



**HAL**  
open science

# Les communautés d'abeilles sauvages face aux perturbations anthropiques

Benoit Geslin

► **To cite this version:**

Benoit Geslin. Les communautés d'abeilles sauvages face aux perturbations anthropiques. Biodiversité et Ecologie. Aix Marseille Université, 2023. tel-04008647

**HAL Id: tel-04008647**

**<https://amu.hal.science/tel-04008647v1>**

Submitted on 28 Feb 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

HABILITATION A DIRIGER LES RECHERCHES

# LES COMMUNAUTÉS D'ABEILLES SAUVAGES FACE AUX PERTURBATIONS ANTHROPIQUES

Benoît Geslin

Composition du jury :

**Nina Hautekète, Professeure** – Université de Lille

**Nathalie Machon, Professeure** – Muséum National d'Histoire Naturelle

**Mathieu Lihoreau, Directeur de recherche** – CNRS, Toulouse III

**Emmanuel Corcket, Professeur** – Aix Marseille Université

**Laurence Affre, MCF, Tutrice Universitaire** – Aix Marseille Université

**Bertrand Schatz, Directeur de recherche** – CEFE, Montpellier



## Habilitation à diriger les recherches

Benoît Geslin

Année Universitaire 2022-2023

Composition du jury :

**Nina Hautekète, Professeure** – Université de Lille - Rapportrice

**Nathalie Machon, Professeure** – Muséum National d'Histoire Naturelle - Rapportrice

**Mathieu Lihoreau, Directeur de recherche** – CNRS, Toulouse III - Rapporteur

**Emmanuel Corcket, Professeur** – Aix Marseille Université – Président du Jury

**Laurence Affre, MCF** – Aix Marseille Université – Tutrice Universitaire

**Bertrand Schatz, Directeur de recherche**, CEFE, Montpellier – Invité









## Remerciements

## Remerciements



# Sommaire

## PARTIE 1 – NOTICE D'ACTIVITE

<b>1</b>	<b>Curriculum Vitae</b>	<b>10</b>
1.1	État civil	10
1.2	Cursus professionnel	10
1.3	Diplômes	10
<b>2</b>	<b>Productions</b>	<b>11</b>
2.1	Articles parus dans des revues à comité de lecture indexées	11
2.2	Publications dans des revues à comité de lecture non-indexées	13
2.3	Chapitres d'ouvrages	14
2.4	Articles de Vulgarisation	14
<b>3</b>	<b>Communications scientifiques</b>	<b>14</b>
3.1	Communications dans des congrès internationaux et nationaux	14
3.2	Co-auteur de communications internationales et nationales	15
3.3	Conférences Grand Public	17
3.4	Séminaires et autres interventions	19
3.5	Responsabilités dans le monde de la recherche	19
<b>4</b>	<b>Enseignement et responsabilités pédagogiques</b>	<b>19</b>
4.1	Activités d'enseignement	19
4.2	Ecoles de Terrain	20
4.3	Responsabilités pédagogiques	20
4.4	Encadrement de la recherche	20
<b>5</b>	<b>Financements de la recherche</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>Autres activités</b>	<b>23</b>
6.1	Reviewer pour des revues à comité de lecture	23
6.2	Organisation de congrès et participation à des événements	23
6.3	Apparition dans les Médias (depuis 2016)	23

## PARTIE 2 – MEMOIRE DE TITRES ET TRAVAUX

	<b>Avant-propos</b>	<b>5</b>
<b>1.</b>	<b>Introduction générale</b>	<b>7</b>
a.	Les communautés écologiques : composition et interactions biotiques	7
b.	Les perturbations anthropiques	8

c.	La biologie de la conservation, une « discipline de crise » .....	9
d.	Présentation des chapitres de l'HDR.....	10
<b>2.</b>	<b>Les abeilles dans leur diversité .....</b>	<b>11</b>
a.	Généralités sur les abeilles sauvages.....	11
b.	Taxonomie des abeilles sauvages.....	12
c.	Apports à l'étude de l'écologie et de la diversité des communautés d'abeilles .....	14
d.	Perspectives .....	16
e.	Les abeilles ne sont pas les seuls pollinisateurs !.....	18
<b>3.</b>	<b>Paysages agricoles, pollinisateurs, et service de pollinisation. ....</b>	<b>20</b>
a.	Le service de pollinisation.....	20
b.	L'isolement aux milieux semi-naturels.....	21
c.	Apports à l'étude de pollinisateurs dans les paysages agricoles.....	22
d.	Perspectives .....	25
<b>4.</b>	<b>La ville et ses effets sur les communautés d'abeilles sauvages. ....</b>	<b>27</b>
a.	Apports à l'étude de l'impact de l'urbanisation sur les communautés d'abeilles sauvages.....	27
b.	Une controverse qui reste vive.....	28
c.	Perspectives .....	30
<b>5.</b>	<b>La compétition Apis vs. non-Apis .....</b>	<b>32</b>
a.	Le développement du concept de MIMS ou « Massively Introduced Managed Species ».....	32
b.	Etude de cas : co-occurrence entre abeilles domestiques et sauvages dans le Parc National des Calanques .....	36
c.	Perspectives .....	38
<b>6.</b>	<b><i>Megachile sculpturalis</i>, une abeille venue d'Asie.....</b>	<b>40</b>
a.	Des abeilles introduites aux abeilles exotiques .....	40
b.	Création d'un consortium international pour étudier <i>M. sculpturalis</i> .....	44
c.	Cas d'étude : utilisation des hôtels à insectes par <i>M. sculpturalis</i> .....	47
d.	Perspectives .....	49
<b>7.</b>	<b>L'étude des abeilles exotiques envahissantes, une perspective sur le long terme.....</b>	<b>51</b>
a.	Les espèces d'abeilles exotiques, le cas de la Nouvelle Calédonie .....	51
b.	Une base de données des abeilles exotiques dans le monde.....	53
c.	La gestion des abeilles, quand l'écologie n'est pas prise en compte.....	55
<b>8.</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>59</b>
<b>9.</b>	<b>Bibliographie .....</b>	<b>61</b>



## 1 Curriculum Vitae

### 1.1 État civil

Benoît Geslin  
Né à Paris (75012)  
le 16/07/1986 (36 ans)  
Docteur en Ecologie

### Adresse professionnelle :

*Maître de Conférences*  
Aix Marseille Université  
*Vulnérabilité des Ecosystèmes et Conservation (VEC)*  
*Institut Méditerranéen de Biodiversité et*  
*d'Écologie marine et continentale (IMBE)*  
Facultés St Jérôme- 13397 Marseille cedex 20  
Tel. : 0618378405  
[benoit.geslin@imbe.fr](mailto:benoit.geslin@imbe.fr)/[benoitgeslin@gmail.com](mailto:benoitgeslin@gmail.com)

### 1.2 Cursus professionnel

- 2022-2023 **Délégation CNRS** – UMR 6553 Ecobio. Université de Rennes. Collaboration Aude Ernoult, Joan Van Baaren, Hélène Audusseau & Cecile Le Lann.
- 2015 - ... **Maître de conférences.** Enseignant chercheur Aix Marseille Université, au sein de l'Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie Marine et Continentale (IMBE) équipe VEC : Vulnérabilité des écosystèmes et conservation.  
Obtention de la Prime d'Encadrement Doctoral & Recherche (PEDR) obtenue en 2019 pour une durée de 4 ans.
- 2015 **Post-doctorat** de recherche sur les pratiques de gestion visant à améliorer la pollinisation et la production de pommes et de poires. UNRN, Argentine. Collaborations : Lucas Garibaldi, Marcello Aizen & Bernard Vaissière.
- 2013 **Mission post-doctorale.** Analyse de la diversité de la faune pollinisatrice des manguiers et de la réponse des communautés aux changements d'occupation des sols. Afrique du Sud. Collaborations : Elisa Thébault & Franck van Veen.
- 2012-2014 **Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche.** Université de Versailles Saint-Quentin. Enseignement en évolution, biologie cellulaire, écologie générale, statistiques. Collaboration : Florence Richard.
- 2009 - 2012 **Vacations d'enseignement.** Université Pierre et Marie Curie, Agroparistech. Ecologie du paysage, biodiversité, évolution.
- 2009 **Stage recherche (Master 2).** Laboratoire ECOBIO, Université de Rennes 1 Dir. Aude Ernoult. Continuités écologiques et Biodiversité.
- 2008 **Stage recherche (Master 1).** Laboratoire ECOBIO, Université de Rennes 1 Dir. Violette Le Féon & Françoise Burel. Abeilles et colza.

### 1.3 Diplômes

2009 - 2013 **Doctorat d'Ecologie**

*Etude multi-scalaire de l'impact des perturbations anthropiques sur l'écologie des insectes pollinisateurs : du comportement à la structure des communautés.*

Réalisé au Laboratoire iEES-Paris UMR 7618. Ecole Normale Supérieure & Université Pierre et Marie Curie. Sous la direction d'Isabelle Dajoz.

**Mention très honorable avec félicitations du jury :** Pr William E. Kunin (Université de Leeds, rapporteur) - Dr John D. Thompson (CEFE, Montpellier, rapporteur) - Dr Mickaël Henry (INRA, Avignon, examinateur) - Pr Nicolas Loeuille (UPMC, Paris, Président)

- 2008 - 2009 **Master 2.** Ecologie Comportementale Fonctionnelle et Evolutive (EFCE). Université de Rennes 1.
- 2007 – 2008 **Master 1.** Biologie des Organismes, des Populations et des Ecosystèmes (BOPE). Université de Rennes 1.

## 2 Productions

### 2.1 Articles parus dans des revues à comité de lecture indexées

- A 35 Meunier J-Y, **Geslin B**, Issertes M, Mahé G, Vyghen F, Labrique H, Dutour Y, Poncet V, Migliore J, Neve G (2023) Apoidea of the collections of Lyon, Aix-en-Provence, Marseille and Toulon Museums of Natural History (France). *Biodiversity Data Journal*. Accepted – Preprint accessible: <https://doi.org/10.3897/arphapreprints.e99673>
- A 34 Carisio L, Schurr L, Masotti V, Porporato M, Nève G, Affre L, Gachet S. & **B. Geslin**. Estimates of nectar productivity through a simulation approach differ from the nectar produced in 24 h *Functional Ecology*. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.14210>
- A33 Fauviau A, Baude M, [...] **Geslin B**, [...] & M. Henry. 2022. Which urban reality for bees? A large-scale dataset reveals specificities of wild bee communities in urban habitats of Western Europe. *Scientific Reports* <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21512-w>
- A 32 Jaworski C, **Geslin B.**, Zakardjian M, Lecareux C, Caillault P, Nève G, Meunier JY, Dupouyet S, Sweeney A, Lewis OT, Dicks L. & C. Fernandez. 2022. Long-term experimental drought alters floral scent and pollinator visits in a Mediterranean plant community despite overall limited impacts on plant phenotype and reproduction. *Journal of Ecology*. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13974>
- A 31 Schurr L, Masotti V., **Geslin B**, Gachet S., Mahé P., Jeannerod L., & L. Affre. 2022. To what extent is fennel crop dependent on insect pollination? *Agriculture Ecosystems & the Environnement*. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108047>
- A 30 Lanner J, Dubos N, **Geslin B.**, Leroy B, Hernández-Castellano C, Bila Dubaić J, Bortolotti L, Diaz Calafat J, Četković A, Flaminio S, Le Féon V., Margalef-Marrassé J, Orr M, Pachinger B, Ruzzier E, Smagghe G, Tuerlings T., Vereecken N, & Meimberg H., 2022. On the road: Anthropogenic factors drive the invasion risk of a wild solitary bee species. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154246>
- A 29 Lair X, Ropars L, Skevington J.H, Kelso S, **Geslin B.**, Minssieux E., & Neve G, Revision of Pelecocera from France: Taxonomy, Ecology and Distribution (Diptera: Syrphidae). 2022. *Zootaxa*, Accepted. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.5141.1.1>
- A 28 Ropars L, Affre L, Thébault E., & **B. Geslin**. 2021. Seasonal dynamics of competition between honeybees and wild bees in a protected Mediterranean scrubland. *Oikos* <https://doi.org/10.1111/oik.08915>
- A 27 Schatz, B, Drossart, M., Henry, M., **Geslin, B.**, Allier, F., Colette, S., Gérard, M., & Michez, D., 2021. Pollinator conservation in the context of global changes with a focus on France and Belgium. *Acta Oecologica*. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2021.103765>

- A 26 Ropars L, Affre L, & **B. Geslin**. Morphometric identification of honey bee subspecies reveals a high proportion of hybrids within a Mediterranean protected area. 2021. *Journal of Apicultural Research*. <https://doi.org/10.1080/00218839.2021.1950973>
- A 25 Schurr, L; **Geslin, B**; Affre, L; Gachet, S; Delobeau, M; Brugger, M; Bourdon, S; & Masotti, V. 2021. Landscape and Local Drivers Affecting insect flying along fennel crops (*Foeniculum vulgare*, Apiaceae) and Implications for Its Yield. *Insects*. <https://doi.org/10.3390/insects12050404>
- A 24 Senapathi D, Fründ J, Albrecht M, [...] **Geslin B**, [...] & A-M Klein. 2021. *Wild insect diversity increases inter-annual stability in global crop pollinator communities*. *Proceedings of the Royal Society B*. <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.0212>
- A 23 Lanner J, Gstöttenmayer F., Curto M, **Geslin B**, Huchler K, Orr M, Pachinger B, Sedivy C., & H. Meimberg 2021. Evidence for multiple introductions of an invasive wild bee species currently under rapid range expansion in Europe. *BMC Ecology & Evolution*. **21**, **17**. <https://doi.org/10.1186/s12862-020-01729-x>
- A 22 Zakardjian M, **Geslin B**, Mitran V, Franquet E, & H. Jourdan. 2020. Effects of urbanization on plant-pollinator interactions in the tropics: an experimental approach using exotic plants. *Insects*. <https://doi.org/10.3390/insects11110773>
- A 21 Stevenson P. C., Bidartondo M., Blackhall-Miles R., Cavagnaro T. R., Cooper A., **Geslin B**, Koch H., Lee M.A., Moat J., O'Hanlon R., Sjöman H., Sofo A., Stara K. & L. M. Suz. 2020. The State of the World's Urban Ecosystems: what can we learn from trees, fungi, and bees? *Plants, People, & Planet*. <https://doi/10.1002/ppp3.10143>
- A 20 Ropars L, Affre L, Aubert M, Fernandez C, Flacher F, Genoud D, Guiter F, Jaworski C, Lair X, Mutillod C, Nève G, Schurr L & **B. Geslin**. 2020 Pollinator specific richness and their interactions with local plant species: ten years of sampling in Mediterranean habitats. *Environmental Entomology*. <https://doi.org/10.1093/ee/nvaa061>
- A 19 Ropars L, Affre L, Schurr L, Flacher F, Genoud D, Mutillod C, & **B. Geslin**. 2020. Land cover composition, local plant community composition and honeybee colony density affect wild bee species assemblages in a Mediterranean biodiversity hot-spot. *Acta Oecologica*. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103546>
- A 18 Rankovic A, **Geslin B**, Perrard A, Barbillon A, Vaury V, Abbadie L & I. Dajoz. 2020. Urbanization effects on wild bee carbon and nitrogen stable isotope ratios in the Paris region. *Acta Oecologica*. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103545>
- A 17 Flacher F, Raynaud X, Motard E, Hansart A, **Geslin B**. Verstraet S, Bataille M, & I. Dajoz. 2020. Belowground competition alters attractiveness of an insect-pollinated plant to pollinators. *Annals of Botany – Plants*. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plaa022>
- A 16 **Geslin B**, Gachet S, Deschamps-Cottin M, Flacher F, Ignace B, Knoploch C, Meineri E, Robles C, Ropars L, Schurr L & Le Féon V. 2020 Bee hotels host a high abundance of exotic bees in an urban context. *Acta Oecologica*. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103556>
- A 15 Ropars, L, Dajoz, I, Fontaine, C, Muratet, A, & **B. Geslin**, 2019. Wild pollinator activity is negatively related to honey bee colony densities in urban context. *Plos One*. <https://doi.org/10.1101/667725>
- A 14 Schurr L, Affre L, Flacher F, Tatoni T., Le Mire Pecheux L, & **B. Geslin**, 2019. Pollination insights for the conservation of a rare, threatened plant species (*Astragalus tragacantha*, Fabaceae). *Biodiversity and Conservation*. pp 1–21 <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01729-4>
- A 13 Sáez, A, di Virgilio, A, Tiribelli, F. & **Geslin, B**. 2018. Simulation models to predict pollination success in apple orchards: a useful tool to test management practices. *Apidologie* 49: 551-561. <https://doi.org/10.1007/s13592-018-0582>

- A12 Le Féon V, Aubert M, Genoud D, Andrieu-Ponel V, Westrich P & **Geslin B.** 2018. Range expansion of the Asian native giant resin bee *Megachile sculpturalis* (Hymenoptera, Apoidea, Megachilidae) in France. *Ecology & Evolution*. 1–9. <https://doi.org/10.1002/ece3.3758>
- A11 **Geslin B.**, Aizen M. A., Garcia N., Pereira A. J., Vaissière B. E., & L. A. Garibaldi. 2017. The impact of honey bee colony quality on crop yield and farmers' profit in apples and pears. *Agriculture, Ecosystems & the Environment* 248: 153-161 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.035>
- A10 **Geslin B.**, Gauzens B, Baude M., Dajoz I., Fontaine C., Henry M., Ropars L, Rollin O., Thébault E., & N.J. Vereecken. 2017. Massively Introduced Managed Species and their consequences for plant-pollinator interactions. *Advances in Ecological Research* 57: 147-199. **Highly Cited Paper 2017.**
- A9 Flacher F., Hansart A., **Geslin B.**, Dajoz I. & Raynaud X. 2017. Does competition with wind-pollinated species alter *Echium plantagineum* attractiveness to a common pollinator *Bombus terrestris*? *Ecological Entomology* – <https://doi.org/10.1111/een.12426>
- A8 Guiller C., Affre L., Deschamps-Cottin M., **Geslin B.**, Kaldonski N., & T. Taton. 2017. Impacts of solar energy on butterfly communities in mediterranean agro-ecosystems *Environmental progress & sustainable energy* <https://doi.org/10.1002/ep.12626>
- A7 **Geslin B.**, Le Féon V., Folschweiller M., Flacher F., Motard E., Carmignac D. & I. Dajoz. 2016. The proportion of impervious surfaces at the landscape scale structures wild bee assemblages in a densely populated region. *Ecology and Evolution* 6: 6599-6615. <https://doi.org/10.1002/ece3.2374>
- A6 **Geslin B.**, Oddie M., Folschweiller M., Legras G., Seymour C. L., F.J. Frank van Veen & E. Thébault. 2016. Spatiotemporal changes in flying insect abundance and their functional diversity as a function of distance to natural habitats in a mass flowering crop *Agriculture, Ecosystems & Environment* 229: 21-29 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.05.010>
- A5 **Geslin B.**, Le Féon V., Kuhlman M., Vaissière B. & I. Dajoz. The bee fauna of large parks in downtown Paris, France. 2016. *Annales de la société Entomologique de France*. <https://doi.org/10.1080/00379271.2016.1146632>
- A4 **Geslin B.**, & C. Morales. 2015. New records reveals geographic expansion of *Bombus terrestris*; an invasive species in Argentina. 2015. *Checklist* 11: 3-5
- A3 Motard E, Dusz S, **Geslin B.**, Akpa-Vinceslas M., Hignard C., Babiar O., Clair-Maczulajty D. & A. Michel-Salzat. 2015. How invasive populations of *Ailanthus altissima* transform the trophic structure in a temperate forest ecosystem. *Biological Invasions*. <https://doi.org/10.1007/s10530-014-0838-3>
- A2 **Geslin B.**, Baude M., Mallard F. & I. Dajoz. 2014. Effect of local spatial plant distribution and conspecific density on bumble bee foraging behaviour. *Ecological Entomology* 39: 334-342
- A1 **Geslin B.**, Gauzens B, Thébault E. & I. Dajoz. 2013. Plant pollinator networks along a gradient of urbanisation. *PLoS ONE* 8(5):e63421 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063421>

## 2.2 Publications dans des revues à comité de lecture non-indexées

- N1 Le Féon V., **Geslin B.**, Al Hassan D., Aviron S., Dufrière E., Genoud D., Guilbaud L., Guilloux T., Houdédry L., Jégat R., Paris D., Requier F., & B. Vaissière. 2016. Connaissance des abeilles sauvages dans le Massif armoricain : données apportées par trois programmes de recherche des années 2000. *Invertébrés Armoricaïns* 13 : 31-51
- N2 Ropars L, Dajoz I, & **Geslin B.** 2017. La ville un désert pour les abeilles sauvages ? *J. Soc. Bot. France* 79 : 29-35
- N3 Andrieu-Ponel V., Ponel P., Le Féon V., **Geslin B.**, & G. Duvallet. 2018. À propos du comportement de butinage de *Megachile sculpturalis* Smith, 1853, en France méditerranéenne (Nîmes et Montpellier) (Hymenoptera, Megachilidae). *Bulletin de la Société Entomologique de France*. 123, 2018 : 49-54.

