois composantes forment en triangle du gradient d'urbanisation. En effet, les sites semi-naturels subissent deux fortes pressions anthropiques. D'un côté, l'urbanisation pour abriter une grande partie de la population humaine et, de l'autre, les sites agricoles pour assurer leur production alimentaire. En l'an 2025, 83% de la population mondiale qui, selon les prévisions, atteindra 8,5 milliards d'habitants, vivra dans les pays en développement et, par conséquent, dans les villes. Or, l'incertitude demeure quant à la capacité des ressources et des techniques disponibles pour satisfaire les besoins de cette population croissante en denrées alimentaires et autres produits agricoles. L'agriculture devra relever ces défis, principalement en augmentant la production sur les terres déjà exploitées et en évitant d'empiéter encore sur des terres qui ne sont que marginalement aptes à la culture. L'objectif essentiel d'un développement agricole et rural durable est d'assurer un accroissement soutenu de la production alimentaire et d'améliorer la sécurité alimentaire (Agenda 21, Chapitre 14).

En ce qui concerne la variable « urbanisation », il s'agit d'un paramètre qui explique bien la diversité des abeilles, mais il n'est pas le seul. La qualité, la diversité et la disponibilité des ressources en nourriture le sont aussi. Or, dans les sites semi-naturels la gestion anthropique (le fauchage et la plantation de plantes ornementales) est faible et la diversité de la végétation est forte. Dans les sites périurbains et urbains l'abondance et la diversité des plantes dépend de la gestion effectuée par les responsables des espaces verts et des propriétaires des jardins. Il en est de même pour les sites agricoles, puisque les plantes cultivées dépendent du choix du propriétaire de la parcelle. Par exemple, l'abondance et la qualité du pollen collecté par les abeilles ne sera pas la même entre une culture céréalière et une culture d'arbres fruitiers. C'est pourquoi, il serait important dans les prochaines analyses, de prendre en compte les types de cultures dans les zones agricoles proches des sites UB lors des périodes de relevés. Dans le cas où l'on souhaite prendre en considération l'information de la diversité des plantes, une étude du réseau plante-abeille (proposé l'année dernière par la stagiaire) serait une piste importante à considérer. En plus de ces analyses, une CAH entre le gradient d'urbanisation et la diversité d'abeilles pourrait être réalisé afin de trouver les espèces d'abeilles remarquables sur chaque type de milieu (proposition de la doctorante).





L'analyse de l'urbanisation dans un rayon de 500m nous permet d'avoir un aperçu des sites à une échelle d'urbanisation plus grande. Des différences du type de milieu de la part des sites seront alors confrontées. C'est le cas du site UB1, qui est considéré comme étant semi-naturel dans un rayon de 100m, alors que dans le rayon de 500m, il possède une grande partie de surface agricole. Ce point de vue est important en ce qui concerne la présence des abeilles dans un site. En effet, les abeilles peuvent se déplacer de plusieurs centaines de mètres et même de kilomètres à la recherche de ressources. Un site semi-naturel par exemple peut être considéré favorable pour une espèce d'abeille dans un rayon de 100m; mais en revanche il peut être défavorable à une plus grande échelle s'il est entouré d'autoroutes et de bâtiments. Des populations d'abeilles peuvent alors se trouver isolées et une mauvaise interprétation sur la gestion de leur conservation serait lancée.

#### **4.5      *Actions participatives visant à maintenir la diversité des abeilles***

Tout d'abord, il est important de remarquer l'effort des activités participatives réalisé par le programme URBANBEES. Le grand public reçoit d'une manière très positive, attentive et intéressée toutes les interventions réalisées par l'association Arthropologia. Le grand public est prêt à participer à son niveau et, pourra de cette manière, contribuer à la sauvegarde des abeilles sauvages. Cependant, ces actions peuvent sensibiliser un autre type de public: les agriculteurs. Or, le département du Rhône et de l'Ain présentent beaucoup plus de surfaces agricoles (125 000ha) que de surfaces urbaines (16 657ha) (Obtenues à partir des cartes SIG). En favorisant la présence d'abeilles, autres qu'*Apis mellifera*, on améliore la production des cultures agricoles et cela peut être une source de motivations pour les agriculteurs. Un comportement positif a été observé lors de périodes de relevés avec le filet, dans les sites agricoles. Plusieurs producteurs se rapprochaient pour nous demander des renseignements sur le programme afin d'obtenir des résultats sur la diversité des abeilles présentes dans leurs parcelles. Il semble pourtant que seuls les paysages soumis à une agriculture très intensive s'appauvrissent tandis que l'agriculture traditionnelle et les habitats qui y sont associés semblent, au contraire, favoriser la diversité. Cependant certaines pratiques d'aménagement ou d'entretien semblent toutefois extrêmement nuisibles partout: la fauche précoce des bords de route, le débroussaillage physique ou chimique de vastes surfaces, l'utilisation d'herbicides et d'insecticides hors des terres de culture. Il conviendrait de réduire ces pratiques au minimum utile (Rasmont, 1995). Pourtant, ces actions de démarches participatives auprès des agriculteurs agiraient dans le même sens que les objectifs du Chapitre 14 de l'Agenda 21:



Promouvoir un développement agricole et rural durable. Finalement, à partir de toutes ces analyses réalisées et celles qu'il faudrait faire, je propose d'effectuer un état des lieux de la richesse et de l'abondance d'abeilles sauvages dans le Grand Lyon. Cet état des lieux serait permettrait d'établir une liste exhaustive de toutes les espèces d'abeilles capturées. De plus, cette liste devrait comporter des informations supplémentaires concernant la biologie propre de l'espèce. Par exemple, le type d'interaction entre espèces, le mode d'organisation social, le type d'alimentation (polylectique ou oligolectiques), et si elles sont des espèces locales, endémiques ou exotiques, communes ou rares. Une autre catégorie importante à ajouter dans l'information de chaque espèce serait de savoir si elles appartiennent à une des catégories de l'UICN (L'Union Internationale pour la Conservation de la Nature) ou des listes d'espèces protégées. Cependant, selon Rasmont (1995), il semblerait qu'aucune espèce de la faune française des apoïdes ne semble être menacée. Même les espèces les plus localisées ou les plus rares semblent subsister en dépit de l'anthropisation du paysage. En réalisant cet état de lieu, nous contribuerons à actualiser le nombre d'espèces d'abeilles présentes dans la région Rhône-Alpes et à favoriser les actions de conservation des abeilles. Cependant, il est difficile de dire quelle espèce d'abeille doit être protégée en priorité. Si une éventuelle loi de protection devait être appliquée pour une seule espèce, il est presque impossible de la différencier des autres espèces du même genre. On pourrait proposer alors de protéger la totalité de la superfamille des abeilles, mais dans ce cas, un très grand nombre d'espèces abondantes et ubiquistes seraient concernées. On pourrait trouver dans n'importe quel jardin des dizaines d'espèces concernées et il serait difficile de justifier la protection de leur habitat et l'application de cette loi serait arbitraire. Par conséquent, seule une protection ou le classement d'un habitat aurait un sens. Pour rendre ce type de conservation possible, il faut en priorité approfondir la connaissance faunistique des abeilles dans tous les écosystèmes.

## **5 CONCLUSION**

Ce mémoire s'intègre dans le cadre des actions scientifiques du programme URBANBEES au sein de l'association Arthropologia. Un de leurs objectifs est la mesure de la diversité des abeilles sauvages dans vingt-quatre sites qui représentent quatre types de milieux différents (semi-naturel, agricole, périurbain et urbain) dans le Grand Lyon. Pour cela, deux méthodes de capture (coupelles colorées et filets entomologiques), ont été effectuées durant trois ans, entre les mois de mars et d'octobre. Mon étude s'est particulièrement concentrée sur l'observation de l'existence d'un effet du gradient d'urbanisation sur la diversité d'abeilles sauvages. Pour accomplir cet objectif, plusieurs étapes ont été effectuées: tout d'abord,



l'urbanisation de chacun de 24 sites à été quantifiée grâce aux logiciels de SIG (ArcGIS). Puis, des analyses générales (de l'abondance, de la richesse) et multivariées ont été réalisées individuellement sur les données d'urbanisation et sur celles des espèces d'abeilles capturées par site. Finalement, les données ont été agrégées et analysées afin d'en produire une série de statistiques. Les résultats nous montrent que la diversité d'abeilles sauvages dans le Grand Lyon présente une corrélation avec le gradient d'urbanisation. En effet, la diversité d'abeilles sauvages est plus importante dans les sites semi-naturels, un peu moins importante dans les sites agricoles, puis les sites périurbains et finalement les sites urbains. Cette diversité d'abeilles dans les sites semi-naturels est expliquée par l'abondance d'habitats, de ressources en nourriture et de sites de nidification. Cependant, on trouve dans les sites agricoles une richesse spécifique dans un faible nombre de genres. D'autre part, même si la diversité d'abeilles diminue à cause de l'urbanisation, les sites urbains et périurbains sont souvent moins traités avec des produits phytosanitaires, ils sont légèrement plus chauds et fleuris une grande partie de l'année, et par conséquent, peuvent servir de refuges temporaires ou permanents à certaines espèces de faune et flore en offrant ainsi nourriture et sites de nidification pour les abeilles sauvages. Nos résultats montrent aussi, que le gradient d'urbanisation ne peut pas être classé de façon linéaire. En effet, les habitats semi-naturels subissent deux pressions opposées: l'agriculture et l'urbanisation.

Le programme Européen URBANBEES contribue d'une façon concrète à la conservation des abeilles sauvages. Dans un premier temps, il permet d'améliorer et d'approfondir les connaissances faunistiques des celles-ci dans la région Rhône-Alpes et plus particulièrement dans la région lyonnaise. Puis, à travers les activités participatives, ce programme permet de sensibiliser le grand public et, de cette manière, faire participer les citoyens et leur permettre de contribuer à leur niveau à favoriser la diversité des pollinisateurs en milieu urbain et périurbain. De plus, une fois qu'un guide des bonnes pratiques aura été publié et diffusé en Union Européenne, cette action permettra ainsi de maintenir et si possible d'augmenter la diversité des abeilles sauvages.

Finalement, il faut remarquer que d'autres solutions sont proposées pour favoriser la diversité des abeilles, non seulement dans les sites urbains et périurbains, mais aussi dans les sites agricoles à travers les mêmes démarches participatives que dans les sites urbains.

Concernant les milieux naturels, la meilleure méthode pour contribuer à la conservation d'abeilles sauvages, et, par conséquent, d'un grand nombre d'espèces, de faune et de flore est



de continuer à protéger leurs habitats. Favoriser la conservation et la création de corridors écologiques (trames vertes et bleues) est une autre action qui contribue aux programmes de conservation de la biodiversité. En combinant toutes ces actions participatives, en multipliant les projets de conservation et les études de recherche, il est probable que nous puissions enrayer l'extinction de certaines espèces et la perte de la biodiversité dans le monde.





## BIBLIOGRAPHIE

Ahrné K., Bengtsson J. et Elmqvist T., 2009, Bumble Bees (*Bombus* spp) along a Gradient of Increasing Urbanization. *PLoS ONE* 4(5): e5574. doi:10.1371/journal.pone.0005574

Albrecht M., Duelli P., Schmid B., Muller C.B., 2007, Interaction Diversity Within Quantified Insect Food Webs In Restored And Adjacent Intensively Managed Meadows, *Journal Of Animal Ecology*, 76, 11: 1015-1025.

Bacandritsos N., Granato A., Budge G., Papanastasiou I., Roinioti E., Caldon M., Falcaro C., Gallina A., Mutinelli F, 2010, Sudden Deaths And Colony Population Decline In Greek Honey Bee Colonies, *Journal Of Invertebrate Pathology*, 105, 6: 335-340.

Bates A.J., Sadler J.P., Fairbrass A.J., Falk S.J., Hale J.D., et Matthews T.J., 2011, Changing Bee and Hoverfly Pollinator Assemblages along an Urban-Rural Gradient. *PLoS ONE* 6(8): e23459. doi:10.1371/journal.pone.0023459

Baum K., and Wallen K., 2011, Potential Bias in Pan Trapping as a Function of Floral Abundance (Short Communication) *Journal of the Kansas Entomological Society* 84(2): 155-159.

Biesmeijer, J.C., Roberts, S.P.M., Reemer, M., Ohlemüller, R., Edwards, M., Peeters, T., Schaffers, A.P., Potts, S.G., Kleukers, R., Thomas, C.D., Settele, J., Kunin, W.E., 2006, Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands, *Science* 313: 251–353.

Borrell B.J., 2005, Long Tongues And Loose Niches: Evolution Of Euglossine Bees And Their Nectar Flowers, *Biotropica*, 37, 6: 664-669.

Campbell J., and Hanula J., 2007, Efficiency of Malaise traps and colored pan traps for collecting flower visiting insects from three forested ecosystems, *Journal Insec Conervation* 11: 399-408.

Cane J., Minckley R. and Kervin L., 2000, Sampling Bees (Hymenoptera : Apiformes) for Pollinator Community Studies : Pitfalls of Pan-trapping, *Journal oh the Kansas Entomological Society*, 73(4): 225-231.

Carré G., Roche P., Chifflet R., Morison N., Bommarco R., Harrison-Cripps J.,



Krewenka K., Potts S.G., Roberts P.M., Rodet G., Settele J., Steffan-Dewenter I., Szentgyorgyi H., Tscheulin T., Westphal C., Woyciechowski M. et Vaissiere B.E., 2009, Landscape context and habitat type as drivers of bee diversity in European annual crops, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133: 40–47.

Clergeau P., Croci S., Jokimäki J., Kaisanlahti-Jokimäki M., and Dinetti M., 2006, Avifaune homogenisation by urbanisation : Analysis at different European latitudes, *Biological Conservation* 127 : 336-344.

Colla, S.R., E. Willis, and L. Packer. 2009. Can Green Roofs Provide Habitat for Urban Bees (Hymenoptera:Apidae)? *Cities and the Environment*. 2(1):article 4, 12 pp.

Danforth B.N., Fang J., Sipes S., 2006, Analysis Of Family-Level Relationships In Bees (Hymenoptera: Apiformes) Using 28s And Two Previously Unexplored Nuclear Genes: Cad And Rna Polymerase Ii, *Molecular Phylogenetics And Evolution*, 39, 15: 358-372.

Davis R., Bauldau S. and Mayhew P., 2010, The Origins of species richness in the Hymenoptera: Insights from a family-level supertree, *BMC Evolutionary Biology* 10: 109.

Endress P, 2011, Evolutionary diversification of the flowers in angiosperms, *American Journal of Botany*, 98, 27: 370-396.

Fetridge E.D., Ascher J. et Langellotto G., 2008, The Bee Fauna of Residential Gardens in a Suburb of New York City (Hymenoptera: Apoidea), *Ann. Entomol. Soc. Am.* 101(6): 1067-1077.