- N4 Ropars, L., Dajoz, I., **Geslin, B.**, 2018. La diversité des abeilles parisiennes. *Osmia* 7, 1–6.
- N5 Le Féon, V., **Geslin, B.**, 2018. Écologie et distribution de l'abeille originaire d'Asie *Megachile sculpturalis* SMITH 1853 (Apoidea – Megachilidae – Megachilini) : un état des connaissances dix ans après sa première observation en Europe. *Osmia* 1853, 31–39.
- N6 **Geslin B.**, Vereecken N., Roberts S., Murat Aytekin A., Genoud D., Aubert M., Burdon R., Ruiz C., Fisogni A., Flacher F., Grabowski M., Jacquemin F., Khvir V., Kirkitadze G., Klumpers S., Levy K., Maher S., Markov Z., Perrard A., Roquer L., Ropars L., Schurr L., Varnava A., & D. Michez. 2018. Compte rendu des captures réalisées lors de la formation Européenne à la détermination des abeilles (COST Super-B Project) dans le Parc National des Calanques. *Osmia* 7 : 20–25.
- N7 Le Féon V. & **Geslin B.** 2018. *Megachile sculpturalis*, une abeille venue d'Asie. *Le Courrier de la Nature*. 313- 8 :11
- N8 Le Féon, V., D. Genoud & **B. Geslin**. 2021. Actualisation des connaissances sur l'abeilles *Megachile sculpturalis* Smith, 1853 en France et en Europe. *Osmia*, 9: 25–36. <https://doi.org/10.47446/OSMIA9.4>
- N9 **Geslin B.** 2021. Rendre la ville accueillante pour les abeilles. *Metropolitiques*. <https://metropolitiques.eu/Rendre-la-ville-accueillante-pour-les-abeilles.html>.

### 2.3 Chapitres d'ouvrages

- C1 **Geslin B.** Les abeilles sauvages Anthophila dans : « La faune des Bouches-du-Rhône », Coordinateurs : Johanet A. & Kabouche B., Editions Biotope. 2018. 416pp <https://paca.lpo.fr/association-protection-nature-lpo-paca/editions/la-faune-des-bouches-du-rhone>
- C2 Antonelli, A.\*, [...] **Geslin, B.**, [...] & B.G. Zhang. 2020. State of the World's Plants and Fungi 2020. *Royal Botanic Gardens, Kew*. <https://doi.org/10.34885/172> 100pp
- C3 Zakardjian, M., Jourdan, H., Le Féon, V., & **Geslin, B.**, 2022. Assessing the impact of alien bees on native ones. In: Kevan, P.G., Willis Chan, D.S. (Eds.), *Promoting Pollination and Pollinators in Farming*. Cambridge, pp. 225–256. <https://doi.org/10.19103/AS.2022.0111.17>
- C4 Adedoja O., Calixto E.S., **Geslin B.**, Kehinde T., & R. E. Mallinger. Interaction networks: their limitations and applicability to insect conservation and management. *Routledge Insect Conservation Book*. Chapter 13. edited by J. Pryke, M. Samways, T. New, P. Cardoso & R. Gaigher - Accepted

### 2.4 Articles de Vulgarisation

- V1 **Geslin B.** & A. Rankovic, Abeilles en danger : n'oublions pas de protéger les espèces sauvages. *The Conversation*. 16/02/2017 <https://theconversation.com/abeilles-en-danger-noublions-pas-de-protger-les-especes-sauvages-71240>
- V2 **Geslin B.** Faut-il installer une ruche ? *L'Ecologiste*. 2017 49- 48 :50 <http://www.ecologiste.org>
- V3 **Geslin B.** Reine de l'incruste. Article dans « La Salamandre ». 2018. <https://www.salamandre.net/article/abeille-solaire-invasive/>
- V4 **Geslin B.** Elvire, 10 ans : « Est-ce que c'est vrai que sans les abeilles, on peut pas vivre ? ». 2019. *The Conversation*. <https://theconversation.com/elvire-10-ans-est-ce-que-cest-vrai-que-sans-les-abeilles-on-peut-pas-vivre-108786>
- V5 Jaworski C. Fernandez C. & **B. Geslin**. Changement climatique : les abeilles déboussolées par la nouvelle odeur des fleurs. 2019. *The Conversation*. <https://theconversation.com/changement-climatique-les-abeilles-deboussolees-par-la-nouvelle-odeur-des-fleurs-114776>
- V6 Jaworski C. Fernandez C. & **B. Geslin**. 2019. Climate change: bees are disorientated by flowers' changing scents. *The Conversation*. <https://theconversation.com/climate-change-bees-are-disorientated-by-flowers-changing-scents-119256>

### 3 Communications scientifiques

#### 3.1 Communications dans des congrès internationaux et nationaux

- C14 **Geslin B.** 2022. The misplaced management of Bees. 2022. Festival International des Abeilles de Groix. Association Pollinis, Juillet 2022. Oral.
- C13 **Geslin B.** 2021. *Osmia*, A journal of Hymenopterology. 2021. Conference of the GDR Pollinéco Toulouse France.
- C12 **Geslin B.,** S. Gachet, M. Deschamps-Cottin, C. Robles, L. Schurr, L. Ropars, F. Flacher, C. Knoploch, B. Ignace & V. Le Féon. 2019. Bee hotels as a tool to monitor the expansion of the exotic bee *Megachile sculpturalis*. Conference of the GDR Pollinéco. Montpellier France.
- C11 **Geslin B.,** S. Gachet. M. Deschamps-Cottin, C. Robles, L. Schurr, L. Ropars, F.Flacher, C. Knoploch, B. Ignace1 & V. Le Féon. 2018 Bee hotels as a tool to monitor the expansion of the exotic bee *Megachile sculpturalis*. Congrès de la SFE. Rennes France.
- C10 **Geslin B.,** M. Aubert, D. Genoud, V. Andrieu-Ponel, P. Westrich & V. Le Féon. 2017. Range expansion of the Asian native Giant Resin Bee *Megachile sculpturalis* in France- Joint congress GFO-BES- Gand Belgique.
- C9 **Geslin B.** 2017. Accroissement de la répartition géographique de *Megachile sculpturalis* en France. Journée de l'OHM Bassin Minier de Provence - Marseille, France.
- C9 **Geslin B.** & L. Affre. 2017. Conciliation entre abeilles sauvages et domestiques. Journée de l'OHM Littoral. Marseille, France.
- C8 **Geslin B.** 2016. La ville : un refuge pour quelle pollinisation ? Colloque « Les pollinisations » organisé par la Société Botanique de France. Paris – Oral
- C7 **Geslin B.** Rankovic A. Barbillon A. & I. Dajoz. 2015. Ecology at the Interface The  $\delta$  15 Nsignature of pollinating insects along an urbanization gradient in the Ile-de-France region. 2015. The 13th European Ecological Federation (EEF) and 25th Italian Society of Ecology's-joint conference - Rome 21 – Oral
- C6 **Geslin B.,** Aizen M.A., Garcia N., Pereira A.J., Vaissière B.E., & L. A. Garibaldi. 2015. Pollinator-friendly practices to enhance sustainability and crop production in apples and pears. Accepté pour le 27th International Congress for Conservation Biology in Montpellier. - Oral
- C5 **Geslin B.,** Motard E., Dajoz I., Flacher F., Raynaud X., Thébault E., Fontaine C. et al., 2014 Buzz in Paris, Impact de l'urbanisation sur les communautés de plantes et de pollinisateurs. Colloque Quelle Nature en ville ? Nature parif, Paris, France - Oral
- C4 **Geslin B.,** Dajoz I., Flacher F., & X. Raynaud 2012. Réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs et difficultés liées à l'acquisition des données. Journées interactions entre plantes et pollinisateurs : réseaux, dynamique, évolution et modélisation. Université de Lille 1. Lille France - Oral
- C3 **Geslin B.,** Gauzens B., Thébault E., & I. Dajoz. 2012. Impact of local heterogeneity and landscape context on the plant pollinator networks. *The web of life in a changing world*. Montpellier, France - Poster
- C2 **Geslin B.,** Baude M., Delattre T., Rantier Y. & I. Dajoz. 2011 Studying the impact of local heterogeneity on the foraging behavior of bumblebees (*Bombus terrestris*) and on the reproductive success of a floral community. *Responding to Rapid Environmental Change; 12th Congress of the European Ecological Federation*. Avila, Spain. - Poster

C1 **Geslin B.**, & I. Dajoz. 2010 Change in bumblebees behaviour facing variation in density of conspecifics and change in spatial plant distribution. *Congress of the French ecological society. Montpellier, France.* – Poster

### 3.2 Co-auteur de communications internationales et nationales

- P33 Zakardjian M., Jourdan H., Mahé P. & **B. Geslin**. 2022. Ultramafic soils select plant-pollinator interactions in New Caledonia. Joint Congress SFE-GFO. Metz.
- P32 Zakardjian M., Jourdan H., Mahé P. & **B. Geslin**. 2022. Ultramafic soils select plant-pollinator interactions in New Caledonia. Conférence of the GDR Pollinéco. Paris.
- P31 Zakardjian M., Jourdan H., Diagne C., Franquet E., & **B. Geslin**. 2022 Exobees, a database of non-eusocial alien bee species in the world. IUSSI 2022. San Diego. USA.
- P30 Tsang P.N.T., Amado De Santis A., [...] **Geslin B.**, [...] & T. Bonebrake. Urbanization reduces taxonomic, functional and phylogenetic diversity in bee communities. 2022. Protecting Pollinators in Urban Landscapes. Athens, GA, USA.
- P29 Argote K., Santonja M., C. H. Albert & **B. Geslin**, 2022. Effect of habitat fragmentation on biodiversity: a laboratory experiment focusing on the effect of landscape matrix on soil microarthropods. IALE congress Varsovie, Pologne.
- P28 Argote K., **Geslin B.**, Santonja M., & C. H. Albert. Food Perception Capacity and Movement Patterns in Function of Leaf-litter Quality in Collembola (*Folsomia candida*) - May 2022 - 29ème Congrès de l'école doctorale Sciences de l'environnement Aix-Marseille Université
- P27 Carisio L., L. Schurr, V. Masotti & **B. Geslin**. 2021. Nectar in fennel crop is dependent on insect visitation. *BES -SFR joint congress– Liverpool* England.
- P26 Schurr L., V. Masotti & **B. Geslin**. 2021. Is fennel crop dependent on insect pollination? *BES -SFR joint congress– Liverpool* England.
- P25 Zakardjian M., H. Jourdan & **B. Geslin**. 2021. A data base for exotic bees in the world – *GDR Pollinéco Toulouse* France.
- P25 Schurr L., V. Masotti & **B. Geslin**. 2021. Is fennel crop dependent on insect pollination? *GDR Pollinéco – Toulouse* France.
- P24 Schurr L., V. Masotti & B. Geslin. 2021. Is fennel crop dependent on insect pollination? *Congrès Mondial de la Nature. Marseille.* France
- P23 Ropars L., L. Affre, E. Thébault, & **B. Geslin**. 2020. Seasonal dynamic of competition between honeybees and wild bees in a Mediterranean protected crubland. Scandinavian Association for Pollination Ecology. England.
- P22 Schurr L., L. Affre, V. Masotti, **B. Geslin** & S. Gachet. 2020. Interaction fenouil aromatique-insectes floricoles : les insectes sont-ils indispensables à la formation de graines chez le fenouil ? Deuxième congrès du GDR Pollinéco. Mons. Belgique
- P21 Ropars L., L. Affre, E. Thébault, & **B. Geslin**. 2020. Quelle compétition pour les ressources florales entre abeilles domestiques et abeilles sauvages au sein d'une garrigue méditerranéenne – Deuxième congrès du GDR Pollinéco. Mons. Belgique
- P20 Zakardjian M., H. Jourdan, E. Franquet & **B. Geslin**. 2020. Interaction between exotic bees and exotic plants in New Caledonia: an invasional meltdown? – Deuxième congrès du GDR Pollinéco. Mons Belgique
- P19 Jaworski C., M. Zakardjian, P. Caillault, G. Nève, J.-Y. Meunier, S. Dupouillet, C. Lecareux, C. Fernandez, A. Sweeney, O. Lewis, & **B. Geslin**. 2020. Comment le changement climatique affecte les traits floraux et les ressources pour les pollinisateurs – Deuxième congrès du GDR Pollinéco. Mons Belgique
- P18 Lair X., Ropars L, **Geslin B.**, Minssieux E., & G. Nève. Revision of *Pelecocera* from France, and description of a new species (Diptera: Syrphidae)- 10th International Symposium on Syrphidae – 2019 - Mytilène - Greece.
- P17 Flacher F., X. Raynaud, A. Hansart, **B. Geslin**, E. Motard, S. Verstraet, M. Bataille, I. Dajoz La compétition pour les ressources avec des plantes anémophiles modifie l'attractivité aux pollinisateurs sauvages des plantes entomophiles. 2019. Conférence of the GDR Pollinéco - Montpellier France.

- P16 Jaworski C., M. Zakardjian, P. Caillault, G. Nève, J.-Y. Meunier, S. Dupouillet, C. Lecareux, C. Fernandez, & B. **Geslin** Pollinisation dans un monde plus sec : impact du changement climatique sur les traits floraux, le réseau de pollinisation et la reproduction des espèces florales 2019 Conference of the GDR Pollinéco - Montpellier France.
- P15 Ropars L. Affre L. **Geslin B.** 2019. Toward a conciliation between beekeeping activities and wild pollinator fauna in the Calanques National Park. Congrès de la Société Française d'Ecologie et d'Evolution - Conference of the GDR Pollinéco - Montpellier France.
- P14 Schurr L, Affre L, Flacher F, Taton T, Le Mire Pecheux L. & **Geslin B.** 2019. Importance of mating system and pollinator activity in the conservation of an endangered plant species (*Astragalus tragacantha*, Fabaceae). Conference of the GDR Pollinéco - Montpellier France.
- P13 Schurr L, Affre L, Masotti V, **Geslin B.** & S Gachet – 2019. Présentation des axes de recherche de la thèse CIFRE (IMBE-RICARD) sur l'implication des insectes pollinisateurs dans la reproduction sexuée du fenouil (*Foeniculum vulgare*, Apiaceae) - Conference of the GDR Pollinéco - Montpellier France.
- P12 Jaworski C., Fernandez C., **Geslin B.** 2018. Pollination in a drier world: how climate change affects pollination networks via the alteration of floral traits. Conférence internationale d'Ecologie, SFE – Rennes. France.
- P12 Schurr L, Affre L, Flacher F, Taton T, Le Mire Pecheux L. & **Geslin B.** 2018. Rôle des pollinisateurs dans la reproduction d'une plante menacée et protégée : le cas de l'Astragale de Marseille (*Astragalus tragacantha*, Fabaceae) dans le Parc National des Calanques (Marseille, France). 9e Conférence de la CIFE Montpellier France.
- P11 L. Ropars ; I. Dajoz, C. Fontaine, **B. Geslin**- 2017- Which impacts of honeybee introductions on pollination networks in urban habitats ? - *Joint congress GFO-BES- Gand Belgique.*
- P10 Garibaldi L. A., Andersson G., Garcia N., **Geslin B.**, Aizen M., Agüero J., Morales C., Quintero C., Gennari G., Polinización de pera y manzana - Importancia de la calidad de las colmenas. *Neuquen, Argentina* - Oral. 2017
- P9 Rankovic, A., **Geslin, B.**, Barbillon, A., Vauray, V., Abbadie, L., Dajoz, I. Biodiversité urbaine et pollinisateurs. Colloque de bilan du programme interdisciplinaire « Politiques de la Terre à l'épreuve de l'Anthropocène », 14 juin 2016, *Sciences Po, Paris* – Oral
- P8 Flacher F., Hansart A., **Geslin, B.**, Dajoz I. & X. Raynaud Does competition with wind-pollinated species alter *Echium plantagineum* attractiveness to a common pollinator, *Bombus terrestris*? *SFécologie 2016. Marseille* - Oral
- P7 Ropars L., Dajoz I., Fontaine C., & **Geslin B.** Which impacts of domesticated honeybee introductions and management practices on the pollination ecosystem service in urban habitats. *SFécologie 2016. Marseille* – Poster -**Prix du Meilleur Poster.**
- P6 Le Féon V. & **Geslin B.** Recent range expansion of *Megachile sculpturalis* (Apoidea, Megachilidae) in France since its first record in 2008. *SFécologie 2016. Marseille* - Poster
- P5 Ropars L., Dajoz I., Fontaine C., & **Geslin B.** Interactions entre abeilles sauvages et abeilles domestiques en milieu urbain. *Rencontres Apoidea Gallica 2016 –Rennes* - Oral
- P4 Garibaldi, L. G. & **B. Geslin.** 2015. Pollinators are promoting agricultural production: global and future tendencies for apples and pears. 2014. *Conferencias sobre la producción de frutales. Centro Pyme, Neuquen, Argentina* - Oral.
- P3 Dajoz I., **Geslin B.**, Flacher F., Gauzens B., Motard M, Raynaud X., & E. Thébault. 2014 Ecosystem services of plant-pollinator networks. *Conference at the Imperial College. Silwood Park, United Kingdom* -Oral
- P2 Dajoz I., **Geslin B.**, Garlatti F., & M. Palibrk. 2014. Anthropisation des milieux et services écologiques: pollinisation et pollinisateurs en milieux urbains. *Politiques de la Terre à l'épreuve de l'Anthropocène, Institut de Sciences Politiques, Paris, France* - Oral
- P1 Barbillon A., Dajoz I, Rankovic A., & **B. Geslin.** 2014. The  $\delta^{15}\text{N}$  isotopic signature and morphological traits of pollinating insects along an urbanization gradient in the Ile-de-France region. *Annual Scientific Meeting of the Institute of Ecology and Environmental Sciences of Paris. France.* Poster

### 3.3 Conférences Grand Public

- C33 **Geslin B.** 2022. Les pollinisations – Les pollinisateurs. Conférence à la Mairie d'Allauch. France.

- C32 **Geslin B.** 2022. Les rencontres scientifiques Enseignants – Chercheurs. Le futur des pollinisateurs. Arbois. France.
- C31 **Geslin B.** 2021. La pollinisation à l'heure de l'anthropocène. Webinaire organisé par l'OFB. Marseille. France.
- C30 **Geslin B.** 2021. Les rencontres scientifiques Enseignants – Chercheurs. Le futur des pollinisateurs. Arbois. France.
- C29 **Geslin B.** 2020. Aider les abeilles ? Conférence à l'Office Française pour la Biodiversité. Montpellier. France.
- C28 **Geslin B.** 2020. La pollinisation face au réchauffement climatique. Conférence invitée. DLV 2030 - Manosque. France
- C27 **Geslin B.** 2020. Le Pollen dans tous ses états. Formation continue pour enseignants du lycée. Arbois Aix en Provence. France.
- C26 **Geslin B.** 2019. Pollination in the Anthropocene. Laboratoire Ecologie des Communautés. Oxford. England. UK.
- C25 **Geslin B.** 2019. Les pollinisations – Les pollinisateurs. L'urgence écologique au cœur du dialogue scientifique politique et citoyen. Marseille – France.
- C24 **Geslin B.** 2019. Les pollinisations – Les pollinisateurs. Journées Abeilles et Environnement. Aubagne - France
- C23 **Geslin B.** 2019. Une petite histoire de la ville et de ses jardins. GREC SUD. Marseille - France
- C22 **Geslin B.** 2018. Les pollinisations – Les pollinisateurs. Muséum Aix-en-Provence. Marseille – France. <https://www.echosciences-paca.fr/communautes/reseau-culture-science-paca/evenements/les-pollinisateurs-les-pollinisations>
- C21 **Geslin B.** 2018. Les pollinisations – Les pollinisateurs. Mairie du XI & XII arrondissements. Marseille – France.
- C20 **Geslin B.** 2018. Premières assises des pollinisateurs en ville. Deux conférences sur a) les services écosystémiques, b) la notion de compétition. [http://www.besancon.fr/index.php?p=2054&art\\_id=6594](http://www.besancon.fr/index.php?p=2054&art_id=6594). Besançon France.
- C19 **Geslin B.** 2018. Conférence invité à Bruxelles par Apis Bruoc Sella. 2018. Conférence-formation Quelle ville pour les abeilles ? Quelles abeilles en ville ? Bruxelles, Belgique.
- C18 **Geslin B.** Les Mecredis d'Endoume. Station Marine d'Endoume. 2018. Les pollinisations – Les pollinisateurs. France. <https://www.youtube.com/watch?v=lku3ZKPxNH0>
- C17 **Geslin B.** 2018. Les pollinisations – Les pollinisateurs. Jeudi de la BU de St Charles. Marseille – France.
- C16 **Geslin B.** 2018. Les pollinisations – Les pollinisateurs et leurs liens avec la production agricole mondiale. EPL Valabre Gardanne– France.
- C15 **Geslin B.** 2017. Premier bilan des recherches en cours sur la Métropole de Marseille en lien avec la pollinisation. Conférence de Presse. Marseille – France.
- C14 **Geslin B.** 2017. Les pollinisations – Les pollinisateurs. Association Abhio Calanques. Marseille - France
- C13 **Geslin B.** 2017. Les pollinisations – Les pollinisateurs. Lycée Antonin Artaud. Marseille - France
- C12 **Geslin B.** 2017. Les pollinisations – Les pollinisateurs. Journées Abeilles et Environnement. Aubagne - France
- C11 **Geslin B.** 2017. Les pollinisations – Les pollinisateurs. 'IRD de Nouméa. *Nouvelle Calédonie* - France
- C10 **Geslin B.** 2017. Présentation de l'article : "Massively Introduced Managed Species and their consequences for Plant-Pollinator interactions". Rencontres *Apoidea Gallica* Tours. – Oral
- C9 **Geslin B.** 2016. Compétition abeille domestique-abeilles sauvages ? Rencontre des Parcs Nationaux. Organisée par Parcs Nationaux de France. *Ollières, France*.
- C8 **Geslin B.** 2015. Management practices to enhance honeybee pollination in Apples and Pears. *Universidad Nacional del Comahue. San Carlos de Bariloche Argentina.* - Oral
- C7 **Geslin B.** 2014. Interactions plantes-pollinisateurs en région Ile-de-France. *Parc Naturel Régional de la Haute Vallée de Chevreuse*.