Fontaine C., Dajoz I., Meriguet J., and Loreau M., 2006, Functional Diversity pf Plant-Pollinator Interaction Weds Enhances the Persistence of Plant Comminities, *PloS Biology*, 4(1):e1.

Gallai N., Salles J.M., Settele J. et Vaissiere B.E., 2009, Economic Valuation of the Vulnerability of World Agriculture Confronted with Pollinator Decline, *Ecological Economics* 68: 810–821

Gilbert, O.L., 1991. *The Ecology of Urban Habitats*. Chapman and Hall, New York, 269 p

Greenleaf S., Williams N., Winfree R., and Kremen C., 2007, Bee foraging ranges and their relationship to body size, *Oecologia* 153: 589-596.



Grand Lyon, Actualisation Agenda 21 Du Grand Lyon, Ad Conseil, 2008, 92p.

Grand Lyon, Documents Généraux, Rapport De Présentation In Plan Local D'urbanisme Approbation 2005, Agence D'urbanisme pour le Développement de L'agglomération Lyonnaise, 2005, 12p.

Hernandez J., Frankie G., and Thorp R., 2009, Ecology of Urban Bees : A Review of Current Knowledge and Directions for Future Study, Cities and the Environment 2(1) :article 3, 15p.

Johnson R.M., Ellis M.D., Mullin C.A., Frazier M., 2010, Pesticides And Honey Bee Toxicity- Usa, Apidologie, 41, 20: 312-331.

Kien, J. et Menzel, R., 1977, Chromatic properties of interneurons in the optic lobes of the bee. II. Narrow band and colour opponent neurons. J Comp Physiol A 113: 35-53.

Kluser S., Peduzzi P., 2007, Global Pollinator Decline: A Literature Review, Unep/Grid Europe, 12p.

Le Conte Y., Ellis M., Ritter W., 2010, Varroa Mites And Honey Bee Health : Can Varroa Explain Part Of The Colony Losses ?, Apidologie, 41, 11: 353-363.

Le Conte Y., Navajas M., 2008, Climate Change : Impact On Bee Populations And Their Illnesses, Revue Scientifique Et Technique-Office International Des Epizooties, 27, 13 : 485-497.

Matteson K., Ascher J., and Langellotto G., 2008, Bee Richness and Abundance in New York City Urban Gardens, Annual Entomological Society Am. 101(1 : 140-150.

Matteson K., and Langellotto G., 2009, Bumble Bee Abundance in New York City Community Gardens : Implications for Urban Agriculture, Cities and the Environment, 2(1):article 5, 12p.

Matteson K., and Langellotto G., 2010, Determinates of Inner City Butterfly and Bee Species Richness, Urban Ecosystem, 13: 333-347.

Mayer D.F., 2003, Bee Kills From Pesticides And The Expert Witness, American Bee Journal, 143, 1: 563.

McIntyre N. et Hostetler, 2001, Effets of Urban Land use on Pollinator



(Hymenoptera:Apoidea) communities in a desert metropolis, *Basic Applied Ecology* 2: 209-218

McIntyre, N.E., Rango, J., Fagan, W.F., Faeth, S.H., 2001, Ground Arthropod Community Structure in a Heterogeneous Urban Environment Landscape, *Urban Planning* 52: 257-274

McKinney M.L., 2006, Urbanization as a major cause of biotic homogenization, *Biol Conserv* 127: 247–260.

Michener C.D., 2007, *The Bees Of The World*, 2e éd., Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 2007, 972p.

Mouret H., 2010, Bees In The Rhone-Alpes Region, *Bulletin Mensuel De La Société Linnéenne De Lyon*, 2, 8 : 125-132.

Nantes-Parra G., 2006, Abejas Corbiculadas de Colombia, *Uninversidad Nacional de Colombia,Facultad de Ciencias*, 158p.

Nielsen A., Steffan-Dewenter I., Westphal C., Messinger O., Potts S., Roberts S., Settele J., Szentgyörgyi H., Vaissière B., Vaitis M., Woyciechowski M., Bazos I., Biesmeijer J., Bommarco R., Kunin W., Tscheulin T., Lamborn E., Petanidou T., 2011, Assessing bee species richness in two Mediterranean communities: importance of habitat type and sampling techniques, *Ecol Res* DOI 10.1007/s11284-011-0852-1, 15p.

Norton C., 2007, Colony Collapse Disorder Investigated By Us Bee Researchers, *American Bee Journal*, 147, 4: 199-202.

Organisation des Nations Unies, 2008, *World Urbanisation Prospects. The 2007 revision population database*, Departement of Economie and Social Affaires, New York, <http://esa.un.org/unup>

Patiny S., Rasmont P., Michez D., 2009, A Survey And Review Of The Status Of Wild Bees In The West-Palaeartic Region, *Apidologie*, 40, 19: 313-331.

Potts S.G., Biesmeijer J.C., Bommarco R., Felicioli A., Fischer M., Jokinen P., Kleijn D., Klein A.M., Kunin W.E., Neumann P., Penev L.D., Petanidou T., Rasmont P., Roberts S.P.M., Smith H.G., Sorensen P.B., Steffan-Dewenter I., Vaissiere B.E., Vila M., Vujic A., Woyciechowski M., Zobel M., Settele J., Schweiger O., 2011, *Developing European*





Conservation And Mitigation Tools For Pollination Services: Approaches Of The Step (Status And Trends Of European Pollinators) Project, *Journal Of Apicultural Research*, 50, 13: 152-164.

Potts S.G., Biesmeijer J.C., Kremen C., Neumann P., Schweiger O., Kunin W.E., 2010, Global Pollinator Declines: Trends, Impacts And Drivers, *Trends In Ecology And Evolution*, 25, 9: 345-353.

Roberts S., Szentgyo H., Tscheulin T., Vaissière B., Woyciechowski M., Biesmeijer J., Kunin W., Settele J. et Steffan-Dewenter I., 2008, Measuring Bee Diversity in Different European Habitats and Biogeographical Regions, *Ecological Monographs* 78(4): 653-67

Saddier M., 2009, Pour une filière apicole durable: Les abeilles et les Pollinisateurs Sauvages, Ed. La Documentation Française, 108p.

Sagili R.R., Pankiw T. et Metz B.N., 2011, Division of Labor Associated with Brood Rearing in the Honey Bee: How does it Translate to Colony Fitness?, *PLoSone*, 6, 8p.

Saure C., 1996, Urban habitats for bees : the example of the city of Berlin, *The Conservation of Bees*, The Linnean Society of London and The International Bee Research Association, Chapter 4, p: 47-52.

Seaver B., 2011, Honey Bee Social Immunity And Colony Collapse Disorder, *Journal Of Apicultural Research*, 50, 2: 87-88.

Sedivy C., Muller A., Dorn S., 2011, Closely Related Pollen Generalist Bees Differ In Their Ability To Develop On The Same Pollen Diet: Evidence For Physiological Adaptations To Digest Pollen, *Functional Ecology*, 25, 8: 718-725.

Sharma V.P., Kumar N.R., 2010, Changes In Honeybee Behavior And Biology Under The Influence Of Cellphone Radiations, *Current Science*, 98, 3: 1376-1378.

Semple K., Riley S. and Ficher R., 2010, A Rapid, Strong, and Convergent Genetic Response et Urban Habitat Fragmentation in Four Divergent and Widespread Vertebrates, *PLoS One*, 5(9): e12767

Terzo M. et Rasmont P., 2007, Abeilles sauvages, bourdons et autres insectes pollinisateurs, les livrets de l'agriculture, Ministère de la région Wallonne, 61 p.