- C6 **Geslin B.** 2014. Adaptation : impacts sur la structure et le fonctionnement des réseaux. *CEREEP-Ecotron Ile-de-France, Station Ecologique de Foljuif.*
- C5 **Geslin B.** 2012. Impact de la fragmentation des habitats sur les services écosystémiques. *Réseau de développement soutenable. Paris.*
- C4 **Geslin B.** 2011. Impact of habitat fragmentation and urbanization on the ecosystem services of pollination. *Journées scientifiques du Laboratoire BIOEMCO.*
- C3 **Geslin B.** 2011. Les pollinisateurs en région Ile-de-France. *Parc Naturel Régional de la Haute Vallée de Chevreuse.*
- C2 **Geslin B.** et al. 2010. Service de pollinisation et urbanisation. *Colloque international du Groupe d'étude à l'étude de l'Ingénierie Ecologique. Paris*
- C1 **Geslin B.** 2010. Studying the impact of local heterogeneity on the foraging behavior of *Bombus terrestris* and on the reproductive success of a floral community. *CEREEP-Ecotron Ile-de-France, Station Ecologique de Foljuif.*

### 3.4 Séminaires et autres interventions

- S1 **COST-SUPER B – Séminaire** 2016. Invité autour de la question des Abeilles en ville. Workshop et création d'un groupe de travail autour de la question de l'Urbanisation.
- S2 **SYMPOSIUM** – 2018. Responsable du symposium - Les Pollinisations - dans le cadre de la conférence SFEcologie2018 à Rennes. Conférence Invité.
- S3 **Projet COPOLL** – 2021 - Expert sur le sujet compétition abeilles sauvages domestiques – IRD Gif sur Yvette (Porteur F. Requier).
- S4 **Pollinisateurs et aires protégées.** 2022. Co-Organisation d'une journée de restitution pour les gestionnaires d'aires protégées– Pollinisation, Compétition, Gestion. Avec Ropars L. Schatz B. & G. Kerdoncuff. Montpellier.

### 3.5 Responsabilités dans le monde de la recherche

- 2022-2027 Co-Responsable de l'**Axe 1** « Description et connaissance de la biodiversité » du futur quinquennal de l'IMBE pour la période 2024-2029
- 2021-2026 Membre nommé *intuitu personæ* du conseil scientifique du **Plan Pollinisateur**. <https://www.ecologie.gouv.fr/lancement-du-nouveau-plan-national-pollinisateurs-2021-2026>
- 2022 Membre du Groupe de Travail *Arthropodes* pour la Stratégie régionale Faune exotique envahissante. Agence Régionale pour la Biodiversité et l'Environnement (**ARBE**).
- 2021-2022 Rapporteur pour le ministère de l'Agriculture et le Ministère de la Transition Ecologique du **plan Ecophyto II**. Relecture de rapports et d'APO.
- 2021-~ Participant à **IUCN Wild bee specialist group** (Europe leadership group) - <https://www.iucn.org/ssc-groups/invertebrates/bumblebee-and-wild-bee>
- 2020-2024 Elu à la **Commission Scientifique Sectorielle de l'IRD** (CSS 3) – Elu à la délégation permanente – Evaluation et suivi des carrières – Concours d'IR & de CR – promotions.
- 2017-2022 Responsable du **Thème Fédérateur** : Paysage et Continuités écologiques, IMBE – Avec Cécile Albert.
- 2017-2022 Membre du Conseil Consultatif d'Unité (**CCU**) de l'IMBE – Membre Nommé.
- 2017-2022 Responsable de l'Axe 2 du **GDR Pollinisation « Pollinéco »** relatif à l'abondance et à la diversité des Abeilles Sauvages. <https://oreme.org/observation/pollimed/comm-insectes-pollinisateurs/>
- 2015-~ Conseil d'administration de l'**Observatoire des abeilles**. Association naturaliste, regroupant les taxonomistes spécialistes des hyménoptères. **Président de l'Association depuis 2020**. website: <http://oabeilles.net/wordpress/>

## 4 Enseignement et responsabilités pédagogiques

### 4.1 Activités d'enseignement

- 2015-... **Maître de conférences.** Aix Marseille Université. Enseignement en Ecologie du paysage, Biodiversité, Statistiques. 196h d'enseignement/an.
- 2012-2014 **Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche.** Université de Versailles Saint-Quentin. Enseignement en évolution, biologie cellulaire, écologie générale, statistiques. Collaboration : Florence Richard. > 400h d'enseignement sur les deux années.

### 4.2 Ecoles de Terrain

- 2020-2023 **VIPERES** – Formation à la recherche des étudiants du Master 1 BEE. Aix Marseille Université. Financement pour projet pédagogique innovant. Travail autour des couchades dans le PN Mercantour. <https://www.univ-amu.fr/fr/public/aap-volet-ecoles-de-la-transition-viperes>
- 2016 **SUPER-B.** Formation à la détermination des insectes pollinisateurs sauvages dans le cadre d'un projet Européen COST. Formation pour les doctorants et les post-doctorants.
- 2016 **ECCOREV prends l'R.** Organisation d'une école de terrain statistique sous le logiciel R pour les doctorants et les post-doctorants.

### 4.3 Responsabilités pédagogiques

- 2021-2022 Membre du CoPil du « **MOOC Pollinisateurs** » coordonné par TelBotanica & Arthropologia, responsable de 3 séquences et intervenant principale de ces séquences.
- 2018-2020 Responsable des UE Ecologie du Paysage Master 1 BEE Mention Bioeffect. Interactions biotiques et Ecologie Comportementale. Master 1 BEE Mention BioEffect. Ecologie Urbaine Master 1 BEE Mention Ecogest. Gestion de la Biodiversité M2 BEE Mention Ecogest. Interactions Biotiques Master 2 BEE Mention BioEffect. Démarche scientifique en Ecologie – Master 1 BEE.
- 2018-2022 Responsable de l'UE Ecologie du Paysage. Master 1 BEE –ECIB Master 1BEE. Ecologie des systèmes anthropisés Master 1 BEE. En CTES (Master en distanciel).

### 4.4 Encadrement de la recherche

Direction de thèse :

- Directeur de la thèse de **Lise Ropars** : « *Vers une conciliation entre l'introduction d'abeilles domestiques et la préservation de la faune pollinisatrice sauvage* ».

Co-direction avec Laurence Affre (HDR) - Aix Marseille Université

Bourse du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. – **Soutenu en septembre 2020**

- Directeur de la thèse de **Lucie Schurr** : « *Importance des pollinisateurs dans la reproduction quantitative et qualitative du Fenouil (Foeniculum vulgare) : implications pour la production de graines et sur leur concentration en Anéthol* ».

Co-Direction avec Laurence Affre (HDR), Sophie Gachet & Véronique Masotti– Aix Marseille Université.

Thèse CIFRE Financée par la Société Pernod-Ricard. – **Soutenu en Avril 2022.**

- Co-directeur de la thèse de **Julia Lanner** : « *Investigations on colonization pathways and ecological factors promoting the invasion of the Asian wild bee species, Megachile sculpturalis, in Europe.* »

Directeur de thèse Harald Meimberg – University of Natural Resources and Life Science – Vienna Austria. Co-direction avec Manuel A. Curto & Bärbel Pachinger.

Bourse du gouvernement Autrichien. **Soutenu en septembre 2022.**

- Directeur de la thèse de **Marie Zakardjian** : « *Intégration de la faune d'abeilles exotiques dans un contexte de biodiversité exceptionnelle de Nouvelle-Calédonie.* »

Co-Direction avec Hervé Jourdan & Evelyne Franquet (HDR) – Aix Marseille Université.

Bourse du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Fin : Juin 2023

- Directeur de la thèse de **Karolina Argote** : « *Minilands – Importance de la fragmentation des habitats dans la dynamique des populations de collemboles.* »

Co-Direction avec Cécile Albert (HDR) & Mathieu Santonja – Aix Marseille Université.

Bourse European Research Council (ERC starting). Fin : Decembre 2024.

- Directeur de la thèse de **Natan Huberson** : « *Mesoland – Réponse des populations et communautés d'arthropodes à la perte et à la fragmentation du couvert en galet dans la steppe de la Crau* »

Co-Direction avec Cécile Albert (HDR) & Olivier Blight – Aix Marseille Université.

Bourse European Research Council (ERC starting). Fin : 2025.

#### Comités de thèses :

2023-	Cem Turanoblou (Encadrement C. Mony). Rennes Univ.
2022-	Emile Meloul (Encadrement O. Blight). Avignon Univ.
2020-2023	Chloé Leroy (Encadrement M. Henry). INRAE Avignon
2020-2023	Léo Mouillard-Lample (Encadrement M. Henry). INRAE Avignon
2020-2023	François Harmonic (Encadrement C. Albert). AMU
2019-2021	Estelle Renaud (Encadrement E. Baudry). Paris-Orsay.
2017-2020	Adrienne Aupic-Samain (Encadrement V. Baldy). AMU
2015-2018	Léa Lugassy (Encadrement C. Fontaine). MNHN

#### Stagiaires :

##### Stagiaires encadrés depuis 2018

2022	Thomas Cochenille ( <b>M2</b> Univ. Orléans), Guillaume Kerdoncuff ( <b>M2</b> ENS-ULM), Natan Huberson ( <b>M2</b> , Montpellier SupAgro).
2021	Claire Bouchot ( <b>M1</b> , BEE, AMU), Célia Girard ( <b>M1</b> , BEE, AMU).
2020	Magdalena Brugger ( <b>M2</b> BEE, Orsay), Marion Delobea ( <b>M2</b> , Ecole Polytechnique de Rouen). Sarah Bourdon (Master 1, BEE, AMU), Prisca Mahé ( <b>M2</b> BEE, AMU), Valentin Mitran (L3 Biodiv, AMU).
2018-2020	Marie Zakardjian (M1 & <b>M2</b> AMU), Clémentine Mutillod ( <b>M2</b> , AMU), Pauline Caillault (M1, AMU), Benjamin Ignace (M1, AMU), Corentin Knoploch (M1, AMU), Christel Scagliola (M1, AMU), Manon Panchot (M1, AMU), Alexandra Bideau (M1, AMU), Prisca Mahé (M1 & <b>M2</b> , AMU), Lena Jannerod (M1, AMU)

## 5 Financement de la recherche

- 2022 **PHC Amadeus. Collaboration Autriche** – Franche sur le travail autour de *Megachile sculpturalis*. 7 000 euros.
- 2021-2025 **ERC SCALED** participant ; (**Cécile Albert** porteuse principale – ERC Starting) – Co-directeur de la thèse de Karolina Argote 2021-2024 ; Co-Directeur de la thèse de Natan Huberson 2022-2025 - 1,5 million d'euros.
- 2020-2022 **Projet Megachile** – financement du GDR pollinisation – 6 500 euros.
- 2020 **Projet ECCOREV**. Etudes de l'intégration des espèces de pollinisateurs exotiques en Nouvelle-Calédonie. 7 500 euros.
- 2020 **Projet Transversaux IMBE**. Etudes des Composés Organique Volatiles des fleurs natives et exotiques de Nouvelle Calédonie - lien avec l'attractivité aux pollinisateurs. 6 000 euros.
- 2019 **Projet Transversaux IMBE**. Soil Food Web in dry Forest. 6000 euros.
- 2018-2022 **Bourse Thèse Cifre RICARD**. Bourse de thèse (136 000 euros) et financement de la recherche 32 000 euros pour le projet de thèse Fenouil.
- 2017 **AXA Research Fund**. Obtention d'une bourse de 108 000 euros auprès de la fondation pour la recherche AXA. Pollination in a dryer world Project. Financement d'un Post-Doc – 18 mois.
- 2017 **PN Calanques**. Financement de 15 000 euros sur les projets de recherches 2017-2020 *Astragale* et *Apis-non Apis*.
- 2017 **OHM Littoral**. Financement de 6000 euros sur le projet coexistence *Apis-non Apis*.
- 2016 **OHM Bassin Minier de Provence**. Financement de 7000 euros sur le projet *Megachile sculpturalis*.
- 2016 **Equipe ECIB – IMBE, projets innovants**. 3 000 euros sur le projet *Megachile sculpturalis*
- 2015 **IDEX Sorbonne Universités**. 7 000 euros. « Carrefour Sciences de l'Environnement marines et continentales ».
- 2015 **IDEX Sorbonne-Paris-Cité**. 7 000 euros. Projet "Politiques de la Terre à l'épreuve de l'Anthropocène"
- 2014 **Paris 2030**. 10 000 euros. "BUZZ IN THE CITY", Ville de Paris

## 6 Autres activités

### 6.1 Reviewer pour des revues à comité de lecture

**Reviewer, revues à comité de lecture:** Trends in Ecology & Evolution; Advances in Ecological Research; Journal of Ecology; Agriculture Ecosystems & Environment; PLoS One; Proceeding of the Royal Society B; Ecology and Evolution; Methods in Ecology and Evolution; Agricultural and Forest Entomology; Biological Conservation; Apidologie; Regional Climate Change; Scientific Reports, Bulletin de la société entomologique de France etc...

Editeur en Chef du Journal **OSMIA** (depuis 2015). <https://www.osmia-journal-hymenoptera.com/>

Editeur invité d'**Acta Oecologica** (2019-2020) <https://www.journals.elsevier.com/acta-oecologica>

Editeur associé du **Biodiversity data journal** (2023) [https://bdj.pensoft.net/topical\\_collection/203/](https://bdj.pensoft.net/topical_collection/203/)

### 6.2 Organisation de congrès et participation à des évènements

- 2022 Rencontres Apoidea Gallica. Organisation des journées thématiques sur les abeilles sauvages. Marseille. France. Responsable de l'Organisation. 18-19 février 2022.
- 2022 Onzième Symposium International sur les Syrphidae. Membre du comité d'organisation Barcelonnette 6-11 septembre 2022 <https://syrphidae11.sciencesconf.org/resource/page/id/2>
- 2021 Rencontres Ecologie du Paysage – REP 21 ; membre du comité scientifique. Rennes, 11-13 octobre 2021 <https://rep21.sciencesconf.org/>
- 2018 Participation à la Fête de la Nature organisée par le Museum d'Aix en Provence <https://fetedelanature.com/edition-2018/le-parc-saint-mitre-fete-la-nature>
- 2018 Participation au Responsib'all Day – Formation à la Nature organisé par la société Ricard SA.
- 2018 Responsable du Symposium « *Pollination in the Anthropocène* ». Congrès international de la SFE – Rennes. France.

- 2016 Congrès SFécologie 2016, Colloque de la Société Française d'Ecologie. Membre du bureau et du comité d'Organisation.  
<http://sfecologie2016.sciencesconf.org/>
- 2011- Organisation et participation à la Fête de la Science – 5 éditions depuis 2011 (2011 ; 2012 ; 2015 ; 2016 ; 2017).
- 2010 Congrès international de GAIE, le Groupe d'Etude Appliqué à l'Ingénierie Ecologique. 2010.

### 6.3 Apparition dans les Médias (depuis 2016)

- 2022 **Radio Classique** – Emission « 3 minutes pour la planète ». Emission du 20 octobre.  
<https://www.radioclassique.fr/podcasts-et-emissions/3-minutes-planete/>
- 2022 **La Croix** - Que serait un monde sans abeilles ? <https://www.la-croix.com/Sciences-et-ethique/serait-monde-sans-abeilles-2022-09-19-1201233902>
- 2022 **Marcelle Média** – Les fleurs qui perdent leurs odeurs, c'est grave chercheur ?  
<https://marcelle.media/impact-secheresse-fleur-pollinisateurs/>
- 2022 **France 3 Occitanie** - Sécheresse : les abeilles désemparées par la nouvelle odeur de la garrigue méditerranéenne. <https://france3-regions.francetvinfo.fr/occitanie/herault/montpellier/secheresse-les-abeilles-desemparees-par-la-nouvelle-odeur-de-la-garrigue-mediterranee-2590672.html>
- 2022 **RTL** – Passage dans l'émission, « On refait la planète » d'Allain Bougrain Dubourg pour la journée mondiale des abeilles. <https://www.rtl.fr/programmes/on-refait-la-planete-rtl/7900156959-l-integrale-on-refait-la-planete-22-05-22>
- 2022 **American Bee Journal** – A focus on our recent research, by Scott McArt, Cornell University.  
[https://cpb-us-e1.wpmucdn.com/blogs.cornell.edu/dist/8/5278/files/2022/02/03-McArt-article\\_March2022.pdf](https://cpb-us-e1.wpmucdn.com/blogs.cornell.edu/dist/8/5278/files/2022/02/03-McArt-article_March2022.pdf)
- 2021 **Marseille** - Mille et une abeilles 09/2021 [https://eservices.marseille.fr/sites/eservices/files/sommaire/rm270\\_sommaire\\_2.pdf](https://eservices.marseille.fr/sites/eservices/files/sommaire/rm270_sommaire_2.pdf)
- 2021 **France 3 PACA** - En Paca, les bourdons meurent d'addiction pour un nectar, celui du tilleul argenté – 03/07/2021 - <https://france3-regions.francetvinfo.fr/provence-alpes-cote-d-azur/en-paca-les-bourdons-meurent-d-addiction-pour-un-nectar-celui-du-tilleul-argente-2164297.html>
- 2021 **France 3** – Des abeilles pour demain – Documentaire 50 min - <https://france3-regions.francetvinfo.fr/provence-alpes-cote-d-azur/des-abeilles-pour-demain-le-documentaire-a-voir-pour-comprendre-pourquoi-et-comment-protger-les-abeilles-1928380.html>
- 2020 **La Marseillaise** – Comment faire des arbres en ville un trésor de biodiversité.  
<https://www.lamarseillaise.fr/environnement/comment-faire-des-arbres-en-ville-un-tresor-de-biodiversite-KN4917185> 11/10/2020
- 2020 **Le Monde** - Comment la mode des ruches en ville peut se retourner contre les abeilles - [https://www.lemonde.fr/videos/article/2020/08/31/comment-la-mode-des-ruches-en-ville-peut-se-retourner-contre-les-abeilles\\_6050463\\_1669088.html](https://www.lemonde.fr/videos/article/2020/08/31/comment-la-mode-des-ruches-en-ville-peut-se-retourner-contre-les-abeilles_6050463_1669088.html) 31/08/2020
- 2020 **Le Point** - Des abeilles pour servir le pastis ! - [https://www.lepoint.fr/sciences-nature/des-abeilles-pour-servir-le-pastis-26-07-2020-2385601\\_1924.php](https://www.lepoint.fr/sciences-nature/des-abeilles-pour-servir-le-pastis-26-07-2020-2385601_1924.php) 26/07/2020
- 2020 **Socialter** - Les ruches urbaines sauvent-elles vraiment les abeilles ?- <https://www.socialter.fr/article/ruches-urbaines-la-fable-des-abeilles>
- 2020 **La Gazette des Communes** – Le boom des ruches en ville, une menace pour la biodiversité - <https://www.lagazettedescommunes.com/685983/le-boom-des-ruches-en-ville-une-menace-pour-la-biodiversite/> 06/07/2020
- 2020 **Gomet'** - Les abeilles menacées par le réchauffement climatique trouvent un peu de répit - <https://gomet.net/les-abeilles-menacees-par-le-rechauffement-climatique-repit/> - 06/06/2020
- 2020 **Végétal Local** - Témoignage de scientifique. <https://www.vegetal-local.fr/nos-actualites/temoignage-de-scientifique-benoit-geslin> 25/05/2020
- 2020 **Fréquence Mistral** – La biodiversité est menacée. [https://www.frequencemistral.com/La-biodiversite-est-menacee\\_a8769.html](https://www.frequencemistral.com/La-biodiversite-est-menacee_a8769.html) 19/02/2020
- 2019 **La Provence** – Installation de ruches en ville : l'étude qui ne met pas tout le monde d'accord. 10/11/2019.  
<https://www.laprovence.com/article/ecoplanete/5747285/on-va-faire-en-sort-que-tous-les-apiculteurs-se-donnent-la-main-pour-agir-pour-la-biodiversite.html>

- 2019 **La Provence** – Deux jours pour sensibiliser à la cause des abeilles. 15/09/2019. <https://www.laprovence.com/article/edition-aubagne-la-ciotat/5667290/deux-jours-pour-sensibiliser-le-public-a-la-cause-de-labeille.html>
- 2019 **La Marseillaise** - Les butineuses risquent d'être désorientées par la sécheresse. 29/09/2019. <http://www.lamarseillaise.fr/bouches-du-rhone/developpement-durable/78562-les-butineuses-risquent-d-etre-desorientees-par-la-secheresse>
- 2019 **Le Monde**- Manque d'attention aux Abeilles Sauvages. le 18/01/2019. [https://www.lemonde.fr/planete/article/2019/01/18/arnaud-montebourg-fait-son-miel-du-declin-des-abeilles\\_5411240\\_3244.html](https://www.lemonde.fr/planete/article/2019/01/18/arnaud-montebourg-fait-son-miel-du-declin-des-abeilles_5411240_3244.html)
- 2019 **Les Jours** – Il Faut sauver le soldat Maya. le 03/06/2019. <https://lesjours.fr/obsessions/abeilles-disparition/ep5-miel-ville/>
- 2019 **Marcelle Média** - Biodiversité : ce qu'en disent les abeilles. le 02/07/2019. <https://marcelle.media/2019/07/02/hotel-insecte-abeille-marseille/>
- 2019 **France info**. Pourquoi un monde sans insectes doit vraiment nous inquiéter le 26/02/2019. [https://www.francetvinfo.fr/economie/emploi/metiers/agriculture/pourquoi-un-monde-sans-insectes-doit-il-vraiment-nous-inquieter\\_3197297.html](https://www.francetvinfo.fr/economie/emploi/metiers/agriculture/pourquoi-un-monde-sans-insectes-doit-il-vraiment-nous-inquieter_3197297.html)
- 2019 **La République du Centre** Avec les changements climatiques, les fleurs sont moins pollinisées : pour quelles raisons et que peut-on faire ? le 25/08/2019. [https://www.larep.fr/orleans-45000/actualites/avec-les-changements-climatiques-les-fleurs-sont-moins-pollinisees-pour-quelles-raisons-et-que-peut-on-faire\\_13627017/](https://www.larep.fr/orleans-45000/actualites/avec-les-changements-climatiques-les-fleurs-sont-moins-pollinisees-pour-quelles-raisons-et-que-peut-on-faire_13627017/)
- 2019 **France info**. Environnement : vers une disparition totale des insectes ? le 22/04/2019. [www.francetvinfo.fr/monde/environnement/biodiversite/ecologie-vers-une-disparition-totale-des-insectes\\_3410289.html](http://www.francetvinfo.fr/monde/environnement/biodiversite/ecologie-vers-une-disparition-totale-des-insectes_3410289.html)
- 2018 **Rfi**. Invité de l'émission « C'est pas du Vent » sur Rfi le 03/05/2018. <http://www.rfi.fr/emission/20180503-fin-abeilles-disparition-humanite>
- 2018 **France 3**. Invité plateau de "9h50 le Matin " sur France3 PACA 16/01/2018 <https://france3-regions.francetvinfo.fr/provence-alpes-cote-d-azur/emissions/9h50-matin-provence-alpes-cote-azur>
- 2017 **La Provence**. Article sur les hôtels à insectes en Ville. 20/12/2017 <http://www.laprovence.com/article/edition-marseille/4761828/abeilles-sauvages-en-ville-marseille-fait-le-bzzz.html>
- 2017 **France Culture**. Insectes : mais où sont-ils tous passés ? Invité de l'émission la Méthode Scientifique de Nicolas Martin. 27/11/2017 <https://www.franceculture.fr/emissions/la-methode-scientifique/la-methode-scientifique-lundi-27-novembre-2017>
- 2017 **Techni-Cités**. L'abeille domestique, l'alibi Nature. Techni-Cités 306- Octobre 2017. <http://www.lagazettedescommunes.com/524961/labeille-devient-elle-un-faire-valoir-au-service-de-la-biodiversite/>
- 2017 **Made In Marseille**. Articles sur les expérimentations en cours dans Marseille. 15/02/2017. <http://madeinmarseille.net/16859-hotel-insecte-parc/>
- 2017 **L'info Durable**. Quand les abeilles préfèrent la ville aux champs 01/11/2017 <http://www.linfordurable.fr/environnement/les-abeilles-preferent-les-villes-aux-champs-102>
- 2017 **20 Minutes**. Articles sur les hôtels à insectes à Marseille. 14/02/2017
- 2016 **France 3 Provence**. Intervention sur les hôtels à insectes 25/04/2016
- 2016 **France Bleu Provence**. Interview en direct dans la matinale <https://www.francebleu.fr/emissions/l-invite-de-7h20/provence/l-invite-de-7h20-140>
- 2016 **La Provence**. Interview dans le numéro daté du 26/04/2016.
- 2016 **Made in Marseille**. <http://madeinmarseille.net/16859-hotel-insecte-parc/>



## Mémoire de titres et travaux



*« Il y a doutes et doutes. Tous ne sont pas méthodiques. Il y des doutes faciles et paresseux. Le doute qui cherche et celui qui renonce ; celui qui va de l'avant, interroge et critique, et celui qui monologue, rentre dans sa coquille et tire les rideaux. Il y a le doute qui questionne et écoute, et celui qui doute de tout, sauf de lui-même ; celui qui résiste et celui qui se résigne à subir toutes les certitudes. »*

Daniel Bensaïd.



## Avant-propos



## 1. Introduction générale

« *Studies of ecological communities can therefore not discard or disregard interactions (McCann, 2007), and using network theory allows researchers to achieve this goal* » Delmas et al. 2019.

### a) *Les communautés écologiques : composition et interactions biotiques*

Une communauté en écologie est une collection de populations de différentes espèces partageant le même milieu spatio-temporel, et interagissant entre eux et avec leur environnement (Whittaker, 1970). L'étude de l'assemblage et du fonctionnement des communautés écologiques est une science dynamique et porteuse de nombreux débats, qui ont agités et agitent encore des courants de pensées parfois farouchement opposés. Sur les 50 dernières années, des débats relatifs au déterminisme et à la stochasticité dans les assemblages d'espèces au sein des communautés (Héroult, 2011) ont par exemple opposé les tenants de la théorie des niches issus des travaux de Charles Elton (Elton, 1933) et de G. Evelyn Hutchinson (Hutchinson, 1933) aux tenants de la théorie neutre de la biodiversité de Graham Bell (Bell, 2000) et Stephen Hubbell (Hubbell, 2001) ; (voir ici Withfield, 2002 ; Adler et al. 2007). De la même manière, les débats autour des liens entre diversité et productivité (Grimme, 1973 ; Tilman et al. 1996 ; voir ici Michalet et al. 2021) ou entre diversité et stabilité (May, 1975 ; voir ici Dunne, 2009), ont été fructueux. Mais ce qui semble aujourd'hui communément admis par l'ensemble des écologues, est que pour étudier le fonctionnement des communautés, il faut en étudier la composition spécifique, d'une part, et les interactions de ces espèces au sein et en dehors de la communauté d'autre part (Seibold et al. 2018, Delmas et al. 2019).

En un sens, ce paradigme n'a pas toujours été une évidence, d'abord dû à la séparation historique entre écologie végétale et animale (Seibold et al. 2018) et également sans doute dû aux difficultés inhérentes à l'étude des interactions biotiques, notamment méthodologiques (McCann, 2007). Pourtant, l'étude des interactions entre espèces et l'architecture des réseaux d'interactions qui en découlent sont des outils puissants qui nous renseignent sur la structure des communautés (Poisot et al. 2016) et permettent d'en inférer des propriétés comme leur stabilité et leur résistance face aux perturbations anthropiques (Besson et al. 2018). Aussi, avec le développement des outils numériques et des méthodes issues de la théorie des graphes, l'étude des interactions écologiques sous la forme de réseaux complexes composés de nœud et liens (ou arrêtes) s'est démocratisée.

Dans ces réseaux, les nœuds peuvent représenter des composés chimiques, des individus, des espèces, ou des éléments paysagers et les liens peuvent représenter des interactions, des flux d'énergie ou de matières (Besson et al. 2018 ; Dáttilo & Rico-Gray, 2018). Ils illustrent des relations antagonistes comme des relations trophiques ou de compétition, ou des relations mutualistes ou symbiotiques (Thébaud & Fontaine, 2010). Ils sont appliqués en écologie à de nombreux modèles comme dans les réseaux proies-prédateurs, hôtes-parasites/parasitoïdes, espèces-patchs paysagers, ou encore dans les réseaux plantes-pollinisateurs (e.g. Bascompte & Jordano, 2007 ; Dunne 2009 ; Tilyanakis et al. 2010 ; Marini et al. 2019 ; Valdovinos, 2019).

Dans ce mémoire d'HDR, je présenterai mes travaux sur l'étude des communautés d'abeilles sauvages, groupe que j'ai le plus largement étudié. Je présenterai mes principaux apports à la fois relatifs à l'étude de leur

composition spécifique, et également à l'étude de leurs réseaux d'interactions avec les communautés de plantes à fleurs. Ces travaux sont principalement placés dans le contexte de réponse de ces communautés aux perturbations d'origines anthropiques.

b) *Les perturbations anthropiques*

Les perturbations anthropiques incluent l'ensemble des impacts négatifs sur la biosphère, générés par les activités humaines. Cela implique notamment les changements d'occupations et d'usages des terres, l'exploitation des ressources naturelles, les pollutions, les changements climatiques et le transport d'espèces exotiques envahissantes (Jaureguiberry et al. 2022). Avec une perte moyenne de 20% des effectifs des populations sauvages, tous groupes confondus, depuis le début du siècle dernier, la Plateforme Intergouvernementale d'Etude de la Biodiversité et des Services Ecosystémiques estime qu'environ 1 million d'espèces (soit 25% des espèces évaluées) sont directement ou indirectement menacées d'extinction à cause des activités humaines (IPBES, 2019). Cette perte d'espèces concerne bien évidemment également les arthropodes terrestres et des études récentes ont montré un déclin brutal et massif de ces communautés dans les pays du Nord (e.g., Hallman et al. 2017 ; Wagner, 2020). Ainsi, Seibold et al. (2019), ont démontré dans plus de 200 sites prairiaux et forestiers en Allemagne une chute respective de 78% et 34% de l'abondance et de la richesse spécifique d'arthropodes entre 2008 et 2017. Concernant les communautés d'abeilles sauvages, Zattara & Aizen (2021), ont récemment illustré un déclin d'environ 25% des espèces à l'échelle mondiale dans les études postérieures à 2006 en comparaison des études antérieures à 1990.

Au même titre que les espèces, les interactions écologiques sont également directement menacées par les perturbations d'origines anthropiques (McCann, 2007). De même que pour l'étude de la structure des communautés, cette composante clé du fonctionnement des écosystèmes est proportionnellement moins étudiées que la perte de la diversité spécifique (Adedoja et al. 2022). Comme l'écrivait Janzen (1974), l'extinction des interactions écologiques est une extinction « insidieuse » difficile à détecter et dont l'intégrité est cependant cruciale pour maintenir la fonctionnalité des systèmes écologiques, sa « biostructure » (McCann, 2007). Par exemple, dans le cas des réseaux mutualistes, les interactions représentent bien souvent des interdépendances (Ollerton, 2017). Ainsi, en Afrique du Sud, la disparition locale d'un pollinisateur généraliste (une abeille de la famille des Mellitidae) a été associée à la diminution du succès reproducteur de 6 espèces de plantes à fleurs (parmi lesquelles des orchidées du genre *Pterygodium* ; Pauw, 2007). La perte d'un nœud dans le réseau entraînant celle d'un autre, les disparitions séquentielles d'interactions peuvent ainsi être à la racine de cascades d'extinctions (Vanbergen et al. 2017). Il est impossible à ce jour d'avoir des chiffres précis, à l'échelle globale, de l'amplitude de l'impact des perturbations anthropiques sur l'ensemble des interactions biotiques. A titre d'exemple néanmoins, Burkle et al. (2013), avaient montré à travers un cas d'étude dans une forêt aux USA une disparition de 46% des interactions plantes-pollinisateurs sur une période de 120 ans en lien avec les changements globaux.

Face à ce constat d'un déclin sans précédent de la biodiversité, il convient d'en apprécier la magnitude d'une part, mais également d'y associer le développement de principes et d'outils permettant de l'atténuer voire de l'inverser. Les travaux autour de la biologie de la conservation ont été développés en ce sens, et dans ce mémoire

d'HDR, je présenterai également mes travaux sur l'étude des pratiques de gestion des communautés d'abeilles sauvages et les conséquences potentielles de ces pratiques en termes de conservation.

c) *La biologie de la conservation, une « discipline de crise »*

Aux dires mêmes de ses pionniers, la biologie de la conservation est une discipline de crise (Soulé, 1985). En son sens premier, elle a pour but de produire des savoirs et méthodes permettant de préserver la biodiversité, de protéger les communautés, les écosystèmes et leur fonctionnement en en garantissant la pérennité spatio-temporelle. Le terme de discipline de crise émerge d'un constat : le fait que les scientifiques, face à l'urgence des défis environnementaux, se voient souvent placés par la société dans son ensemble, dans la position d'émettre des avis ou de proposer des solutions sur des mesures de protection ou d'aménagement, sans avoir – toujours – le recul nécessaire (Soulé, 1985). Trente-cinq ans après son émergence, la biologie de la conservation en tant que science est un succès indéniable aux regards de la quantité de littérature générée (e.g. Knight, 2004), alors que la biodiversité, d'un autre côté, continue son effondrement spectaculaire. Une des raisons avancées, parmi beaucoup d'autres, est le manque d'études empiriques sur les mesures de conservation ayant effectivement des effets positifs (ou négatifs) sur la biodiversité (Sutherland et al. 2004 ; Godet & Devictor, 2018).

Dans leur revue de la littérature, Godet & Devictor (2018), ont analysé le contenu de 13 000 articles, publiés entre 2000 et 2015 dans les journaux leaders en biologie de la conservation. Sur plus de 3 000 qu'ils ont conservés dans leurs analyses, 34% portaient sur le statut de conservation (d'espèces ou d'habitats), 31% sur des menaces (principalement des perturbations anthropiques), et 35% présentaient ou étudiaient des solutions. Sur ces 3 000 études (et à fortiori sur les 13 000), moins de 350 évaluaient le succès ou l'échec des mesures de conservations, et 148 de ces études portaient sur l'établissement ou l'agrandissement d'aires protégées. Il en ressort, finalement, que peu d'études en biologie de la conservation testent effectivement l'efficacité des mesures de protection. Ce nombre relativement restreint d'études empiriques, peut être un frein à l'établissement de mesures de conservation efficaces, mais peut également entraîner la mise en place de mesures contre-productives ou totalement délétères pour la biodiversité (Ford et al. 2021, voir chapitre 7 de ce document). Dans le cas des pollinisateurs, l'installation massive de ruches d'abeilles domestiques dans de nombreux milieux par exemple, en est une illustration remarquable (et qui sera largement documenté dans le chapitre 5). La biologie de la conservation peut alors devenir une « discipline de crise » visant à étudier les effets de mesures de gestion répétée à l'envi, sans qu'aucun rôle bénéfique pour la biodiversité ne soit prouvé.

Pourtant, la société se tourne de plus en plus souvent vers les chercheurs pour réclamer leurs opinions ou leurs solutions en faveur de la biodiversité. De mon expérience, et sans doute parce que travaillant sur un groupe emblématique apprécié de nos sociétés (Sumner et al. 2018), j'ai reçu de très nombreuses sollicitations pour donner mon avis sur des aménagements ou des pratiques sans toutefois disposer systématiquement du recul nécessaire. Dans ce document d'HDR, je présenterai également mes apports à l'étude des pratiques de gestions pour la conservation des communautés d'abeilles sauvages et des pistes de réflexions pour les prochaines années.

d) *Présentation des chapitres de l'HDR*

Dans les chapitres suivants, je vais donc présenter mes apports à l'étude des communautés d'abeilles sauvages face aux perturbations anthropiques et à leur conservation sur les 15 dernières années. Le **chapitre 2** est dédié à l'étude faunistique des communautés d'abeilles sauvages. Il est centré sur l'écologie et la taxonomie des abeilles et sur mes apports quant à l'étude de leur richesse, de la composition spécifique de leur communauté et de leurs interactions avec les plantes à fleurs. Le **chapitre 3** est centré sur le service écosystémique de pollinisation et sur les effets de l'intensification de l'agriculture sur les communautés de pollinisateurs, leur diversité fonctionnelle et le service de pollinisation. Le **chapitre 4** vise à étudier l'impact de l'urbanisation sur les communautés d'abeilles sauvages, leurs traits morphologiques et les réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs en lien avec l'accroissement des surfaces imperméables à l'échelle du paysage. Le **chapitre 5** étudie les relations de compétitions entre pollinisateurs sauvages et l'abeille domestique *Apis mellifera*. Ce chapitre traite d'une pratique de gestion très courante, l'implantation de colonies domestiques dans les villes et les réserves naturelles. Les **chapitres 6 et 7** portent sur l'étude de l'effet des espèces exotiques envahissantes sur les communautés d'abeilles sauvages et sur leurs interactions. Le **chapitre 6** est particulièrement centré sur une seule espèce, *Megachile sculpturalis* qui est la seule espèce d'abeille exotique répandue en Europe. Ce chapitre discute également de l'utilisation des hôtels à insectes comme mesure de gestion en faveur des abeilles sauvages et teste leur efficacité. Le **chapitre 7** est plus prospectif, et présente les derniers travaux auquel j'ai participé quant à l'impact des abeilles exotiques envahissantes sur les communautés d'abeilles sauvages et leurs interactions, en prenant l'exemple de la Nouvelle Calédonie. Il présente également mes pistes de réflexions pour les années qui viennent et mes perspectives de long terme, principalement en lien avec la conservation des communautés d'abeilles sauvages et les pratiques de gestion. Enfin, je présente une courte conclusion sur les apports principaux de mes recherches sur les communautés d'abeilles sauvages accompagné de quelques commentaires sur des études récentes ou en cours.

## 2. Les abeilles dans leur diversité

### a. Généralités sur les abeilles sauvages

La rencontre avec un objet d'étude est probablement un moment déterminant dans la vie d'un chercheur. J'ai commencé à m'intéresser aux abeilles sauvages pendant mon stage de Master 1. Je me souviens alors d'avoir été frappé de découvrir, subitement, que le mot *abeilles* s'écrivait au pluriel. J'ai été tout de suite fasciné par la diversité des formes et des couleurs de ces insectes. En effet, la plupart du temps, on associe le terme « abeille » à la seule abeille à miel, *Apis mellifera* Linnaeus, 1758. Pourtant, il existe plus de 20 000 espèces d'abeilles dans le monde, plus de 2000 en Europe et environ 970 en France métropolitaine (Rasmont et al. 2017 ; Gargominy et al. 2021).

La diversité morphologique et comportementale des abeilles est remarquable ; les plus petites espèces mesurent 2 mm et les plus grandes, comme *Megachile (Callomegachile) pluto* (Smith, 1860), aussi appelée l'abeille de Wallace, près de 40 mm (Michener, 2007 ; Vereecken, 2018 ; Poulsen & Rasmusen 2020). La plupart des espèces sont terricoles, c'est-à-dire qu'elles nichent dans le sol (>70% des espèces), mais d'autres sont cavicoles (rubicoles, caulicoles) et même hélicicoles (qui nichent dans des coquilles d'escargots, Fig 1, Michener 2007).



Figure 1 : Divers comportements de nidification chez les abeilles sauvages. A gauche *Osmia bicornis* nichant dans du bambou (photo : Benjamin Ignace). Au centre, *Rhodanthidium sticticum* nichant dans une coquille d'escargot (photo Matthieu Aubert). A droite, *Hoplitis perezii* nichant dans le sol, ayant tapissé sa galerie de pétale (photo Matthieu Aubert).

Alors que l'abeille domestique est eusociale, la grande majorité des espèces d'abeilles sont solitaires ce qui signifie qu'une femelle élève seule son couvain composé d'une à quelques dizaines d'œufs en moyenne (Michener, 2007). Enfin, certains groupes d'abeilles sont cleptoparasites comme les *Nomada* Scopoli, 1770, c'est-à-dire qu'elles parasitent les nids d'autres abeilles en y déposant leurs œufs. Les larves issues des œufs se nourriront des ressources amenées par l'hôte au nid au détriment du succès reproducteur de ce dernier.

Toutes ces espèces d'abeilles sont herbivores et se nourrissent, et nourrissent leurs larves exclusivement des récompenses offertes par les plantes à fleurs comme le pollen, le nectar et plus rarement des huiles. La majorité des abeilles ne produisent pas de miel (seule quelques espèces à l'échelle mondiale produisent du miel, principalement des genres *Apis*, *Melipona* et *Trigona*) et approvisionnent leurs larves avec un pain de pollen (mélange de pollen et d'un peu de nectar). Le pollen est la source principale de protéines et de vitamines essentielles au développement des larves tandis que le nectar apporte aux abeilles des polysaccharides nécessaires

aux dépenses énergétiques (Requier & Le Féon, 2016 ; Flacher, 2018). On observe un continuum dans les préférences alimentaires des abeilles comprenant des taxons très généralistes, capables de récolter du pollen sur de nombreuses familles de plantes à fleurs (polylectiques) et des espèces très spécialistes, ne récoltant du pollen que sur quelques espèces de fleurs (oligolectiques) comme *Macropis europaea* Warncke, 1973, spécialiste des Lysimaques (Primulaceae).

### b. Taxonomie des abeilles sauvages

Les abeilles sauvages sont des insectes, appartenant à l'ordre des hyménoptères (ailes membraneuses, couplées en vol par des structures allaires appelée Hamuli). Les abeilles sont des Apocrites (premier segment de l'abdomen fusionné au thorax – *propodeum* ; et second segment de l'abdomen très étroit – taille de guêpe) ; Aculéates (organe de ponte transformé au cours de l'évolution en dard), Apoidea (groupe regroupant des Spheciformes et les Anthophila), et enfin Anthophila, dites « abeilles vraies » (voir classification phylogénétique Branstetter et al. 2017, Fig 2). La particularité morphologique des abeilles est de présenter des poils (soies) branchus, où les grains de pollen s'accrochent et s'agglutinent facilement. Pour le reste du document, le terme abeilles recouvrira les abeilles *sensu lato* sauf précision de ma part.

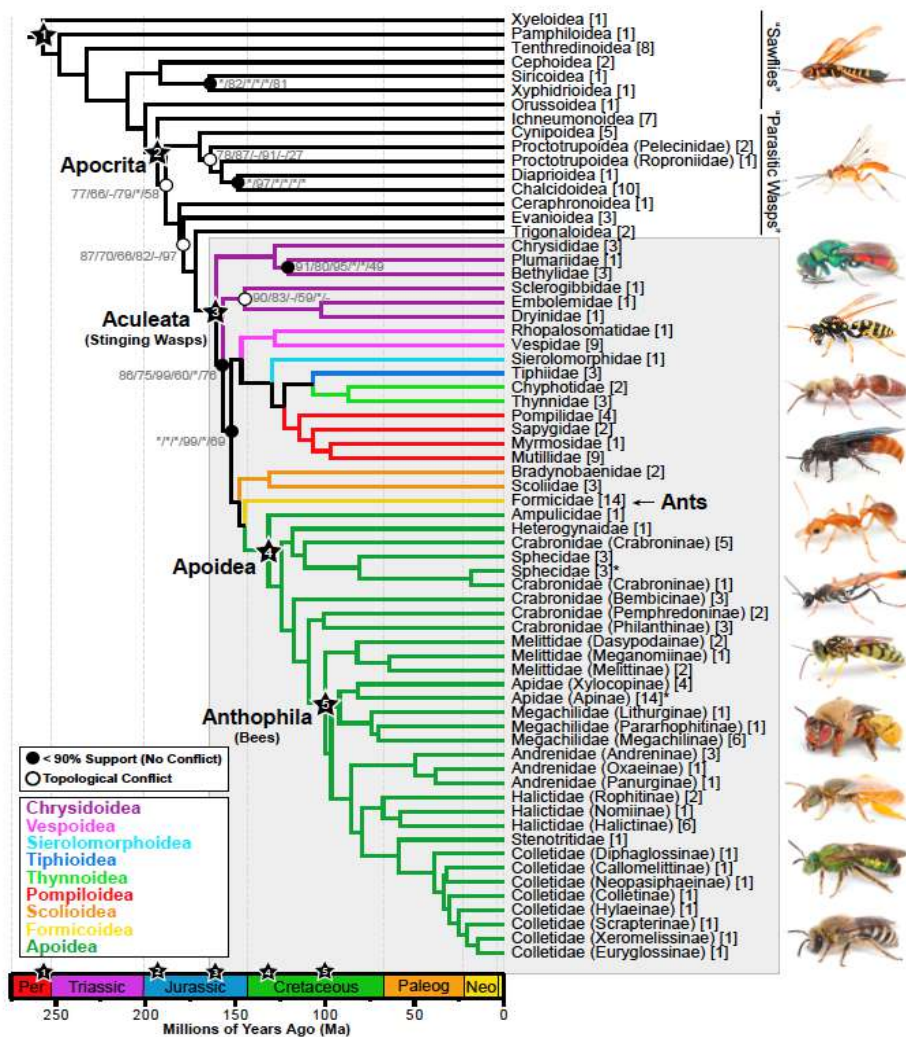


Figure 2 : Arbre phylogénétique des hyménoptères (issu de Branstetter et al. 2017).