Vitousek, P.M., Mooney, H.A., Lubchenco, J., Melillo, J.M., 1997, Human



Domination of Earth's Ecosystems, *Science* 277: 494-499

Westphal C., Bommarco R., Carré G., Lamborn E., Morison N., Peranidou T., Potts S.,

Williams N.M., Crone E.E., Roulston T.H., Minckley R.L., Packer L., Potts S.G., 2010, Ecological And Life-History Traits Predict Bee Species Responses To Environmental Disturbances, *Biological Conservation*, 143, 12: 2280-2291.

Williams G.R., Tarpay D.R., Vanengelsdorp D., Chauzat M.P., Cox-Foster D.L., Delaplane K.S., Neumann P., Pettis J.S., Rogers R.E.L., Shutler D., 2010, Colony Collapse Disorder In Context, *Bioessays*, 32, 2: 845-846.

Winfrey R., 2010, The conservation and restoration of wild bees, *Year In Ecology and Conservation Biology*, 1195, 21: 169-197.

Zanette L., Martins R., et Ribeiro S., 2005, Effects of Urbanization on Neotropical Wasp and Bee Assemblages in a Brazilian Metropolis, *Landscape and Urban Planning* 71: 105-121

### **Sources web**

Agence d'urbanisme de Lyon, 2007, État initial de l'environnement. SCOT agglomération lyonnaise: [www.grandlyon.com](http://www.grandlyon.com)

Ministère de l'écologie et du Développement Durable, site <http://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8201639>

Convention de la Diversité Biologique : <http://www.cbd.int/>

Programme LIFE+Biodiversité URBANBEES: <http://www.urbanbees.eu/>

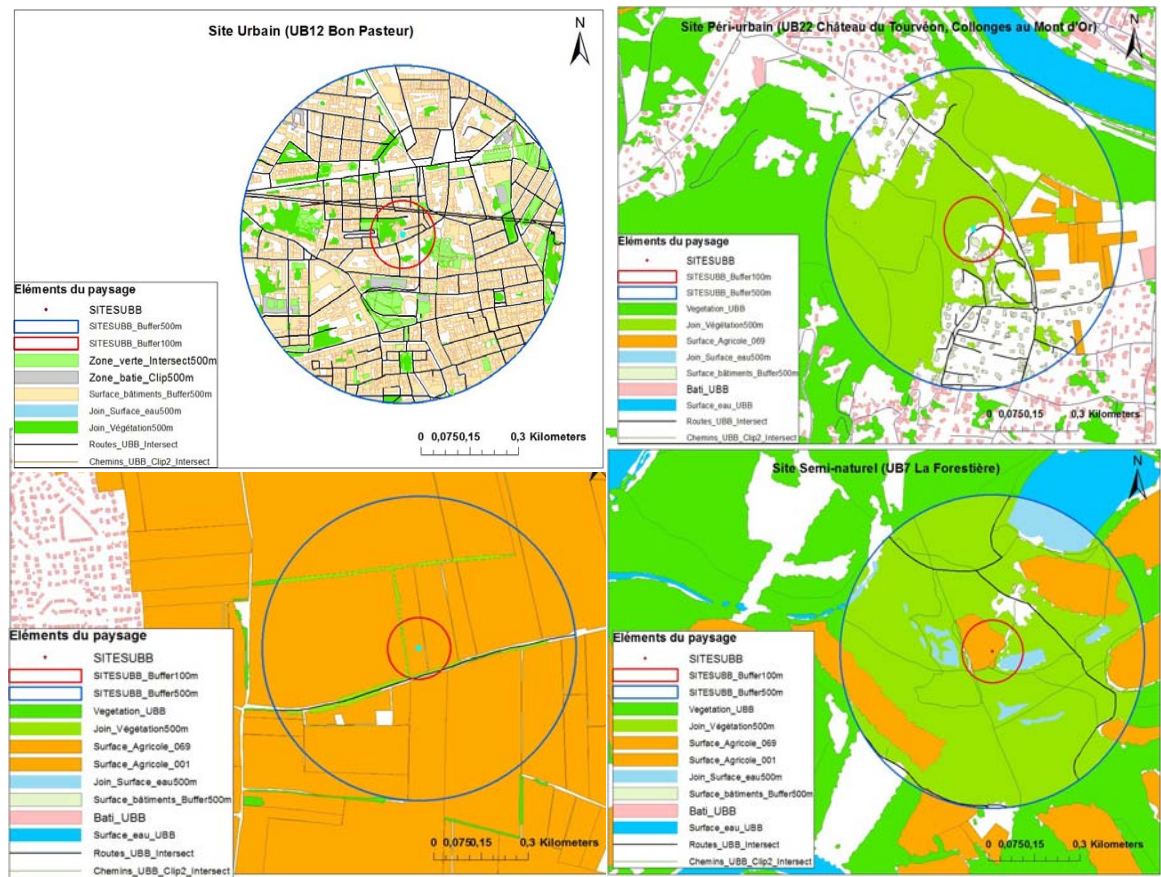
International Pollinators Initiative, the Sao Paulo Declaration on Pollinators (Brazilian Ministry of the Environment, 1999; [www.biodiv.org/doc/case-studies/agr/cs-agr-pollinator-rpt.pdf](http://www.biodiv.org/doc/case-studies/agr/cs-agr-pollinator-rpt.pdf)).



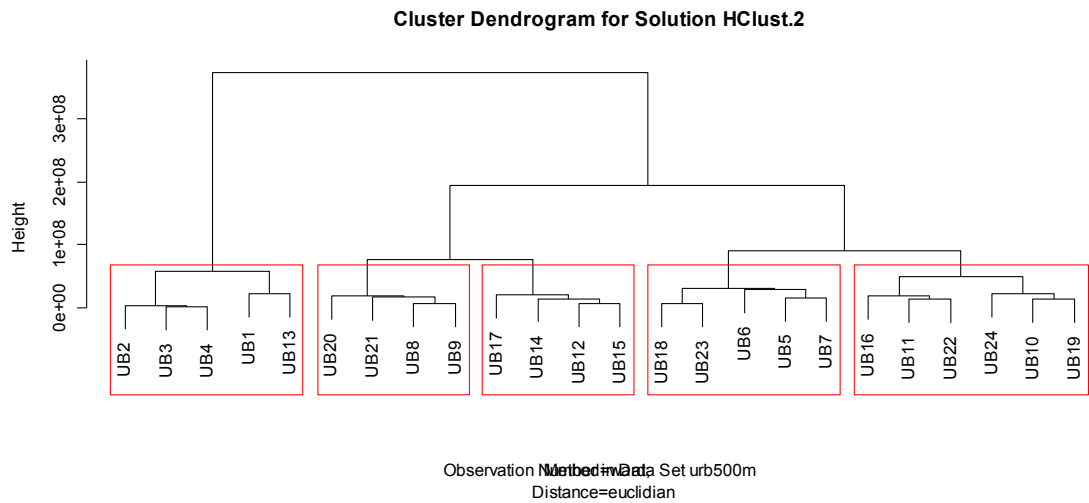
ANNEXES

1.2 Annexe: Analyses sur le gradient d'urbanisation.

a) Cartes de représentation du gradient d'urbanisation des quatre types de milieu. Rayon de 100 et 500m, Sources de données : La Grand Lyon, INRA, Logiciel : ArcGis, Réalisation : L. Corredor.