Le groupe des abeilles aurait émergé à la fin de la première moitié du Crétacé, il y a environ 100 millions d'années et aurait évolué depuis lors (Poinar & Danforth, 2006 ; Michez et al. 2011 ; Cardinal & Danforth, 2013). De nos jours, il existe 7 familles d'abeilles dans le monde dont 6 sont présentes en France : les Mellitidae, Colletidae, Halictidae, Andrenidae, Megachillidae et Apidae.

Une des premières difficultés que l'on rencontre en étudiant les abeilles, est de pouvoir simplement les reconnaître. L'identification des individus à l'espèce est une tâche extrêmement ardue. Il faut parfois plusieurs décennies pour maîtriser la détermination d'une seule famille d'abeilles. En parallèle, le nombre d'experts taxonomique est en déclin à l'échelle mondiale (Mayer et al. 2011 ; Potts et al. 2016), européenne (Nieto et al. 2014 ; Kuhlman, 2015 ; Brown et al., 2017) et française (Gadoum & Roux-fouillet, 2016). La combinaison entre une expertise difficile à acquérir et un manque d'experts taxonomistes est appelée verrou taxonomique (*taxonomic impediment*; Mayer et al. 2011, Kuhlman, 2015). Bien que les techniques d'analyses moléculaires récentes, notamment via l'échantillonnage de l'ADN (*DNA barcoding*, Villata et al. 2021) permettent d'identifier une partie des abeilles, ces techniques sont encore utilisées de manière restreinte et ne sont pas suffisamment développées pour se permettre de s'affranchir de l'expertise taxonomique. Ce verrou taxonomique est un souci majeur dans l'étude des abeilles et à des répercussions à toutes les échelles de connaissances et d'analyses. Ainsi, de très nombreux éléments de compréhension quant à l'écologie et à la répartition des abeilles qui pourraient apparaître élémentaires sont aujourd'hui manquants. Dans l'état actuel de nos connaissances, nous sommes par exemple incapables, d'estimer avec précision, a) le nombre d'espèces d'abeilles en France, b) leurs répartitions, c) leurs traits morphologiques et fonctionnels d) leurs interactions avec les plantes à fleurs et e) l'état de santé de leurs populations. A titre d'exemple, la liste rouge IUCN Européenne publiée en 2014 souligne l'absence de données suffisantes pour statuer sur l'état des populations de plus de la moitié des 2000 espèces présentes en Europe (Nieto et al. 2014, Fig. 3) – par ailleurs 9,2% des espèces sont classées vulnérables ou en danger d'extinction.

Depuis que j'ai commencé à les étudier en 2008, j'ai centré une partie non négligeable de mon travail à faire progresser les connaissances autour de l'écologie des abeilles, de leur diversité et de leur répartition à travers un travail davantage faunistique et écologique que taxonomique, mais en gardant à l'esprit de faire progresser cette discipline par mes actions dans et en dehors du monde de la recherche.

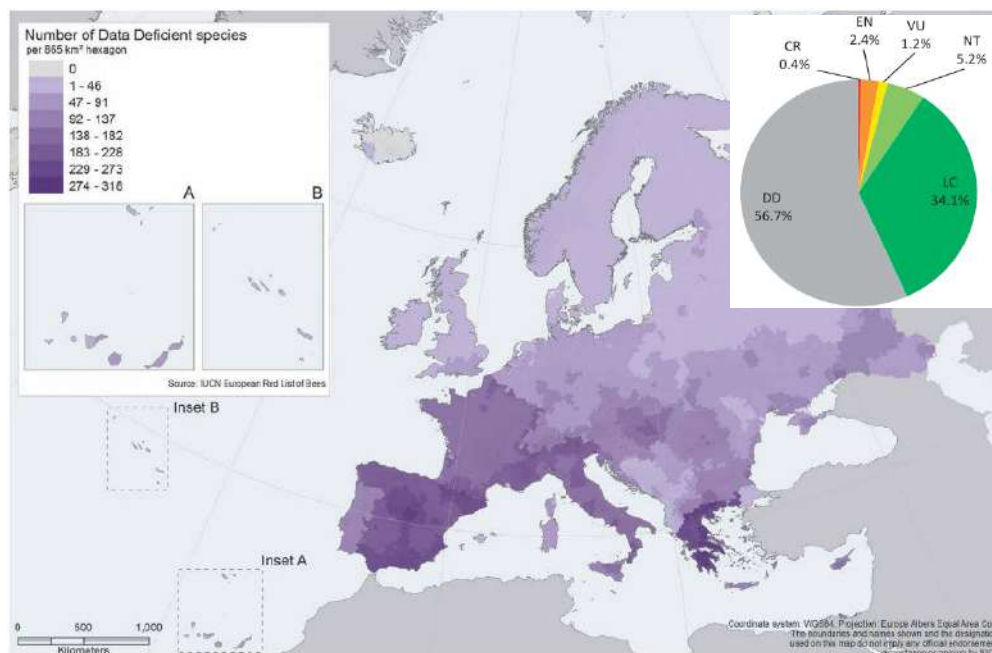


Figure 3 : Carte de l'abondance d'espèces à l'échelle européenne considérée comme « data deficient » par la liste rouge des abeilles d'Europe (Nieto et al. 2014). Le violet foncé et très foncé représente les aires géographiques abritant plus de 229 espèces d'abeilles pour lesquelles l'absence de données empêche de statuer sur leur état de conservation. En haut à droite (Nieto et al. 2014), le camembert représente le statut IUCN des 2000 espèces d'abeilles européenne (0.4% en danger critique (CR), 2.4% en danger (EN), 1.2% vulnérable (VU), 5.2% quasi-menacée (NT), 34.1% préoccupation mineure (LC), et 56.7% en manque de données (DD)).

### c. Apports à l'étude de l'écologie et de la diversité des communautés d'abeilles

Le préalable à l'étude des communautés d'abeilles et des interactions plantes-pollinisateurs passe bien souvent par un travail de connaissance faunistique poussé. Ainsi, lors de toutes mes expériences de recherche, j'ai toujours participé à ou lancé un travail d'inventaire consciencieux des communautés d'abeilles sauvages dans les systèmes écologiques dans lesquels je travaillais. Ce fut d'abord le cas lors de mes stages de recherches à Rennes où les données que j'avais aidé à récolter dans le cadre du travail de thèse de Violette Le Féon (Le Féon, 2010) ont servi à réaliser un état des lieux des connaissances sur la répartition des abeilles sauvages dans le Massif Armorican auquel j'ai collaboré (Le Féon, et al. 2016). Par la suite, lors de mon arrivée en thèse, je me suis lancé dans un recensement des communautés d'abeilles des parcs et jardins de la ville de Paris. A travers 3 publications, nous avons considérablement étendu la liste d'espèces connues dans Paris intramuros et l'avons porté à 87 espèces (Geslin et al. 2015 ; Ropars et al. 2017 ; 2018). Bien que la faune d'abeilles de la capitale soit caractéristique des milieux perturbés (dominance de quelques espèces d'halictidae, peu d'espèce cleptoparsites ; Sheffield et al. 2013), cet assemblage d'espèce représentait tout de même près de 9% de la faune d'abeilles connue en France (Geslin, 2021). Bien sûr, En comparaison d'autres villes Françaises (e.g., 291 espèces dans le grand Lyon ; Fortel et al. 2014 ; 157 espèces dans les villes de la vallée de la Loire Villalta et al. 2021 ; 121 espèces à Marseille sur une seule année de capture ; Badiane et al. soumis), ou du monde (e.g., Berlin 262 espèces ; Saure, 1996 ; New York 110 espèces ; Fetridge et al. 2008) ce nombre reste cependant relativement faible. Néanmoins, les tout récents travaux

de Vincent Zaninotto dans le cadre de sa thèse viennent d'étoffer ce nombre pour le porter à 145 espèces (Zaninotto & Dajoz, 2022).

A Marseille, je me suis également posé la question de la diversité d'abeilles sauvages dans les parcs et jardin de la ville (Badiane et al. soumis ; 121 espèces) puis dans le Parc National des Calanques (PNcal par la suite), seul parc national périurbain de France, situé en partie sur le territoire de la commune de Marseille et terrain de jeu principal du chapitre 3 (Geslin et al. 2018 ; Ropars et al. 2020a). Lors de ma prise de fonction en 2015, la base de données du PNcal ne recensait que très peu d'espèces d'abeilles vivant dans le parc (moins d'une dizaine). A travers un travail d'inventaire intensif dans le cadre de la thèse de Lise Ropars que j'ai co-encadré (avec L. Affre) et une compilation des données historiques existantes, nous avons porté le nombre d'espèces d'abeilles à 198 (Ropars et al. 2020a), soit plus de 20% de la faune française présente sur un territoire de seulement 85km<sup>2</sup>. De plus, ce nombre a vocation à être réévalué à la hausse dans les années qui viennent, en particulier si des travaux d'inventaire sont effectués dans les habitats d'intérêt communautaire comme les pelouses à brachypodes, dans les milieux difficiles à atteindre comme les îlots méditerranéens ou le camp militaire de Carpiagne, ou en inventoriant tard dans la saison (automne ; voir Ropars, 2020). Sur ces 198 espèces, sept étaient répertoriées sur la liste rouge IUCN des abeilles d'Europe, six considérée comme « Near Threatened » (NT) dont *Andrena ovatula* (Kirby, 1802), *Colletes albomaculatus* (Lucas, 1849), *Dasyglossa argentata* Panzer, 1809 (Fig. 4), *Halictus quadricinctus* (Fabricius, 1776), *Lasioglossum prasinum* (Smith, 1848), et *L. pygmaeum* (Schenck, 1853) et une « Endangered » (EN) : *L. soror* (Saunders, 1901) montrant à la fois la richesse et la fragilité de ce milieu. Une des informations que nous a amené ce travail d'inventaire est également l'importance d'une ressource florale centrale pour les pollinisateurs du PNcal : le ciste blanc (*Cistus albidus*). En effet, à elle seule, cette espèce était visitée par 52 espèces de pollinisateurs et présentait également une forte centralité dans le réseau d'interaction plantes-pollinisateurs montrant son importance en tant que ressource florale (Ropars et al. 2020a).



Figure 4 : *Dasyglossa argentata* (NT), présente dans le Parc National des Calanques. Cette espèce est oligolectique du genre *Scabiosa* (photo : David Genoud).

L'ensemble des captures que j'ai effectué dans ma carrière sont aujourd'hui mises en collection et gardées dans les laboratoires respectifs pour qu'elle soit accessible à toutes et à tous (voir [Raven & Miller, 2020](#) ; [Geslin, 2020](#) sur l'importance à accorder aux collections entomologiques), ainsi que les données générées qui sont libres de droits. Ces collections ont ainsi par exemple été utilisée récemment pour un travail de barcoding dans le cadre du projet CODABELLES (Pichon M., Perrard A. & Escravage N.) visant à séquencer le CO1 (Cytochrome c oxidase subunit I, gène mitochondrial) de l'ensemble des espèces d'abeilles de France.

L'amélioration des connaissances écologique et taxonomiques relatives aux abeilles repose aussi sur mon activité au sein de l'*Observatoire des Abeilles (OA)* dont je suis membre depuis 2011, au Conseil d'Administration depuis 2015 et dont j'ai la chance d'en être le président depuis 2020. L'OA a pour vocation de faire progresser les savoirs autour des abeilles, en travaillant d'abord à faire émerger une nouvelle génération de taxonomiste via des formations ou des ateliers, ensuite en réalisant des inventaires ponctuels, des conférences et en alimentant les bases de données nationales (<https://oabeilles.net/>). A ce titre, l'OA est responsable du référentiel taxonomique (TAXREF) français relatif au abeilles et l'ensemble des données de l'association remontent au SINP (Système d'Information de l'inventaire du Patrimoine Naturel). Pour finir, je suis également depuis 2015, éditeur en chef de la revue scientifique et naturaliste *Osmia* (<https://www.osmia-journal-hymenoptera.com/>) qui porte l'ambition de diffuser, en Français et en Anglais, des travaux taxonomiques et écologiques autour des abeilles d'abord et des hyménoptères au sens large ensuite.

#### *d. Perspectives*

Comme j'ai commencé à le développer plus haut, nous manquons encore de connaissance de base sur les communautés d'abeilles sauvages, si bien qu'il nous est pour le moment impossible de proposer une liste exhaustive des abeilles de France. Bien sûr, cette liste est par nature évolutive puisque de nouveau taxon sont régulièrement décrits, que des nouvelles espèces sont détectées fréquemment en France pour la première fois et que des travaux génétiques permettent de fusionner ou à l'inverse de séparer des espèces les unes des autres (e.g. [Praz et al. 2019](#) ; [Le Divelec & Aubert, 2020](#) ; [Gabiot & Dufrene, 2021](#) ; [McLaughlin et al. 2022](#)). Cependant, il apparait indispensable de proposer une liste à jour et qui fasse date, ce qui permettra enfin de diffuser et vulgariser les informations autour des abeilles sauvages.

Ces dernières années, de nombreux pays d'Europe ou de Méditerranée ont produit de telles checklist (e.g. Espagne : [Ortiz-Sanchez, 2020](#) ; Chipre : [Varnava et al. 2020](#) ; Maroc : [Lhomme et al. 2020](#)). La France dispose de son côté d'une liste préliminaire produite par [Rasmont et al.](#) en 1995. Cette liste présentait alors 865 espèces d'abeilles pour la France. Depuis, une mise à jour - non publiée - a porté ce nombre à 951 ([Rasmont et al. 2017](#)). Ces travaux capitaux et fondateurs sont à jour en friche et avec quelques collègues (Lise Ropars, Floriane Flacher, Adrien Perrard et Denis Michez) nous avons émis le souhait de repartir de la liste publiée de [Rasmont et al. \(1995\)](#) pour produire une checklist à jour des abeilles de France. Ce travail considérable et ambitieux est en cours, et nous espérons produire une liste d'ici 2023 qui puisse être un vrai jalon pour la connaissance des abeilles de France. Au moment où je conclue ce document, la checklist des abeilles de France ainsi celle des abeilles d'Europe dont je suis également co-auteur, sont quasiment terminées et devraient être soumises dans les prochains jours.

La France est également très à la traîne à l'échelle Européenne sur la production d'une liste rouge d'abeilles suivant les critères de l'Union internationale de conservation de la nature (UICN). Les listes rouges sont des outils cruciaux pour évaluer l'état de santé des populations, estimer les risques qui pèsent sur les espèces et également un puissant outil de communication permettant de mettre en place des mesures de protections ou d'appuyer la législation (Schatz et al. 2021). De nombreux pays européens se sont déjà dotés d'un tel outil comme récemment la Belgique (Drossart et al. 2019), mais la France n'en dispose pas à ce jour (Fig. 5).

Bien qu'il existe une volonté certaine de bâtir une liste rouge pour notre territoire, notamment chez les naturalistes (e.g. Terret et al. 2020), les

diverses tentatives se sont pour le moment soldées par un échec. En premier lieu par la difficulté inhérente à la géographie de la France, qui présente de nombreux habitats, eux-mêmes très riches en espèces (écosystèmes alpins, méditerranéens...) et dont l'évaluation selon les critères IUCN est rendu difficile. Deuxièmement par un manque d'ambition politique très claire qui n'a pas permis à une liste rouge de voir le jour. De mon côté, je m'investis aux côtés de quelques collègues (Adrien Perrard, Bertrand Schatz, Lise Ropars, Pascal Dupont, Denis Michez) depuis près de 10 ans pour obtenir un financement pour la création d'une Liste Rouge Française. Malgré un Plan National d'Action « France Terre de Pollinisateurs » (Gadoum & Roux-fouillet, 2016) et malgré la publication récente du « [Plan National Pollinisateurs 2021-2026](#) » en Novembre 2021, la création d'une liste rouge peine à démarrer. Pourtant, la Liste Rouge est bien notée comme action prioritaire dans l'axe 1, action 1.2.1. de ce plan. Mais comme beaucoup d'annonces gouvernementales, et malgré un lobbysme important de notre part, ce plan reste pour le moment une coquille vide, sans crédit ou budget associé. Ce n'est pas pour autant que l'écriture d'une Liste Rouge ne reste pas à moyen terme pour moi une perspective très importante. J'ambitionne très clairement de porter un tel projet dans les années qui viennent, et nous mettons actuellement en œuvre les travaux préliminaires avec l'aide de l'Unité Mixte de Service « Patrinat ». Dans l'état actuel des projections, nous

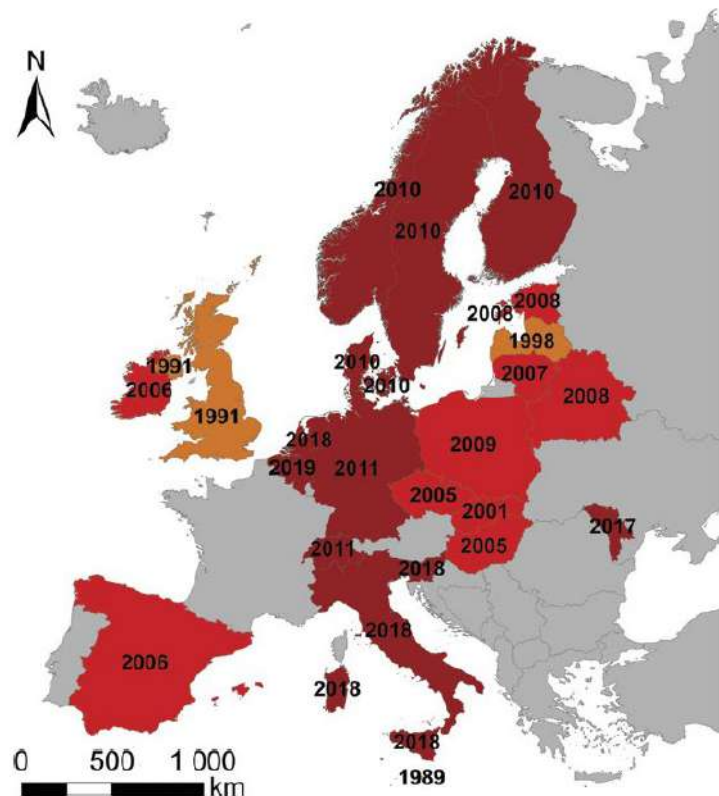


Figure 5 : Carte de l'Europe représentant les pays avec (rouge) ou sans (gris) Liste Rouge Nationale des abeilles sauvages, incluant l'année de publication de la liste. Les niveaux de rouge correspondent aux différentes décennies de publication (carte issue de Kratschmer et al. 2021, basée sur les données de Wood et al. 2000).

pourrions tabler sur une liste rouge pour l'horizon 2025, d'autant qu'il semblerait que des financements ministériels dans le cadre du plan pollinisateur soient finalement débloqués.

Enfin, comme dernière perspective, et avec la collaboration d'Hervé Jourdan dans le cadre de la thèse de doctorat de Marie Zakardjian que je co-encadre (avec H. Jourdan & Evelyne Franquet), nous souhaitons publier le premier atlas des abeilles de Nouvelle Calédonie. Depuis 2016, je positionne une partie de mes recherches sur ce territoire d'outre-mer (voir partie 7) et nous avons acquis via plusieurs stages de master 2 et de CDD de recherche (Gwenais Templier, Lucie Schurr, Prisca Mahé, M. Zakardjian & Thomas Cochenille) de nombreuses données intéressantes sur la faune d'abeilles de l'archipel. En complément de la base de données très fournies d'Hervé Jourdan et d'une analyse de la littérature scientifique (e.g., Pauly & Muzinger, 2003 ; Pauly et al. 2013 ; 2015 ; Jennings et al. 2013), nous sommes aujourd'hui en mesure de publier un premier état des lieux de la richesse spécifique et de la répartition des espèces en Nouvelle Calédonie. Associé à ce travail, nous ambitionnons de produire le premier atlas des abeilles de Nouvelle-Calédonie, en partenariat avec les éditions IRD (horizon 2025).

*e. Les abeilles ne sont pas les seuls pollinisateurs !*

Lorsque l'on s'intéresse aux relations plantes-pollinisateurs, il est aussi important de prendre en compte toute la communauté d'insectes floricoles. En effet, de nombreuses autres familles d'insectes visitent les plantes à fleurs et sont des pollinisateurs efficaces comme les Diptères, les Lépidoptères ou les Coléoptères. Ces groupes sont très importants dans le maintien des communautés de plantes à fleurs sauvages et dans la provision du service écosystémique de pollinisation (Jannersten, 1984 ; Howlett et al. 2017 ; Ollerton, 2017 ; 2021 ; Sayers et al. 2019 ; Vanderplanck et al. 2020 ; Page et al. 2021, Requier et al. 2022). Pourtant, ils sont encore peu étudiés (Rader et al. 2009 ; 2016, Bartholomé & Lavorel, 2019), où même en ce qui concerne les diptères non-syrphidés largement oublié dans les études relatives à la pollinisation (Orford et al. 2015 ; Grass et al. 2016). Bien que les abeilles soient souvent citées comme étant les pollinisateurs les plus efficaces à l'échelle d'une visite de fleurs, notamment grâce à leurs poils branchus et leurs organes spécifiques de récolte de pollen (Barrios et al. 2016 ; Willmer et al. 2017 ; Page et al. 2021), l'abondance et la diversité des diptères en font des pollinisateurs très importants notamment dans les paysages agricoles (Rader et al. 2009 ; 2015) et les écosystèmes alpins (Lefebvre et al. 2019).

Là encore cependant, le verrou taxonomique fait qu'il est très difficile de travailler sur certains groupes de pollinisateurs comme les diptères (syrphidae et encore plus non-syrphidae). Peu de spécialistes sont capables de les identifier à l'espèce et leur répartition géographique n'est pas toujours connue. A ma mesure, j'ai participé à quelques études faunistiques sur les pollinisateurs non-abeilles. Ainsi, dans le cadre de la thèse de Lise Ropars nous avons mis à jour la liste des syrphes et de diptères floricoles non-syrphes du Parc National des Calanques qui compte aujourd'hui 38 espèces de syrphes et 20 espèces de diptères floricoles non-syrphes (Ropars et al. 2020a). Par ailleurs, lors de nos prospections, et grâce à l'œil attentif de Lise Ropars et de Gabriel Nève, nous avons eu la chance de détecter une espèce nouvelle pour la science lors de nos échantillonnages dans le Parc National : *Pelecocera garrigae*. Cette espèce, sa diagnose et la révision du genre *Pelecocera* ont fait l'objet d'une publication à laquelle j'ai été associé et qui a été récemment acceptée dans la revue Zootaxa (Lair et al. 2022, Fig. 6). Par ailleurs, dans mon parcours, j'ai intégré à mes études ces pollinisateurs non-abeilles et leurs interactions avec les

plantes à fleurs lorsque cela était possible que ce soit dans les milieux urbains (Geslin et al. 2013) ou dans les milieux agricoles (Geslin et al. 2016a ; Schurr et al. 2021). L'importance des insectes pollinisateurs dans la provision du service écosystémique de pollinisation, et mes travaux dans ce domaine ainsi que leurs perspectives, seront d'ailleurs l'objet du chapitre suivant.

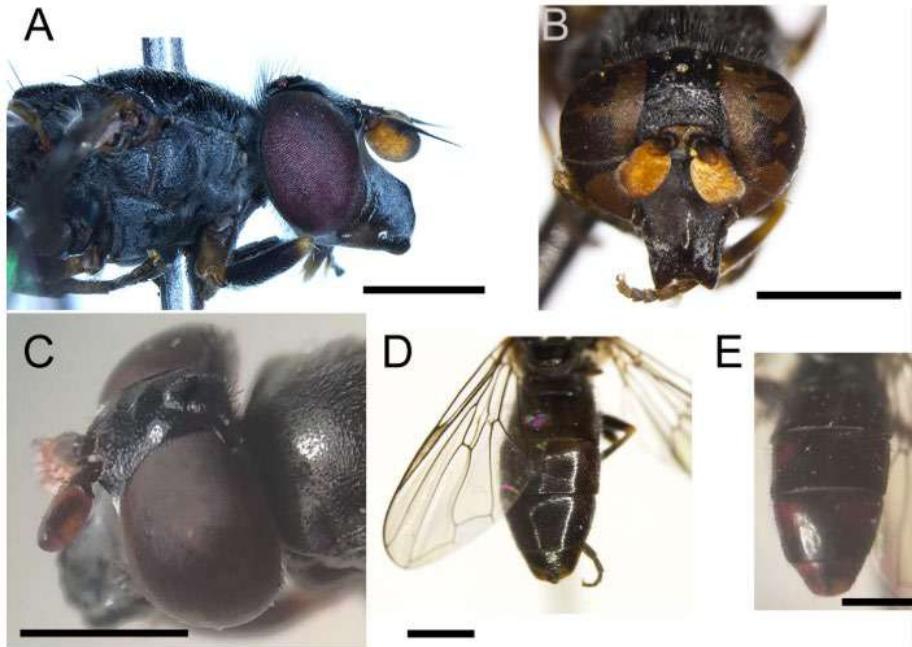


Figure 6 : *Pelecocera garrigae* sp. nov. paratype femelle: A: vue latérale de la tête et de l'abdomen; B: vue frontale de la tête ; C: vue dorso latérale de la tête ; D et E: vues dorsales de l'abdomen. Sur chaque photo les barres noires représentent l'échelle et mesurent 1mm.

### 3. Paysages agricoles, pollinisateurs, et service de pollinisation

#### a. Le service de pollinisation

De nombreuses plantes à fleurs sont dépendantes des insectes pollinisateurs pour leur reproduction. A l'échelle mondiale, on estime que 87,5 % des angiospermes nécessitent un vecteur animal pour le transport du pollen, et la majorité de ces 300 000 espèces animales, exception faites de certains vertébrés (oiseaux, chauve-souris, lézards), sont des insectes (Ollerton et al. 2011 ; Ollerton 2021). La pollinisation animale est également indispensable à la production agricole et au bien-être humain puisqu'on estime que 75% des espèces cultivées sont dépendantes des pollinisateurs pour tout ou une partie des rendements (Kremen et al. 2007 ; IPBES, Potts et al. 2016 ; Khalifa et al. 2021). Ainsi pour les pommes (Ramirez & Davenport, 2013), les poires (Sapir et al. 2017), les tomates (Toni et al. 2020) ; les pastèques (Campbell et al. 2019), le café (Hipólito et al. 2018 ; Geeraert et al. 2020), le cacao (Wanger et al. 2021), les amandes (Brittain et al. 2013), le colza (Catarino et al. 2019) etc..., la visite d'insectes permet ou améliore la production agricole. Mais l'action des pollinisateurs ne se résume pas à la quantité de la production mais joue aussi un rôle dans sa qualité. Par exemple, la quantité d'acide gras est plus importante dans les amandes lorsque la pollinisation est adéquate et que le fruit est bien formé (Brittain et al. 2014), les pommes contiennent plus de sucres (Geslin et al. 2017a, voir plus bas), la qualité gustative des fraises est accrue (Wietzke et al. 2018) et les fruits du fenouil contiennent plus d'anéthole (Schurr et al. 2022, voir ci-dessous). Enfin, les pollinisateurs sont également garants de la santé humaine puisque la majorité des sources de vitamines A, C, et de certains nutriments comme le zinc ou l'acide folique sont apportés par les fruits et légumes que nous consommons, eux même pollinisés par les insectes (Eilers et al. 2011 ; Ellis et al. 2015 ; Smith et al. 2015). La valeur économique du service de pollinisation est estimée entre 235 et 577 milliards de dollars US par an par la Plateforme Intergouvernementale d'étude de la Biodiversité et des Services Écosystémiques (IPBES, Potts et al. 2016).

Ainsi, l'agriculture moderne se trouve confrontée à un défi majeur. Alors que la population humaine s'accroît, il faut, pour nourrir les hommes, arriver à augmenter la production agricole. Historiquement, cette augmentation de la production s'est faite à travers la transformation de l'agriculture paysanne vers une agriculture intensive, dépendante des énergies fossiles (mécanisation, engrais) et des molécules de synthèse (pesticides). Ces changements ont profondément modifié les paysages, augmentant la superficie des cultures, principalement dominées par des monocultures, aux dépens des milieux semi-naturels comme les forêts ou les milieux ouverts (prairies permanentes, landes, zones humides), et des habitats linéaires (haies, bandes enherbées) (Burel & Baudry, 1999). Cependant, et comme nous venons de le voir, la production de la majorité des plantes cultivées dépend des pollinisateurs. Or, ceux-ci sont extrêmement liés à la présence de milieux semi-naturels à proximité pour y accomplir leur cycle de vie car ces milieux leur fournissent sites de nidifications et ressources florales tout au long de l'année et ils subissent de pleins fouet les perturbations anthropiques liées à l'agriculture (Morandin & Kremen, 2013 ; Mallinger et al. 2016 ; Cole et al. 2017 ; Rutschmann et al. 2022). Ainsi, et dans de nombreux cas, les gains de production agricole liés à l'intensification de l'agriculture sont contrebalancés par les effets néfastes de la fragmentation des habitats naturels et de l'utilisation de pesticides sur les populations de

pollinisateurs (Deguines et al. 2012). L'agriculture moderne se trouve donc confronté à un dilemme de taille : accroître la production pour nourrir les hommes tout en protégeant les milieux naturels et semi-naturels pour épargner les insectes. La quantité de terres arables n'étant pas infinie (Foley et al. 2011), il faut pour cela bâtir des solutions innovantes pour intensifier la production sur les terres déjà cultivées, c'est tout le sens de l'agroécologie (Garibaldi et al. 2014 ; 2019 ; Kovács-Hostyánszki et al. 2017).

La bibliographie sur le lien entre production agricole, structure des paysages, perturbations anthropiques d'origines agricoles et communautés d'insectes pollinisateurs est extrêmement vaste, et il serait hors de propos de la développer *in extenso* ici. Pour ma part, j'ai commencé à m'intéresser de plus près aux systèmes agricoles après ma thèse en 2013, d'abord via une mission postdoctorale en Afrique du Sud, puis lors de mon post-doc en Argentine et enfin lors de l'encadrement de la thèse de Lucie Schurr à Marseille. Lors de ces études, j'ai souvent adopté une approche paysagère, liant structure du paysage, isolement aux milieux semi-naturels avec les communautés d'insectes pollinisateurs et les rendements agricoles. Cette approche paysagère est assez transversale à tout mon travail (voir par ailleurs), elle permet via l'étude des patrons spatiaux, de la fragmentation et de l'hétérogénéité des paysages de comprendre comment la composition et la structure d'un paysage va influencer les espèces présentes et leurs interactions. De 2013 à aujourd'hui, parmi toutes les recherches liants paysages, communautés d'insectes et production agricoles, deux fronts de sciences ont été particulièrement actifs dans la littérature et féconds en publications et nouveaux projets : a) l'importance des milieux naturels et l'isolement à ces habitats comme éléments structurant les communautés d'insectes et le service de pollinisation, et par extension b) l'importance quantitative et qualitative des insectes dans la production des cultures, notamment l'importance relative des pollinisateurs sauvages et domestiqués. Dans les parties suivantes, je vais présenter les liens entre ces deux problématiques et mes travaux dans les paysages agricoles.

#### b. L'isolement aux milieux semi-naturels

La première synthèse de la littérature d'ampleur explorant l'effet de l'isolement aux milieux naturels sur les insectes pollinisateurs date de 2008 (Ricketts et al. 2008). Dans cet article, les auteurs, à travers une méta-analyse de 23 études portant sur 16 cultures différentes présentes sur cinq continents montraient sans ambiguïté une corrélation négative entre l'accroissement de la distance aux habitats semi-naturels et la richesse (Fig. 7) et le nombre de visite de pollinisateurs. Pourtant, ce travail soulevait de nombreuses questions additionnelles. Premièrement, bien que très conséquent, il portait sur un nombre encore relativement faible d'études, dont certaines n'étaient pas encore publiées, et un nombre limité de cultures. La question de l'effet de l'isolement pouvait ainsi rester ouverte pour de nombreuses espèces de plantes

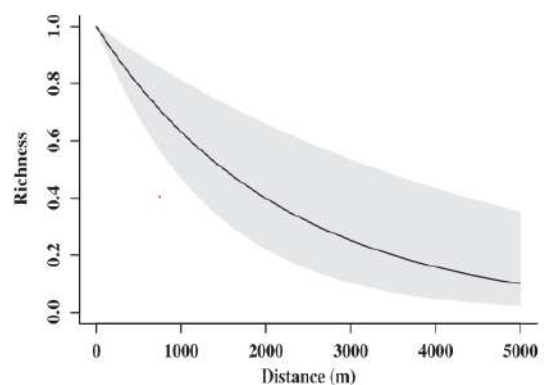


Figure 7 : Relation linéaire entre la richesse spécifique de pollinisateurs et la distance (isolation) au milieu naturel. La zone grisée représente l'intervalle de confiance (90%). La richesse spécifique a diminué de 50% à une distance de 1507 m des habitats naturels (figure issue de Ricketts et al. 2008).

cultivées comme les apiacées par exemple connues pour être très généralistes (i.e., attirer de nombreux pollinisateurs, Skaldina, 2020). De plus, l'étude ne présentait pas de patterns clairs liant isolement au milieu naturels et perte de rendement pour les cultures. De plus, si l'effet de l'isolement apparaissait très important sur l'abondance et la richesse d'insectes qu'en était-il de la diversité fonctionnelle ? Le succès de pollinisation est pourtant bien souvent lié à la complémentarité morphologique et comportementale des communautés d'insectes qui assurent la stabilité du service de pollinisation dans le temps et l'espace pour une vaste diversité de plantes (Fontaine et al. 2006 ; Hoehn et al. 2008 ; Fründ et al. 2013 ; Winfree et al. 2018). Enfin, et à bien des niveaux cette question est complémentaire de la précédente, l'absence de pollinisateurs sauvages peut-elle être contrebalancée par l'ajout de pollinisateurs domestiques ou gérés, dans les parcelles agricoles.

c. Apports à l'étude des pollinisateurs dans les paysages agricoles

i. Etude de cas sur le fenouil (*Foeniculum vulgare*) - France

Depuis l'étude de Ricketts et al. (2008), de nombreuses études se sont intéressées à l'effet de l'isolement sur les communautés d'insectes pollinisateurs (e.g., Carvalheiro et al. 2010 ; Garibaldi et al. 2011 ; Bailey et al. 2014 ; Connelly et al. 2015 ; Senapathi et al. 2017). Pourtant, dans bien des cas, les questions citées ci-dessus restent encore largement d'actualité. Ainsi, au moment où Lucie Schurr a commencé sa thèse sur la pollinisation du fenouil (*Foeniculum vulgare*), rien ou presque n'était encore connu sur cette espèce, ni ses liens avec les communautés d'insectes, ni l'effet de l'isolement sur son attractivité et sa production (Schurr, 2022). Aussi, nous nous sommes naturellement posé la question de comprendre quels étaient les insectes visitant cette culture, comment les facteurs paysagers structuraient ces communautés et quelle était leur influence sur les rendements de cette culture. De façon très triviale, nous avons en premier lieu exploré quelle était la dépendance du fenouil aux pollinisateurs. A travers une étude en pollinisation contrôlée (i.e., ensachage des fleurs et donc exclusion des insectes), nous avons montré que la production de fruit et la quantité d'anéthole présente dans les fruits (métabolite secondaire anisé, valorisé dans la production de boissons alcoolisée comme le pastis, et principale source de revenus pour les agriculteurs) était hautement dépendante des pollinisateurs, le rendement chutant de 92% en absence d'insectes (Fig. 8 ; Schurr et al. 2022).

Il apparait ainsi particulièrement crucial dans notre système d'étude de préserver les populations d'insectes pour garantir le rendement du fenouil. Par la suite, nous avons exploré l'effet de l'isolement aux milieux semi-naturels sur les populations d'insectes et le lien entre la richesse taxonomique d'insecte et la

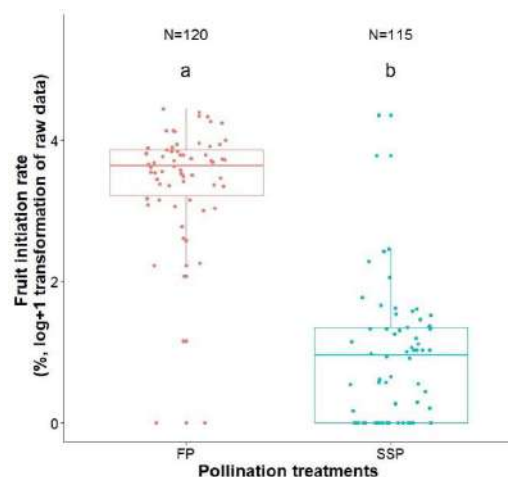


Figure 8 : Taux d'initiation des fruits du fenouil (*Foeniculum vulgare*) en fonction de traitements de pollinisation. FP (en rouge) = pollinisation libre. SSP (en bleu) = autopollinisation spontanée (fleurs ensachées). Issu de Schurr et al., 2022.

production agricole (Schurr et al. 2021). Nous avons alors de nouveau démontré que l'isolement aux milieux naturels entraînait une chute de la richesse taxonomique d'insectes (distance to SNH, Fig. 9) qui elle-même était positivement liée au rendement du fenouil. De plus, et de manière plus novatrice, nous avons montré l'importance de l'hétérogénéité du paysage pour la richesse taxonomique d'insectes (Fig. 9). Cette hétérogénéité, exprimée ici par l'indice IJI (Interspersion and Juxtaposition Index), reflète la contiguïté entre bordures de parcelles différentes (différents habitats ou différentes cultures). Les insectes pollinisateurs étant dans de nombreux cas des « central place foragers » c'est-à-dire des organismes faisant des allers-retours entre leurs nids et les ressources alimentaires, la contiguïté entre des habitats de natures différentes permet aux insectes d'accomplir leur cycle de vie (par exemple nicher dans les habitats semi-naturels et se nourrir sur les cultures à floraison massive). Cela montre ainsi bien l'importance de la configuration du paysage dans la structuration des communautés d'insectes (Fig. 10). En cela, nos résultats sont en concordance avec des études récentes et s'inscrivent dans une bibliographie plus novatrice liant structure des paysages et pollinisateurs (Hass et al. 2018 ; Martin et al. 2020).

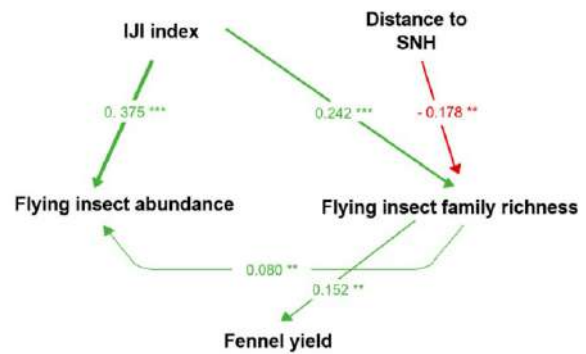


Figure 9 : Représentation graphique d'une équation structurale via un diagramme en chemin (path diagram) représentant les liens de causalité entre variables (Fisher's C = 10.575, k = 8, p > 0.05). L'épaisseur de la flèche est proportionnelle à la magnitude de l'effet. \*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01. En vert, les effets positifs, en rouge les effets négatifs. IJI index = indice d'hétérogénéité des habitats. Distance to SNH = distance aux habitats semi-naturels. Issu de Schurr et al. 2021.



Fig 10 : Représentation imaginée d'une parcelle de fenouil idéale pour les agriculteurs et les insectes (Issu de Schurr, 2022 ; peinture : Emma Valadas).

ii. Etude de cas sur le manguier (*Mangifera indica*) – Afrique du Sud.

Un des aspects clés de la provision du service écosystémique de pollinisation pour les cultures réside dans la diversité fonctionnelle des insectes visitant les fleurs. Une forte diversité fonctionnelle est en effet associée à une complémentarité entre les traits morphologiques, phénologiques et comportementaux des pollinisateurs augmentant ainsi les potentiels transferts de pollens

(e.g. Fontaine et al. 2006 ; Fründ et al. 2013 ; Senapathi et al. 2021). Dans les champs de manguiers en Afrique du Sud, nous avons alors capturé à l'aide de coupelles colorées pendant et après la floraison des manguiers, les insectes floricoles et avons étudié l'effet de la distance au milieu naturel sur la diversité fonctionnelle de ces communautés d'insectes (Geslin et al. 2016a). La diversité fonctionnelle était calculée à partir de la taille des individus capturés (taille du corps et taille

des ailes) et de leur ordre taxonomique. Nous avons montré un déclin significatif de la diversité fonctionnelle des insectes avec l'accroissement de la distance au milieu naturel (Fig. 11). Cet article ajoutait ainsi de nouvelles évidences de l'effet négatif de l'isolement sur la communauté d'insectes, mais cette fois-ci d'un point de vue fonctionnel. De manière

intéressante, cet effet perdurait, même après la récolte des fruits (Fig. 11), c'est-à-dire après l'arrêt des traitements insecticides et herbicides. Notre travail montrait donc que même dans un milieu riche en biodiversité comme l'est le bush Sud-Africain, l'effet de l'isolement à ce milieu naturel est fortement structurant pour les insectes pollinisateurs. Pourtant et comme nous le verrons dans les perspectives, des solutions peuvent exister pour préserver les insectes tout en accroissant la production.

iii. Etude de cas sur les pommiers (*Malus domestica*) – Argentine.

Certains systèmes agricoles sont, à cause de l'intensification ou des particularités géographiques, simplifiés à l'extrême, c'est-à-dire composé de plantes gérées, et de pollinisateurs gérés, les espèces natives y étant virtuellement absente (non détectable via les méthodes de captures communes). C'est ce que j'ai découvert lors de mon post-doctorat en Argentine. Initialement, je devais y poursuivre mes travaux en écologie fonctionnelle et travailler sur l'efficacité relative des différents groupes d'insectes dans la pollinisation des pommiers. Cependant, en arrivant sur site, nous nous sommes vite rendu compte de l'absence totale de pollinisateurs sauvages sur les parcelles de pommiers. Le système agricole dans cette partie de la Patagonie n'était donc

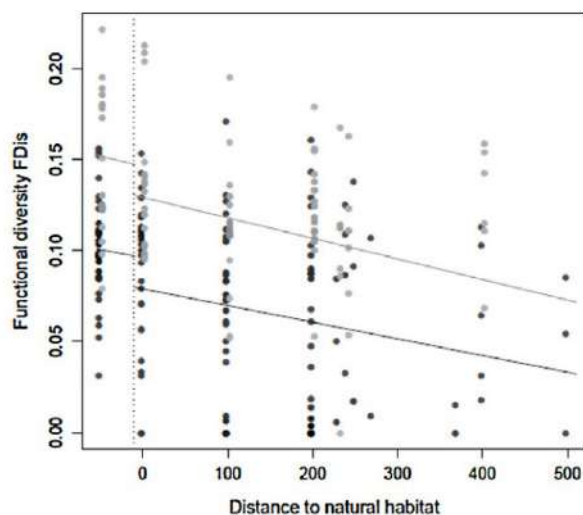


Figure 11 : Effet de la distance au milieu naturel (m) et de la période de floraison sur la diversité fonctionnelle des communautés d'insectes des champs de manguiers. Les lignes représentent les valeurs produites par les modèles. La saison sèche (période de floraison du manguier) est représentée en gris foncé, et la saison humide en gris clair. Les points à gauche de la ligne pointillée représentent les échantillonnages réalisés dans le milieu naturel directement adjacent aux plantations de manguiers.