b) Classification Ascendante Hiérarchique du gradient d'urbanisation sur les rites UB rayon de 500m



c) Analyses en Composantes Principales du tableau de données du gradient d'urbanisation (Rayon 100m)

```
> acp1<-dudi.pca(urb1, scann=F, nf=3)
> acp1
Duality diagramm
class: pca dudi
$call: dudi.pca(df = urb1, scannf = F, nf = 3)
> acp1$cw
[1] 1 1 1 1 1 1 1
> acp1$eig
[1] 2.3288098397 2.0943925132 1.2234595673 0.7262813820 0.4384326157
[6] 0.1885496175 0.0000744646
> sum(acp1$eig)
[1] 7
> (pve<-100*acp1$eig/sum(acp1$eig))
[1] 33.26871200 29.91989305 17.47799382 10.37544831 6.26332308 2.69356596
[7] 0.00106378
> cumsum(pve)
[1] 33.26871 63.18861 80.66660 91.04205 97.30537 99.99894 100.00000
> acp1$co
               Comp1      Comp2      Comp3
couverture_végétale -0.3132942  0.2377350 0.88936094
bâtiments           0.7496372 -0.5800122 -0.04699764
eau                 -0.5280528 -0.2075609 -0.48781113
agricole            0.1565581  0.8861633 -0.37621263
route              0.7755871 -0.4579021  0.15380256
chemin             -0.7350037 -0.3720815  0.09305051
zones_vertes       -0.4728475 -0.7245513 -0.13593618
> inertia.dudi(acp1)
$TOT
      inertia      cum      ratio
1 2.3288098397 2.328810 0.3326871
2 2.0943925132 4.423202 0.6318861
3 1.2234595673 5.646662 0.8066660
4 0.7262813820 6.372943 0.9104205
5 0.4384326157 6.811376 0.9730537
6 0.1885496175 6.999926 0.9999894
7 0.0000744646 7.000000 1.0000000
```

c) Analyses en Composantes Principales du tableau de données du gradient d'urbanisation (Rayon 500m)

```
> acp2<-dudi.pca(urbmil2, scann=F, nf=2)
> acp2
Duality diagramm
class: pca dudi
$call: dudi.pca(df = urbmil2, scannf = F, nf = 2)

$nf: 2 axis-components saved
$rank: 7
eigen values: 2.915 2.223 0.9181 0.6014 0.2472 ...
  vector length mode      content
1 $cw      7      numeric column weights
2 $lw     24      numeric row weights
3 $eig      7      numeric eigen values
```

```

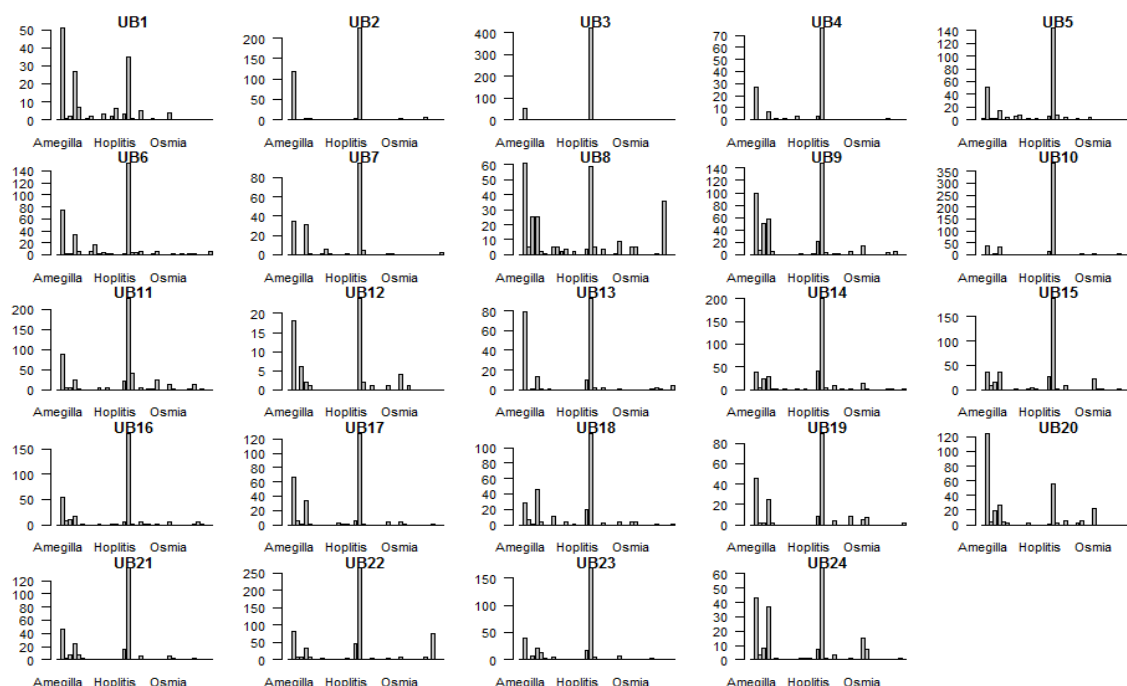
data.frame nrow ncol content
1 $stab      24    7   modified array
2 $li        24    2   row coordinates
3 $l1        24    2   row normed scores
4 $co        7     2   column coordinates
5 $c1        7     2   column normed scores
other elements: cent norm
> acp2$eig
[1] 2.914523e+00 2.223079e+00 9.180732e-01 6.013865e-01 2.472404e-01
[6] 9.569411e-02 3.994386e-06
> sum(acp2$eig)
[1] 7
> (pve<-100*acp2$eig/sum(acp2$eig))
[1] 4.163604e+01 3.175827e+01 1.311533e+01 8.591235e+00 3.532005e+00
[6] 1.367059e+00 5.706266e-05
> cumsum(pve)
[1] 41.63604 73.39431 86.50964 95.10088 98.63288 99.99994 100.00000
> acp2$co

```

	Comp1	Comp2
bâtiment	0.9147803	-0.08360632
végétation	-0.4819790	0.47652581
eau	-0.3090488	0.79268246
zones_vertes	0.6913158	0.37646177
routes	0.9351934	0.01461935
chemin	-0.1859283	0.83784842
agricole	-0.6023380	-0.71884604

### 1.3 Annexe : Analyses et test statistiques effectuées sur l'abondance et richesse de genres par site UB.

a) Distribution du nombre d'abeilles par genre et par site UB



## b) Richesse et abondance de genres par site UB et par contexte du milieu

```
> richg<-specnumber(urbgenre)
> richg
  UB1  UB2  UB3  UB4  UB5  UB6  UB7  UB8  UB9  UB10  UB11  UB12  UB13  UB14  UB15
UB16
  16   10    7    8   21   23   12   21   16   15   19   10   14   20   17
19
UB17 UB18 UB19 UB20 UB21 UB22 UB23 UB24
  15   16   12   14   18   22   16   16
> sort(richg)
  UB3  UB4  UB2  UB12  UB7  UB19  UB13  UB20  UB10  UB17  UB1  UB9  UB18  UB23  UB24
UB15
   7    8   10   10   12   12   14   14   15   15   16   16   16   16   16
17
UB21 UB11 UB16 UB14  UB5  UB8  UB22  UB6
  18   19   19   20   21   21   22   23
```

	Agricole	Périurbain	Semi-naturel	Urbain
Abondance moyenne	327,5	290,125	275,75	306
Variance	41287	14348,41	12643,58	14155,43

	Agricole	Périurbain	Semi-naturel	Urbain
Richesse de genres en moyenne	9,75	16,25	18	17
Variance	9,583333	8,5	24,666667	12,857143

## c) Tests statistiques sur l'abondance et la richesse des genres par contexte du milieu

```
> m0<-lm(abongr~contexte)
> summary(m0)
Call:
lm(formula = abongr ~ contexte)
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-267.50  -74.81  -25.12   89.50  260.00
Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    327.50     67.20   4.873 9.21e-05 ***
contextePériurbain -37.38     82.31  -0.454   0.655
contexteSemi-naturel -51.75     95.04  -0.544   0.592
contexteUrbain    -21.50     82.31  -0.261   0.797
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Residual standard error: 134.4 on 20 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.01749,    Adjusted R-squared: -0.1299
F-statistic: 0.1187 on 3 and 20 DF,  p-value: 0.9481
```

```
> m1<-lm(richgr~contexte)
> summary(m1)
Call:
lm(formula = richgr ~ contexte)
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
 -7.00   -2.00   -0.25    2.25    5.75
```



Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	9.750	1.776	5.491	2.25e-05 ***
contextePériurbain	6.500	2.175	2.989	0.00726 **
contexteSemi-naturel	8.250	2.511	3.285	0.00370 **
contexteUrbain	7.250	2.175	3.334	0.00331 **

---  
 Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1  
 Residual standard error: 3.551 on 20 degrees of freedom  
 Multiple R-squared: 0.4147, Adjusted R-squared: 0.3269  
 F-statistic: 4.723 on 3 and 20 DF, p-value: 0.01193

> anova(m0)

Analysis of Variance Table

Response: abongr

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
contexte	3	6432	2144	0.1187	0.9481
Residuals	20	361319	18066		

> anova(m1)

Analysis of Variance Table

Response: richgr

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
contexte	3	178.71	59.569	4.723	0.01193 *
Residuals	20	252.25	12.613		

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> anova(lm(richgr[contexte!="Agricole"]~contexte[contexte!="Agricole"]))

Analysis of Variance Table

Response: richgr[contexte != "Agricole"]

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
contexte[contexte != "Agricole"]	2	8.3	4.150	0.3157	0.7335
Residuals	17	223.5	13.147		

#### d) Analyse Factorielle des Correspondances du tableau de données des genres

> afc2<-dudi.coa(urbgenre,scann=F)

> afc2

Duality diagramm

class: coa dudi

\$call: dudi.coa(df = urbgenre, scannf = F)

\$nf: 2 axis-components saved

\$rank: 23

eigen values: 0.1341 0.102 0.06989 0.05606 0.04593 ...

	vector	length	mode	content
1 \$cw	38		numeric	column weights
2 \$lw	24		numeric	row weights
3 \$eig	23		numeric	eigen values

	data.frame	nrow	ncol	content
1 \$stab		24	38	modified array
2 \$li		24	2	row coordinates
3 \$l1		24	2	row normed scores
4 \$co		38	2	column coordinates
5 \$cl		38	2	column normed scores

other elements: N

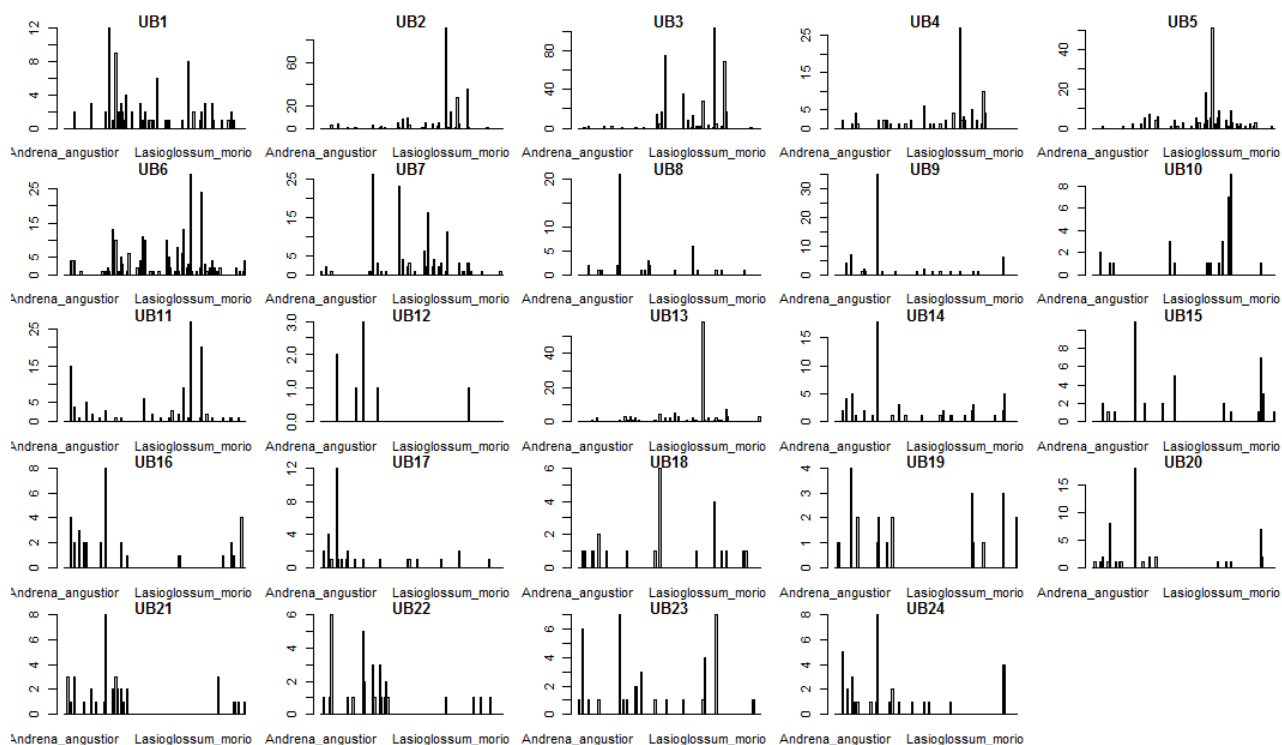
```
> sqrt(afc2$eig[1])
[1] 0.3661856
> chisq.test(urbgenre, simulate.p.value=T)
```

Pearson's Chi-squared test with simulated p-value (based on 2000 replicates)