Issu de Geslin et al. (2016a).

composé que d'arbres fruitiers (pommiers, poiriers, cerisiers) et d'une seule espèce de pollinisateurs, *Apis mellifera*, l'abeille domestique. Outre le danger potentiel, en termes de sécurité alimentaire, de faire reposer la pollinisation sur une seule espèce (voir ici Aizen et al. 2009, 2019), cela pose aussi la question de la compétition entre paysans pour l'accès au cheptel d'abeilles. Un agriculteur louant les colonies les plus abondantes et performantes aurait ainsi potentiellement une meilleure production agricole. En partenariat avec l'agence de développement agricole locale, nous avons donc travaillé sur un protocole visant à fournir aux agriculteurs des colonies d'abeilles domestiques de qualité optimale (>20 000 individus, absence de loque américaine et de varroa ; Geslin et al. 2017b) en échange d'une meilleure rémunération pour les apiculteurs. Nos résultats ont montré qu'en améliorant la qualité des colonies d'abeilles domestiques, on entrainait alors dans un cercle vertueux, accroissant l'activité des abeilles, la production de pommes, leur qualité (notamment en sucre) et in fine la rentabilité de la production (Fig. 12). Ce système était ainsi gagnant-gagnant, à la fois pour les apiculteurs et les agriculteurs.

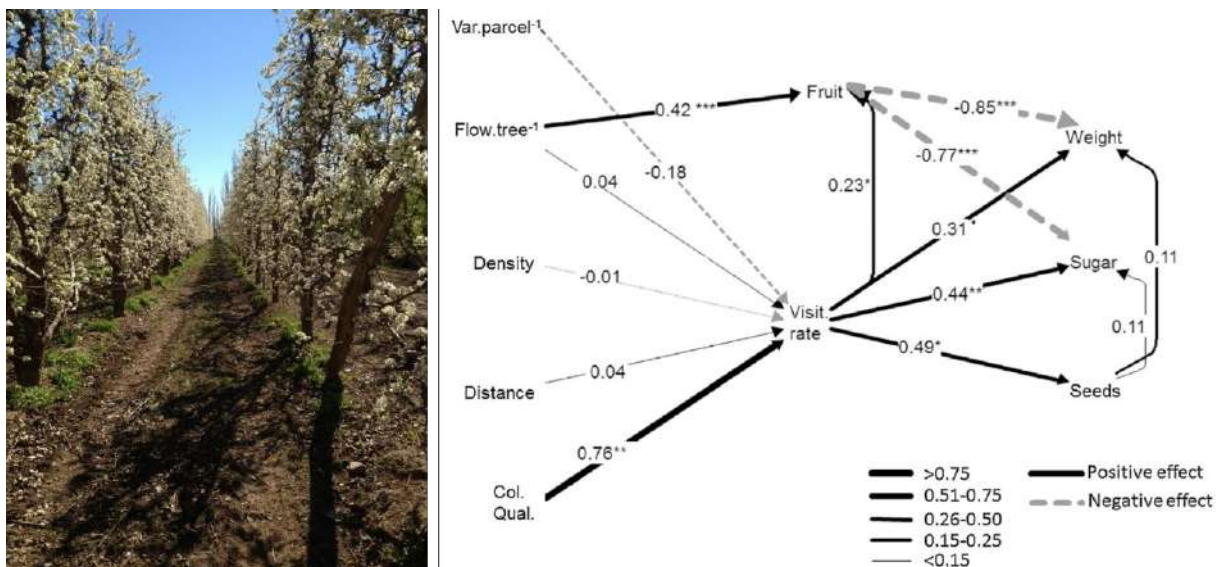


Figure 12 : A gauche, photographie d'un champ de pommier en argentine (photo : Benoît Geslin). A droite, représentation graphique d'une équation structurale via un diagramme en chemin (path diagram) représentant les liens de causalité entre variables (Fisher's C= 40.04, k = 29, P > 0.05). L'épaisseur de la flèche est proportionnelle à la magnitude de l'effet. \*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01. En noir, les effets positifs, en gris pointillé les effets négatifs. Var.parcel-1= nombre de variétés par parcelles ; Flow.tree-1= estimation du nombre de fleurs par arbre. Col. qual: qualité de la colonie d'abeilles domestiques ; Density = densité de colonies d'abeilles domestiques dans un rayon de 200 m; Fruit = nombre de fruits par arbre ; Visit. rate: nombre de visites d'abeilles par minutes. Issu de Geslin et al. 2017b.

#### d. Perspectives

Les 15 dernières années de recherche dans les paysages agricoles, liant production et pollinisateurs ont apportés deux résultats majeurs. D'abord, et sans ambiguïté, l'importance des milieux naturel et semi-naturels, dans le maintien des communautés de pollinisateurs et la provision du service écosystémique de pollinisation. Ensuite, l'importance d'avoir des communautés de pollinisateurs diversifiées pour produire plus et de meilleure qualité (e.g. Garibaldi et al. 2013 ; Winfree et al. 2018). Notre cas d'étude sur les pommiers est tout à fait particulier, et dans bien d'autres régions du monde, (e.g. Italie, Angleterre, USA), les pollinisateurs les plus efficaces des pommiers sont les pollinisateurs sauvages, abeilles et syrphes (Blitzer et al. 2016 ; Földesi et al. 2016 ; Park et al.

2016 ; Osterman et al. 2021). D'une manière générale, pour de nombreuses cultures, les abeilles domestiques ne peuvent pas compenser l'absence de pollinisateurs sauvages ou se substituer à eux (e.g. Garibaldi et al. 2013 ; Nicholson et al. 2019 ; Page et al. 2021 ; Senapathi et al. 2021). Ainsi, les abeilles domestiques ne sont pas des pollinisateurs efficaces pour le coton, les fraises, les courgettes, ou encore les tomates (entre autres) en comparaison des pollinisateurs sauvages (Garibaldi et al. 2013 ; Willmer et al. 2017 ; Page et al. 2021). Cela peut s'expliquer notamment par le comportement des abeilles domestiques qui ne laissent qu'un nombre restreint de grains de pollen par visite sur le stigmate des fleurs en comparaison des abeilles sauvages (Park et al. 2016 ; Willmer et al. 2017 ; Page et al. 2021). L'agriculture de demain devra donc intégrer la préservation des milieux naturels et des pollinisateurs sauvages dans le but de produire quantitativement et qualitativement.

De plus, des recherches récentes ont également montré que la salive des abeilles domestiques modifiait le microbiote des grains de pollen pouvant potentiellement affecter leur pouvoir germinatif et donc la fitness des plantes visitées (Prado et al. 2022). Les recherches sur le microbiote des abeilles n'en sont qu'à leur début et des questions comme l'impact du microbiote sur la fonction de pollinisation, les transferts horizontaux et verticaux de microbiote via et entre les plantes à fleurs, l'effet de ce microbiote sur l'attractivité des plantes aux pollinisateurs, et l'impact des pesticides sur le microbiote ne font que commencer (e.g. Motta et al. 2018). Ce sont des questions que j'aimerais explorer sur le plus long terme. C'est pourquoi, dans le cadre de ma délégation CNRS au laboratoire Ecobio (Rennes 1, 2022-2023), je participe ponctuellement avec C. Mony, P. Vandenkornuyse, C. Le Lann et J. Van Baaren à un travail préliminaire sur les relations microorganismes-plantes-pollinisateurs avec comme question principale de comprendre l'effet du microbiote des fleurs sur leur attractivité aux pollinisateurs (voir ici également l'« idea paper » de Takeda & Sakai, 2022).

Parmi les questions qui restent en suspens, demeure également celle de l'identité des traits associés à la fonction de pollinisation. Pour bon nombre de cultures, nous savons que la diversité des pollinisateurs est importante à une pollinisation efficace (e.g. Kremen 2018 ; Winfree et al. 2018), mais nous n'avons encore pas identifié précisément les traits impliqués dans la performance des différentes espèces de pollinisateurs. De récents travaux pourraient nous permettre de répondre à cette question. Ainsi, tout récemment, une base de données mondiale des pollinisateurs des cultures a été publiée (Allen-Perkins et al. 2022 a ; b). Depuis 2 ans, de notre côté avec B. Schatz et grâce aux connaissances de D. Genoud, nous montons une base de données des traits des abeilles sauvages (taille, comportement, préférences alimentaires, position de la scopa etc...). Dans le futur, je souhaite explorer et combiner ces deux bases de données. L'idée est d'identifier chez les pollinisateurs efficaces des cultures, les traits morphologiques particuliers (e.g. localisation de la scopa) permettant cette efficacité dans la pollinisation. Ces recherches pourraient ainsi permettre de favoriser et/ou encourager la conservation des espèces et donc les traits essentiels à la provision du service de pollinisation.

#### 4. La ville et ses effets sur les communautés d'abeilles sauvages

##### a. Apports à l'étude de l'impact de l'urbanisation sur les communautés d'abeilles sauvages.

La croissance des espaces urbanisés, imperméabilisés, s'est considérablement accélérée sur les 50 dernières années. Depuis 2008, la proportion d'êtres humains vivant dans les villes a pour la première fois dépassée les 50% (Goddard et al. 2010) et entre 2000 et 2030, l'expansion urbaine pourrait avoir cru de 285% (Seto et al. 2012 ; Harrison & Winfree, 2015, Fig. 13). Dans les pays développés, cette expansion se fait majoritairement (60%) sur les surfaces agricoles, grignotant les terres cultivées (Güneralp et al. 2020). La recherche en écologie dans les milieux urbains est restée relativement limitée jusque dans les années 2000 et seuls existaient des données sur quelques groupes biologiques comme les plantes ou les oiseaux (Rega-Brodsky et al. 2022). Jusqu'en 2013, l'effet de l'urbanisation et des perturbations associées (e.g., pollution, chaleur) sur les communautés d'abeilles sauvages et sur leurs interactions avec les plantes à fleurs n'avait été encore que peu étudié (exhaustivement :

Mcintyre & Hostetler, 2001 ; Zanette et al. 2005 ; Hernandez et al. 2009 ; Ahrné et al. 2009 ; Bates et al. 2011 ; Wojcik & McBride, 2012). Les résultats étaient de plus très contrastés entre les études. Certains auteurs illustraient un déclin de la richesse et de l'abondance des abeilles sauvages le long de gradient d'accroissement de surfaces imperméables (proxy de l'urbanisation, Bates et al. 2011). D'autres, une baisse de leur richesse spécifique uniquement (Ahrné et al. 2009). Certains enfin, ne soulignaient pas de diminution claire ni de l'abondance ni de la diversité des abeilles sauvages avec l'accroissement de l'urbanisation (Wojcik & McBride, 2012).

De 2009 à 2013, j'ai travaillé sur la structure des communautés d'abeilles sauvages et sur les interactions plantes-pollinisateurs le long d'un gradient d'urbanisation en région parisienne. Sur douze sites répartis en Ile-de-France, nous avons échantillonné la faune d'abeilles sauvages à l'aide de coupelles colorées (jaune, blanche, bleue), (Westphal et al. 2008). D'autre part, nous avons également installé dans chacun de ces douze sites des communautés expérimentales de plantes à fleurs composées de 5 espèces (*Lotus corniculatus*, *Medicago sativa*, *Consolida regalis*, *Matricaria inodora* and *Sinapis arvensis*). L'idée de ces communautés expérimentales était de standardiser la ressource disponible pour les pollinisateurs afin d'observer comment évoluait la communauté pollinisatrice le long du gradient d'urbanisation. A travers deux articles (Geslin et al. 2013 ; 2016b), nous avons montré une décroissance significative du nombre d'interactions dans les milieux urbanisés et un déclin de l'abondance et de la richesse des abeilles sauvages avec l'accroissement de l'urbanisation (Fig. 14 a, b). Ce déclin était particulièrement fort chez les espèces d'abeilles nichant dans le sol (terricoles) et était en lien avec l'accroissement des surfaces imperméables (routes, bâtiments, parking etc..) à l'échelle du paysage (Fig. 14 c).



Figure 13: « Yellow line flower »; oeuvre de l'artiste Banksy.

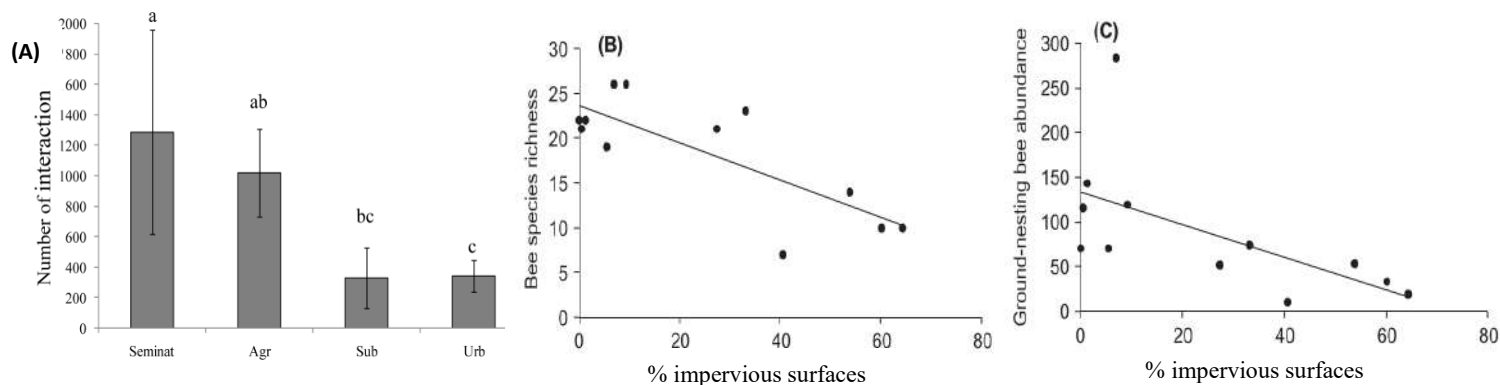


Figure 14 : Activité, richesse spécifique et abondance des abeilles sauvages le long d'un gradient d'urbanisation. (A) nombre d'interactions totales observées entre la communauté de pollinisateurs sauvages et les communautés expérimentales de plantes à fleurs entre différents habitats (semi-naturel, agricole, suburbain, et urbain ; issu de Geslin et al. 2013). (B) relation linéaire entre la richesse spécifique des abeilles sauvages et le pourcentage de surfaces imperméables à l'échelle du paysage (de 0 à 80%, issu de Geslin et al. 2016b). (C) relation linéaire entre l'abondance d'abeilles terrioles et le pourcentage de surfaces imperméables à l'échelle du paysage (de 0 à 80%, issu de Geslin et al. 2016b)

#### b. Une controverse qui reste vive

Depuis ces publications, énormément de travaux ont été effectués sur l'effet de l'urbanisation sur les abeilles sauvages. Certains ont également montré un effet négatif de l'accroissement des surfaces imperméables sur leur abondance et diversité (e.g. Choate et al. 2018). Paradoxalement cependant, une plus forte quantité d'études a montré, qu'à l'opposé des milieux péri-urbains, ruraux ou ceux dominés par les agrosystèmes, les villes pouvaient abriter des communautés de pollinisateurs plus diversifiées (e.g. Baldock et al. 2015 ; Sirohi et al. 2015), voire pouvaient être considérées comme des « hotspots » de diversité pour les insectes pollinisateurs (e.g. Theodorou et al. 2017, 2020). Une revue de la littérature de 2017 (Hall et al. 2017), montre ainsi que les villes pourraient être des refuges pour certains pollinisateurs étant donné la variété de ressources et de sites de nidifications qu'elles offrent. De fait, il semble que certains habitats urbains comme les jardins partagés puissent être particulièrement hospitaliers pour les abeilles sauvages, du fait de la présence de ressources florales diversifiées sur de longues plages temporelles (Baldock et al. 2019 ; Baldock, 2020). Qui plus est, l'îlot de chaleur urbain généré par les activités humaines semble également profiter aux insectes accroissant la durée de leur période d'activité, et améliorant le service de pollinisation induit (Zaninotto et al. 2020, voir cependant Fisogni et al. 2020 ; 2022 qui montrent un décalage phénologique entre pollinisateurs et plantes en milieu urbain dû à une floraison précoce des plantes).

Le débat n'est donc toujours pas tranché quant à l'impact de l'urbanisation sur les pollinisateurs sauvages. D'un côté les milieux urbains peuvent fournir des ressources abondantes toute l'année, et être à ce titre plus hospitaliers en comparaison des milieux agricoles alentours, souvent intensivement gérés. D'un autre côté, les milieux urbains semblent affecter fortement certains groupes d'abeilles comme les terrioles, et ils subissent également des pollutions importantes pouvant affecter les populations de pollinisateurs (Ozone, métaux lourds, hydrocarbures etc.). A Paris, nous avons par exemple montré via une collaboration avec Aleksandar Rankovic, un accroissement du  $\delta^{15}\text{N}$  dans les tissus de trois espèces d'abeilles récoltées en région parisienne (Rankovic, Geslin et al. 2020, Fig. 15). Nous avons alors associé cet accroissement avec la pollution atmosphérique due au trafic automobile – notamment (voir pour cela Widory 2007 ; Rankovic, 2016).

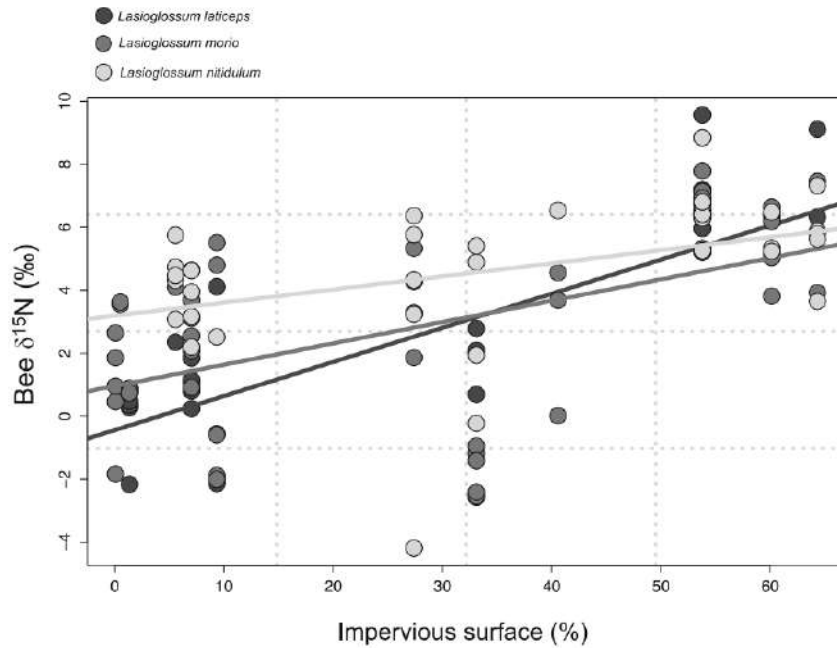


Figure 15 : Relation linéaire entre le  $\delta^{15}N$  dans les tissus des abeilles sauvages et le pourcentage de surfaces imperméables à l'échelle du paysage. Les couleurs des points et des lignes correspondent aux différentes espèces. Gris clair : *Lasioglossum nitidulum* ; gris foncé : *Lasioglossum morio* ; noir : *Lasioglossum laticeps*.

La question reste alors de savoir qui sont les pollinisateurs réellement favorisés par les espaces urbains et quels traits présentent-ils. Autrement dit, y-a-t-il un filtre environnemental favorisant une communauté d'espèces « gagnantes » adaptées aux milieux urbains présentant des traits morphologiques et comportementaux particuliers ? A Marseille, grâce au travail de master de Lucie Schurr que j'encadrerai en stage avant qu'elle ne commence sa thèse avec nous et grâce aux efforts d'Arnaud Badiane que j'ai encadré pendant son ATER, nous avons également montré une décroissance de l'abondance et la richesse d'abeilles sauvages dans les paysages les plus urbanisés (Badiane et al. soumis à *Regional Environmental Changes*). Cependant, nous avons en sus montré que la ville favorisait les espèces

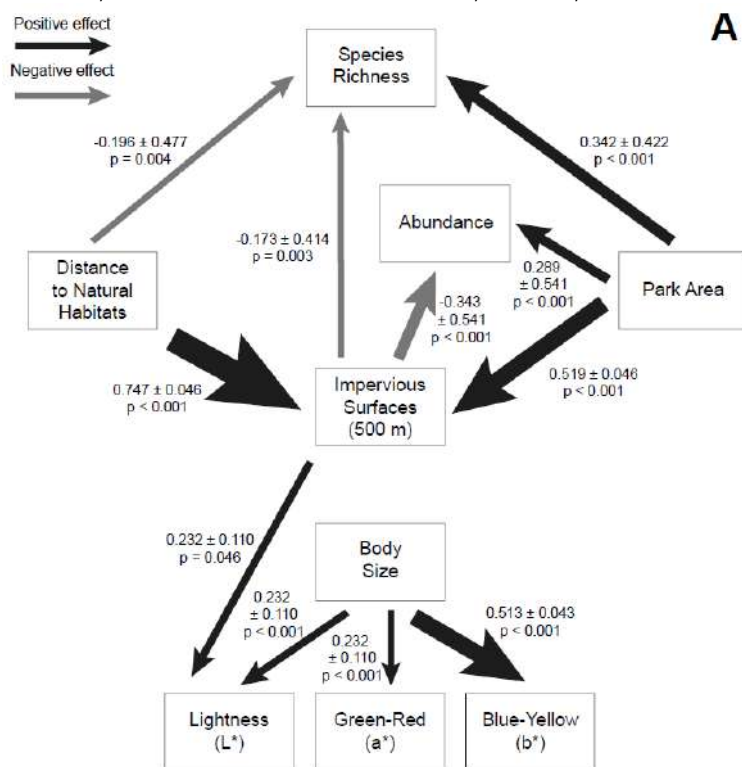


Figure 16 : Représentation graphique d'une équation structurale via un diagramme en chemin représentant les liens de causalité entre variables (Fisher's C= 26.81, k = 36, P> 0.05). L'épaisseur de la flèche est proportionnelle à la magnitude de l'effet. \*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01. En noir les effets positifs, en gris les effets négatifs.

d'abeilles plus claire (Fig 16). Autrement dit, les parcs situés dans une matrice fortement dominée par des surfaces imperméables, hébergeaient significativement moins d'abeilles sombres que les parcs périurbains. Une des hypothèses expliquant cela résiderait peut-être dans la capacité des espèces claires à résister davantage aux fortes chaleurs des villes méditerranéennes. Une autre hypothèse que nous avons soulevée serait une sélection naturelle des individus plus clairs face à la prédation car ces derniers seraient moins visibles sur les bâtiments méditerranéens de couleurs claires. Dans les deux cas, comme nous l'avons souligné dans notre article soumis, ces mécanismes se basent sur de larges présomptions et restent à valider par des protocoles expérimentaux.