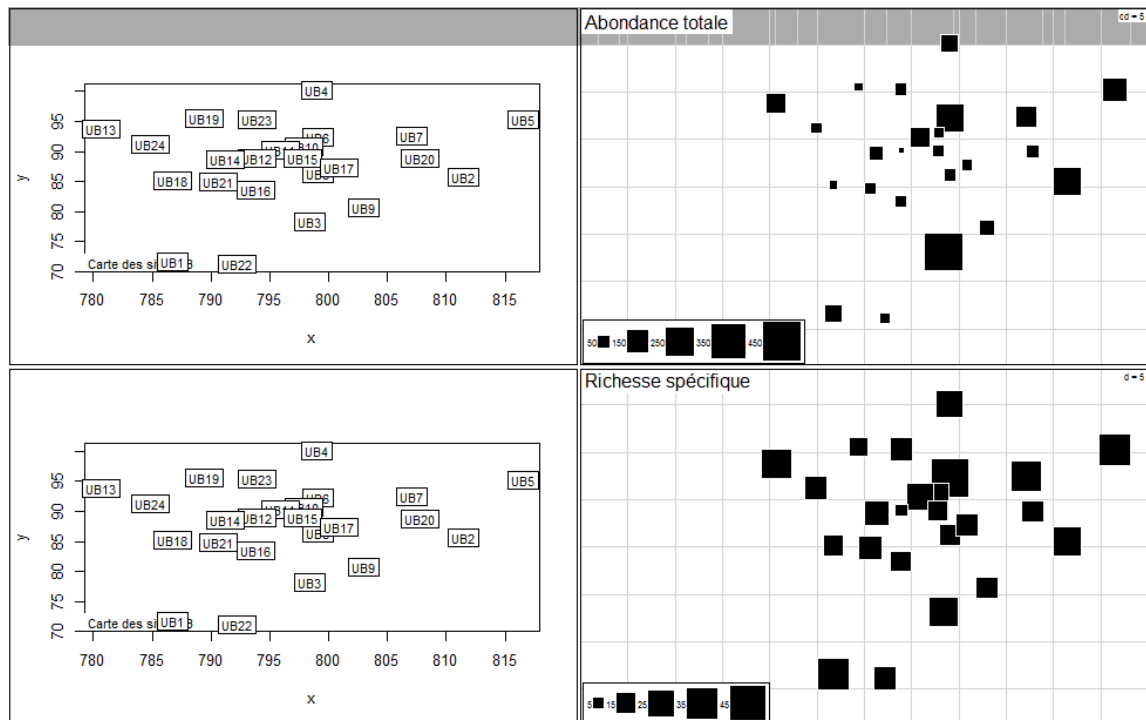
```
data: urbgenre
X-squared = 4284.128, df = NA, p-value = 0.0004998
```

### 1.4 Annexe: Analyses et test statistiques effectuées sur l'abondance et richesse spécifique par site UB.

a) Distribution des espèces en fonction du site UB. Estimation et représentation de l'abondance et richesse spécifique par site UB



```
> rich3<-specnumber(urbasp2)
> rich3
  UB1  UB2  UB3  UB4  UB5  UB6  UB7  UB8  UB9  UB10  UB11  UB12  UB13  UB14  UB15
UB16
   35   29   29   26   36   50   31   15   17   13   26    5   31   21   14
15
UB17 UB18 UB19 UB20 UB21 UB22 UB23 UB24
   17   15   13   17   19   18   18   18
> sort(rich3)
UB12 UB10 UB19 UB15  UB8 UB16 UB18  UB9 UB17 UB20 UB22 UB23 UB24 UB21 UB14
UB4
    5   13   13   14   15   15   15   17   17   17   18   18   18   19   21
26
UB11  UB2  UB3  UB7 UB13  UB1  UB5  UB6
   26   29   29   31   31   35   36   50
```



b) Test statistiques sur l'abondance et la richesse spécifique moyenne par type de milieu.

	Agricole	Périurbain	Semi-naturel	Urbain
Abondance moyenne	216.000	39.875	153.250	46.000
Variance	22056.6667	202.4107	3212.9167	933.4286

	Agricole	Périurbain	Semi-naturel	Urbain
Richesse spécifique moyenne	28.750	16.875	38.000	15.125
Variance	4.250000	3.839286	68.666667	32.982143

```
> m0 <- lm(abond ~ contexte)
> summary(m0)
Call:
lm(formula = abond ~ contexte)
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-126.00  -15.88   -2.50   14.19  201.00
Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)      216.00     32.36   6.675 1.69e-06 ***
contextePériurbain -176.13     39.63  -4.444 0.000249 ***
contexteSemi-naturel -62.75     45.76  -1.371 0.185479
contexteUrbain    -170.00     39.63  -4.290 0.000357 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Residual standard error: 64.71 on 20 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.5788,    Adjusted R-squared:  0.5156
F-statistic: 9.161 on 3 and 20 DF,  p-value: 0.0005108
```

```
> m1<-anova(m0)
> m1
Analysis of Variance Table
```

Response: abond

```

      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
contexte  3 115094   38365   9.1606 0.0005108 ***
Residuals 20  83760    4188
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> m2<-lm(richeſſe~contexte)
> m2
Call:
lm(formula = richeſſe ~ contexte)
Coefficients:
              (Intercept)      contextePériurbain      contexteSemi-naturel
contexteUrbain
-13.63              28.75              -11.88              9.25

> summary(m2)
Call:
lm(formula = richeſſe ~ contexte)
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-10.125  -2.031   0.125   1.125  12.000
Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)      28.750      2.441  11.780 1.88e-10 ***
contextePériurbain -11.875      2.989  -3.973 0.000750 ***
contexteSemi-naturel  9.250      3.451   2.680 0.014393 *
contexteUrbain     -13.625      2.989  -4.558 0.000191 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Residual standard error: 4.881 on 20 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.7901,    Adjusted R-squared:  0.7586
F-statistic: 25.09 on 3 and 20 DF,  p-value: 5.529e-07

> m3<-anova(m2)
> m3
Analysis of Variance Table
Response: richeſſe
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
contexte  3 1793.5   597.82  25.092 5.529e-07 ***
Residuals 20  476.5    23.83
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

### c) Analyses en Composantes Factorielles du tableau de données des espèces

```

> afc1<-dudi.coa(urbsp, scannf=F)
> afc1
Duality diagramm
class: coa dudi
$call: dudi.coa(df = urbsp, scannf = F)

$nf: 2 axis-components saved
$rank: 23
eigen values: 0.6777 0.5682 0.3947 0.3263 0.2931 ...
  vector length mode    content
1 $cw      152   numeric column weights
2 $lw       24   numeric row weights
3 $eig      23   numeric eigen values

```

```

data.frame nrow ncol content
1 $tab      24   152 modified array
2 $li       24    2   row coordinates
3 $l1       24    2   row normed scores
4 $co      152    2   column coordinates
5 $c1      152    2   column normed scores
other elements: N

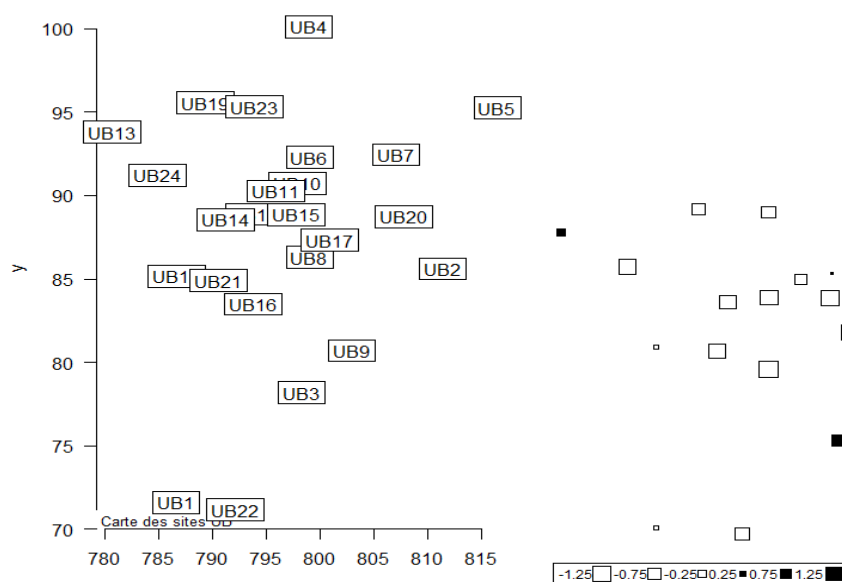
```

```

> inertia.dudi(afc1)
$TOT
      inertia      cum      ratio
1  0.67771691 0.6777169 0.1407398
2  0.56819930 1.2459162 0.2587364
3  0.39474486 1.6406611 0.3407121
4  0.32631128 1.9669724 0.4084764
5  0.29306044 2.2600328 0.4693356
6  0.26829850 2.5283313 0.5250525
7  0.24810923 2.7764405 0.5765767
8  0.22849837 3.0049389 0.6240284
9  0.21410916 3.2190481 0.6684919
10 0.20306683 3.4221149 0.7106623
11 0.17200467 3.5941196 0.7463821
12 0.16358857 3.7577081 0.7803542
13 0.14385464 3.9015628 0.8102281
14 0.14157857 4.0431413 0.8396294
15 0.13164617 4.1747875 0.8669680
16 0.12710094 4.3018884 0.8933628
17 0.11290587 4.4147943 0.9168097
18 0.10205754 4.5168518 0.9380037
19 0.08886968 4.6057215 0.9564591
20 0.07684489 4.6825664 0.9724173
21 0.05795470 4.7405211 0.9844526
22 0.04352389 4.7840450 0.9934911
23 0.03134298 4.8153880 1.0000000

```

**d) Superposition des coordonnées factorielles des sites sur l'axe 1 de l'AFC des données faunistiques.**



## 1.5 *Analyse de co-inertie*

```
> cor.test(acpl$li[,1],afc$li[,1])

Pearson's product-moment correlation

data: acpl$li[, 1] and afc$li[, 1]
t = -0.5293, df = 22, p-value = 0.6019
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.4932146  0.3050687
sample estimates:
      cor
-0.1121268

> round(coinertia(afc3,env.acp, scann=F)$RV, dig=3)
[1] 0.587

> coin<-coinertia(afc3,env.acp,scann=F)
> randtest(coin,fixed=1)
Warning: non uniform weight. The results from permutations
are valid only if the row weights come from the fixed table.
The fixed table is table X : urbsp2
Monte-Carlo test
Call: randtest.coinertia(xtest = coin, fixed = 1)
Observation: 0.5869667

Based on 999 replicates
Simulated p-value: 0.001
Alternative hypothesis: greater

      Std.Obs Expectation      Variance
3.933096917 0.393740227 0.002413592

> coin
Coinertia analysis
call: coinertia(dudiX = afc3, dudiY = env.acp, scannf = F)
class: coinertia dudi

$rank (rank)      : 7
$nf (axis saved) : 2
$RV (RV coeff)   : 0.5869667

eigen values: 1.548 0.6049 0.3374 0.06837 0.03114 ...

  vector length mode    content
1 $eig      7      numeric eigen values
2 $lw       7      numeric row weights (crossed array)
3 $cw      110     numeric col weights (crossed array)

  data.frame nrow ncol content
1 $tab       7    110 crossed array (CA)
2 $li        7     2  Y col = CA row: coordinates
3 $l1        7     2  Y col = CA row: normed scores
4 $co       110     2  X col = CA column: coordinates
5 $c1       110     2  X col = CA column: normed scores
6 $lX       24     2   row coordinates (X)
7 $mX       24     2   normed row scores (X)
8 $lY       24     2   row coordinates (Y)
```

```

9 $mY      24  2   normed row scores (Y)
10 $aX      2  2   axis onto co-inertia axis (X)
11 $aY      2  2   axis onto co-inertia axis (Y)
> summary(coin)
Eigenvalues decomposition:
      eig      covar      sdX      sdY      corr
1 1.5476766 1.244057 0.7978574 1.646917 0.9467672
2 0.6048936 0.777749 0.6854916 1.337862 0.8480590

Inertia & coinertia X:
      inertia      max      ratio
1  0.6365764 0.6718126 0.9475506
12 1.1064752 1.2295647 0.8998918

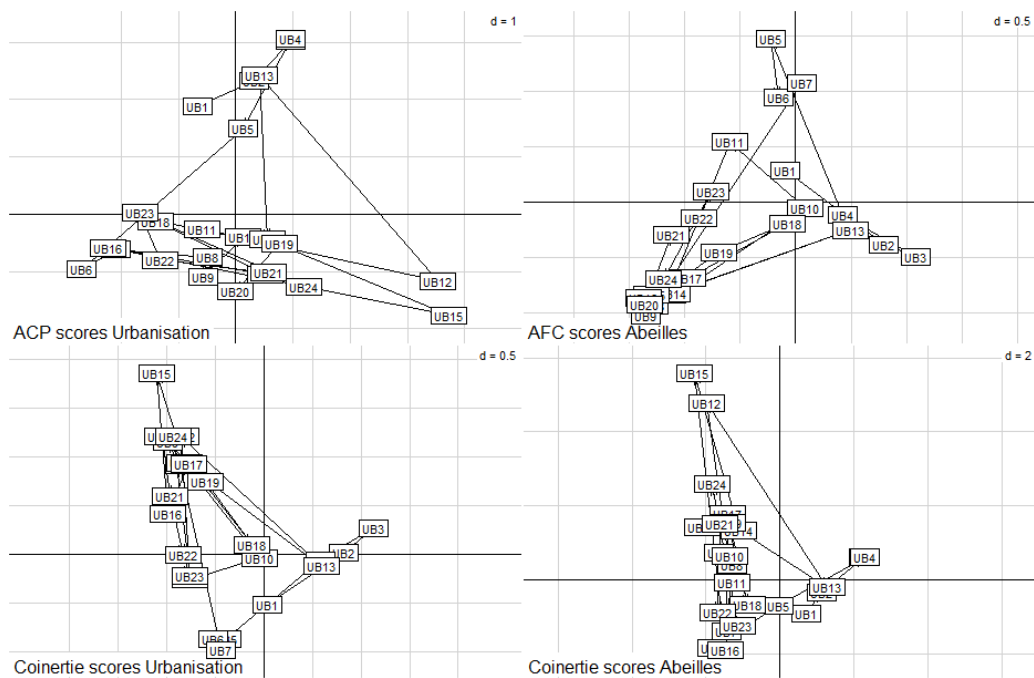
Inertia & coinertia Y:
      inertia      max      ratio
1  2.712334 2.822367 0.9610139
12 4.502209 4.834294 0.9313064
RV:
0.5869667

> y <- specnumber(urbsp2,MARGIN=1)
> x <- acp1$li[,1]
> summary(lm(y~x))
Call:
lm(formula = y ~ x)
Residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-13.041  -7.482  -1.117   6.899  20.725
Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    22.000      1.861   11.822 5.29e-11 ***
x              -2.700      1.219   -2.214  0.0375 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Residual standard error: 9.117 on 22 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1822,    Adjusted R-squared: 0.1451
F-statistic: 4.903 on 1 and 22 DF,  p-value: 0.03749

> y <- specnumber(urbsp2,MARGIN=1)
> x <- acp1$li[,1]
> x2 <- acp1$li[,2]
> x3 <- acp1$li[,3]
> summary(lm(y~x+x2+x3))
Call:
lm(formula = y ~ x + x2 + x3)
Residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-10.4675  -4.2819   0.0291   2.7689  24.3723
Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    22.000      1.631   13.493 1.67e-11 ***
x              -2.700      1.068   -2.527  0.02004 *
x2               3.278      1.127    2.910  0.00867 **
x3               0.645      1.474    0.438  0.66641
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Residual standard error: 7.988 on 20 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.4293,    Adjusted R-squared: 0.3437

```

**F-statistic: 5.014 on 3 and 20 DF, p-value: 0.0094**



*Comparaison des scores des relevés sur les plans 1-2 des ACP et AFC séparés et de l'analyse de co-inertie*