Dans un autre contexte, dans des milieux insulaires tropicaux de Nouvelle-Calédonie, dans le cadre de la thèse de Marie Zakardjian, nous avons montré que les communautés urbaines de Nouméa étaient largement dominées par les espèces d'abeilles exotiques et que la ville pouvait ainsi servir de point d'entrée à la propagation de ces espèces aux milieux environnants (Zakardjian et al. 2020). Ce résultat pouvant s'expliquer par la capacité des abeilles exotiques à être très généraliste dans leurs choix de butinage (polylectisme) et également par la plus forte abondance de plantes ornementales, elles-mêmes souvent exotiques dans les villes (Lowenstein et al. 2019).

### *c. Perspectives*

Pour apporter de nouvelles réponses quant à l'effet de l'urbanisation sur les communautés d'abeilles sauvages, il est possible d'envisager de nouvelles pistes de réflexions. Une première piste serait de travailler sur des méta-analyses en cumulant l'ensemble de jeux de données répertoriés liant urbanisation et communautés de pollinisateurs. Je participe avec de nombreux auteurs en ce moment à deux méta-analyses sur ce sujet, dont la soumission est en cours. La première, à l'échelle européenne est portée par Arthur Fauviau, doctorant à iEES Paris (l'article a depuis été publié pendant le temps de rédaction de cet HDR, Fauviau et al. 2022). En analysant les résultats de 16 études et plus de 65 000 captures d'abeilles, A. Fauviau montre un déclin significatif de la richesse spécifique (diversité alpha) des abeilles sauvages avec l'accroissement des surfaces imperméables (et non avec la densité des populations humaines). La deuxième étude se place à l'échelle mondiale, elle est portée par Tsang Pak Nok Toby, postdoctorant à l'université de Toronto. Cette dernière est plus vaste car elle explore l'effet des changements d'habitats au sens large sur les communautés d'abeilles. Néanmoins, en explorant les résultats de 150 études, elle montre une baisse de près de 20% de la richesse spécifique (diversité alpha) dans les milieux urbains en comparaison des milieux naturels. Ces derniers résultats ne sont pas encore publiés mais nous espérons une publication fin 2023.

A moyen terme, je souhaite m'intéresser à mieux définir le périurbain. Un des écueils de la littérature est d'avoir bien standardisé l'analyse des milieux urbains en utilisant un indicateur synthétique et fiable de l'urbanisation à savoir la proportion de surface imperméable à l'échelle du paysage (voir ici Lu et al. 2006 ; Yan et al. 2019, voir également nos résultats ci-dessus) mais de n'avoir pas fait le même travail sur les milieux périurbains. Ces milieux incluent, parfois de manière indistincte, les zones pavillonnaires, les milieux agricoles extensifs, intensifs, et les milieux naturels. La plupart du temps, dans les études, ces espaces sont qualifiés de périurbains sans en définir clairement les usages qui y sont pratiqués. Cela peut expliquer en partie la disparité de résultats que nous observons dans la littérature. Aussi, avec Cécile Le Lann et Aude Ernoult avec qui je collabore lors de

mon projet de délégation CNRS à Ecobio (Rennes1, 2022-2024), nous préparons actuellement un projet visant à explorer l'effet des différentes typologies périurbaines sur les communautés de pollinisateurs en travaillant à l'échelle de l'ensemble du département d'Ille-et-Vilaine. L'idée ici est de se focaliser sur le périurbain de plusieurs villes moyennes et d'en préciser la nature et la typologie via des indices paysagers (hétérogénéités, fragmentations, continuités).

## 5. La compétition Apis vs. non-Apis

### a. Le développement du concept de MIMS ou « *Massively Introduced Managed Species* »

En 2013, la conclusion de ma thèse de doctorat était alors textuellement la suivante : « en milieu urbains, les mesures de conservation envers les pollinisateurs se limitent souvent à installer des ruches sur les toits des bâtiments publics. Relancer le débat pour/contre les mesures de conservation sur les abeilles domestiques (e.g., [Aebi et al. 2012](#) ; [Ollerton et al. 2012](#)) est en dehors du champ de cette thèse. Néanmoins, adopter le principe de précaution quant à l'ajout d'une grande quantité de ruches en ville (plus de 300 à Paris en quelques années) me semble justifié. *Apis mellifera* est une espèce très compétitive ([Dupont et al. 2004](#)), et pourrait affaiblir encore davantage les espèces qui survivent dans les milieux urbains en captant une grande partie des ressources disponibles. Il pourrait être intéressant pour de futures études de quantifier l'impact potentiel de l'introduction d'une telle quantité d'individus d'une seule espèce sur les espèces locales, particulièrement dans des milieux fragilisés comme les milieux urbains ». Cette conclusion était issue d'une observation que nous faisons alors avec Isabelle Dajoz, de l'accroissement constant et extrêmement rapide de la quantité de ruche dans Paris intra-muros. A titre d'exemple, entre 2015 et 2017, nous serions passé de 600 à 1000 ruches dans Paris. En 2018, une nouvelle estimation du ministère de l'Agriculture donne le chiffre de 2755 colonies déclarées. Bien sûr il est très compliqué de statuer avec précision sur ce chiffre. Une colonie déclarée à Paris n'est pas forcément présente dans la capitale, et de plus, bons nombres d'apiculteur amateurs ne déclarent pas leurs ruches. Néanmoins, c'est une indication, et il apparaissait très clair à l'époque que le nombre de colonies augmentait rapidement.

Cette augmentation du nombre de colonies était (et est encore) associée à deux phénomènes parallèles. D'abord, et comme évoqué plus haut par la raréfaction des milieux agricoles non-intensifs, souvent riches en biodiversité et en plantes à fleurs et susceptibles d'accueillir sur le long terme des colonies d'abeilles domestiques ([Otto et al. 2016](#), [Dixon et al. 2021](#)). L'absence de ressources diversifiées et l'utilisation massives de pesticides fragilise la pérennité des exploitations apicoles dans les paysages agricoles intensifs ([De La Rúa et al. 2009](#)). A l'opposé et comme évoqué en partie 3, les villes peuvent paraître accueillantes pour les pollinisateurs, ce qui a très certainement encouragé l'installation de colonies dans ces systèmes ([Casanelles-Abella & Moretti, 2022](#)). D'autres part, cette installation s'est également faite via l'engouement des citoyens et des entreprises pour l'apiculture et les abeilles ([Stange 2020](#) ; [Egerer & Kowacik, 2020](#)). L'abeille domestique est devenue en quelque sorte un emblème de la biodiversité et a cristallisé l'envie de nombreux acteurs « d'aider la biodiversité » en installant des ruches, et ce, pas toujours pour de bonnes raisons (voir ici [Geslin et al. 2022](#)).

Nous nous sommes alors très vite posé la question quant à l'impact potentiel de la densité d'abeilles domestiques sur les communautés d'abeilles sauvages, notamment en ville. Pour ce faire, nous avons tout d'abord effectué un travail de revue bibliographique et de méta-analyse portant sur l'effet des pollinisateurs domestiqués sur les pollinisateurs sauvages ([Geslin et al. 2017b](#)). Dans ce travail nous avons défini le concept de MIMS « *Massively Introduced Managed Species* » à savoir une espèce introduite de façon massive et abrupte dans un écosystème par l'homme pouvant modifier la dynamique des interactions dans cet écosystème et la structure des réseaux plantes-pollinisateurs (ce concept a par la suite été repris dans la littérature e.g. [Geldmann &](#)

González-Varo 2018 ; Ghisbain et al. 2021). Ce concept concerne à la fois les plantes massivement introduites (e.g. cultures à floraison massives) et les pollinisateurs massivement introduits (e.g. abeilles domestiques, bourdons domestiques). Dans la première partie de l'étude nous avons d'abord expliqué par quels mécanismes des espèces massivement introduites pouvaient affecter positivement ou négativement les écosystèmes et le réseau plantes-pollinisateurs (Fig. 17). En ce qui concerne les pollinisateurs ces mécanismes comprennent la compétition directe (par interférence) et la compétition indirecte par exploitation de ressources partagées ou par transferts de pathogènes depuis les pollinisateurs domestiqués vers les pollinisateurs sauvages (apparent competition Fig. 17). A travers les quelques exemples trouvés dans la littérature nous avons alors montrés que les pollinisateurs managés pouvaient affecter les communautés de pollinisateurs sauvages, notamment par exclusion compétitive.

		Pollinators	Plants
Direct interactions	<b>Direct competition</b>	Aggressive interferences	Detrimental allelopathy
	<b>Facilitation</b>	Inadvertent social information	Beneficial allelopathy
Indirect interactions	<b>Exploitative competition</b>	Competition for floral resources and nesting opportunities	Dilution of shared pollinators
	<b>Apparent competition</b>	Spillover of shared parasites, pathogens and predators	Spillover of shared pathogens and herbivores
	<b>Facilitation</b>	Spillover of shared plant resources	Spillover of shared pollinators

Figure 17 : Synthèse des interactions potentielles entre MIMS (*Massively Introduced Managed Species*) et les plantes et pollinisateurs sauvages. À la suite de son introduction, une espèce gérée peu interférer avec les espèces sauvages selon différents processus écologiques. Certaines interactions peuvent être directes via des contacts physiques (ex. interférences agressives). Mais la majorité sont indirectes (ex. compétition pour les ressources) ou médiée par une troisième partie (ex. transfert de pathogènes entre espèces). Les MIMS peuvent néanmoins interagir également de manière positive avec les espèces locales, via par exemple l'information sociale de la présence des ressources pour les pollinisateurs, ou l'accroissement du succès reproducteur de plantes exploitées par les pollinisateurs introduits et sauvages.

Dans la deuxième partie de l'étude, nous avons effectué une méta-analyse de 63 réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs publiés dans la littérature et étudié la place des abeilles domestiques dans ces réseaux. Un des résultats majeurs de cette partie était que les abeilles domestiques modifiaient la structure des réseaux d'interaction plantes-pollinisateurs en occupant une place centrale dans ces réseaux ce qui en altérait la fonctionnalité (voir Fig 18.). Par exemple, *Apis mellifera* est la plupart du temps une espèce très généraliste occupant une grande centralité dans les réseaux plantes-pollinisateurs (voir Fig 18. B), ainsi elle peut capter la ressource de nombreuses espèces de plantes (voir aussi [Hung et al. 2019](#)) et ainsi potentiellement entrer en compétition pour les ressources avec une grande diversité d'espèces.

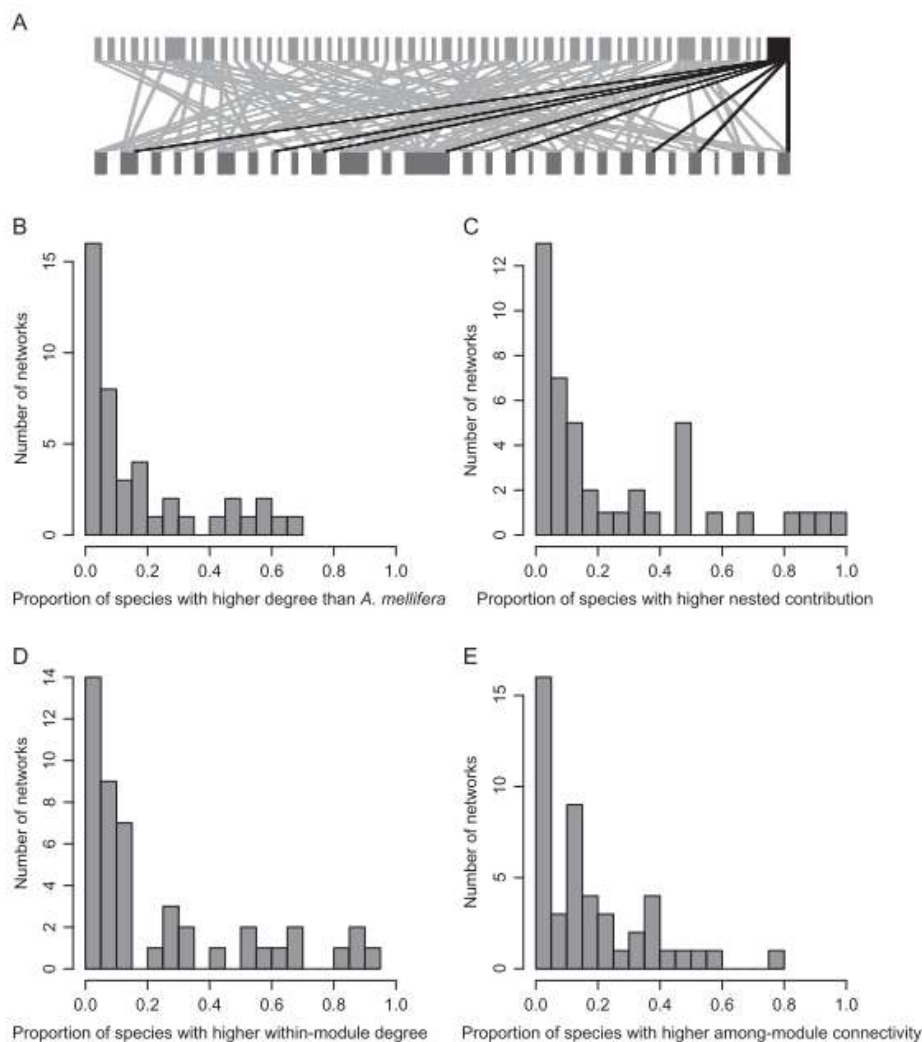


Figure 18 : A) exemple de réseaux plantes-pollinisateurs (issu de Ramirez & Brito, 1992). Les rectangles en haut correspondent aux espèces de pollinisateurs et en bas aux espèces de plantes. La taille des rectangles correspond aux degrés de l'espèce (généralisme). *Apis mellifera* est coloré en noir. (B, C, D, E) représentent les résultats de la méta-analyse avec B) le degré de généralisme, C) la contribution à la *nestedness* (emboîtement), D) et E) la modularité (exprimée ici comme le généralisme au sein D) ou entre E) les modules).. Ces quatre graphiques représentent la proportion d'espèces dans l'ensemble des réseaux ayant un degré de généralisme plus élevé (B) ; une contribution à la *nestedness* plus importante (C) ; une connectivité à l'intérieur des modules (D) et entre modules (E) plus élevée qu'*Apis mellifera* elle-même. Issu de Geslin et al. 2017b

Cependant, il restait encore à prouver que ce phénomène pouvait être observé à Paris par suite de l'augmentation du nombre de ruches, et par extension dans d'autres systèmes écologiques. Dans le cadre du master 1 et 2 de Lise Ropars (co-encadré avec I. Dajoz), nous avons alors débuté une étude sur l'impact de la densité de ruche sur les pollinisateurs sauvages dans Paris intra-muros. Pendant 3 ans, nous avons étudié la structure des réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs dans plusieurs sites de Paris en fonction de la densité de ruches présente dans un rayon de 1000 mètres. A travers cette étude, nous avons montré une corrélation négative entre la densité de ruches dans un rayon de 1000 mètres et l'activité de butinage des communautés de pollinisateurs sauvages (Ropars et al. 2019 ; Fig 19). Cet effet touchait particulièrement les bourdons, grandes abeilles sauvages, connus également pour leur comportement de butinage généraliste.

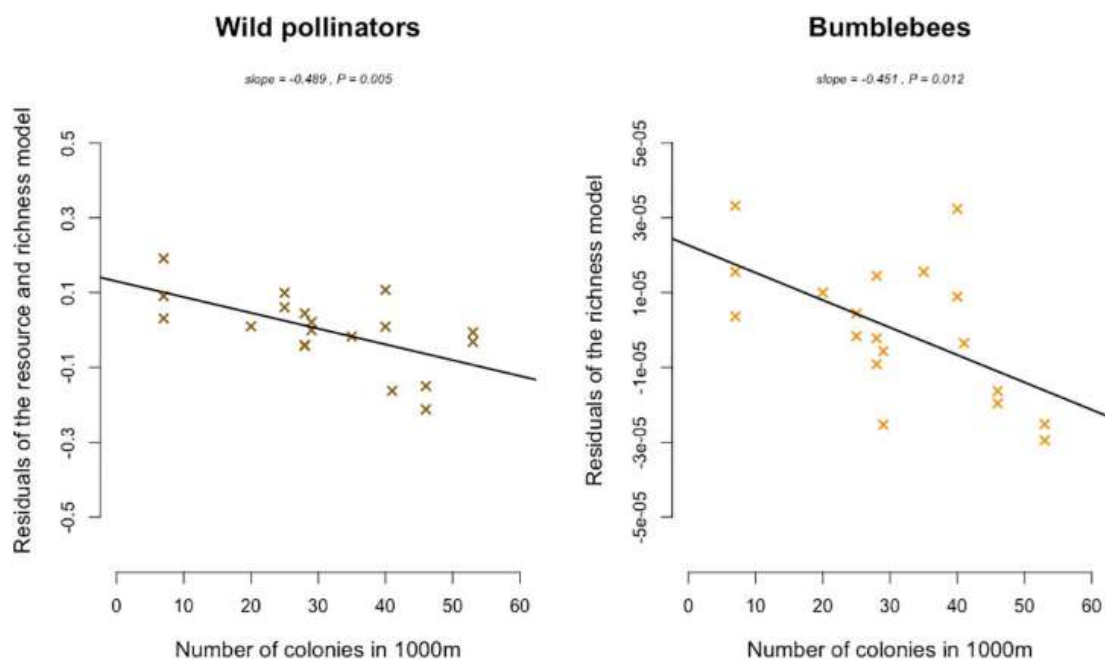


Figure 19 : Relations linéaires entre le nombre de colonies d'abeilles domestiques dans un rayon de 1 000 mètres et le nombres de visites observées sur les patch fleuris de l'ensemble des pollinisateurs sauvages (à gauche) et plus particulièrement des bourdons (à droite). Les régressions linéaires sont construites sur les résidus des modèles comprenant plusieurs variables explicatives (voir Ropars et al. 2019).

Bien sûr ce résultat ne présentait qu'une corrélation entre la densité de ruche à l'échelle du paysage et l'activité des pollinisateurs sauvages. Bien que de la compétition pour les ressources pouvait alors être suggéré, cela n'était pas directement prouvé par notre travail. Par nature, la compétition est un phénomène compliqué à mettre en évidence car il faut pour cela soit étudier la quantité de ressources exploitée par chacune des espèces pour montrer que la captation par l'une des parties diminue et affecte la capacité de l'autre, soit un changement de comportement alimentaire marqué en présence de l'espèce compétitrice (évitement), soit enfin par l'étude de la dynamique des populations sur le long terme, signal extrêmement ardu à étudier pour les abeilles sauvages.

Néanmoins, cette étude était un premier signal d'alarme montrant qu'en ville, une très forte densité de ruches était susceptible d'altérer l'activité des pollinisateurs. Bien sûr les villes présentent bien souvent moins

d'espèces à enjeux que les milieux naturels (voir partie 1), et à ce titre, un accroissement de la densité de ruches pourrait paraître moins dramatique. Cependant, le phénomène d'augmentation du nombre et de la densité de ruche ne s'est pas observé qu'en ville, et, pour les mêmes raisons qu'évoquées plus haut, de nombreux apiculteurs se sont également tournés vers les milieux naturels pour installer leurs cheptels (Geldmann & González-Varo 2018) notamment dans les habitats méditerranéens (Herrera, 2020). Or, ces habitats sont particulièrement riches en espèces d'abeilles sauvages (Nielsen et al. 2011, Herrera, 2020), qui sont susceptibles d'être très fortement affectés par les abeilles sauvages. C'est pourquoi, dans le cadre de la thèse de Lise Ropars (co-encadrée avec L. Affre), nous nous sommes penchés sur l'impact des pratiques apicoles sur les communautés d'abeilles sauvages dans le Parc National des Calanques.

*b. Etude de cas : co-occurrence entre abeilles domestiques et sauvages dans le Parc National des Calanques*

Pendant 2 années de terrain, L. Ropars a méticuleusement étudié les réseaux de pollinisation dans 17 sites répartis sur le territoire du Parc National des Calanques (Fig 20.). Dans un souci de réplication nous sommes cependant concentrés sur un seul habitat, l'habitat dominant du parc, la garrigue écorchée. Sur les 17 sites, nous avons échantillonné a) les communautés d'abeilles sauvages, b) enregistré leurs interactions avec les plantes à fleurs sauvages, c) et estimé la densité de colonies d'abeilles domestiques ainsi que les sous-espèces utilisées par les apiculteurs (voir Ropars et al. 2021 pour plus de détails sur cette partie).

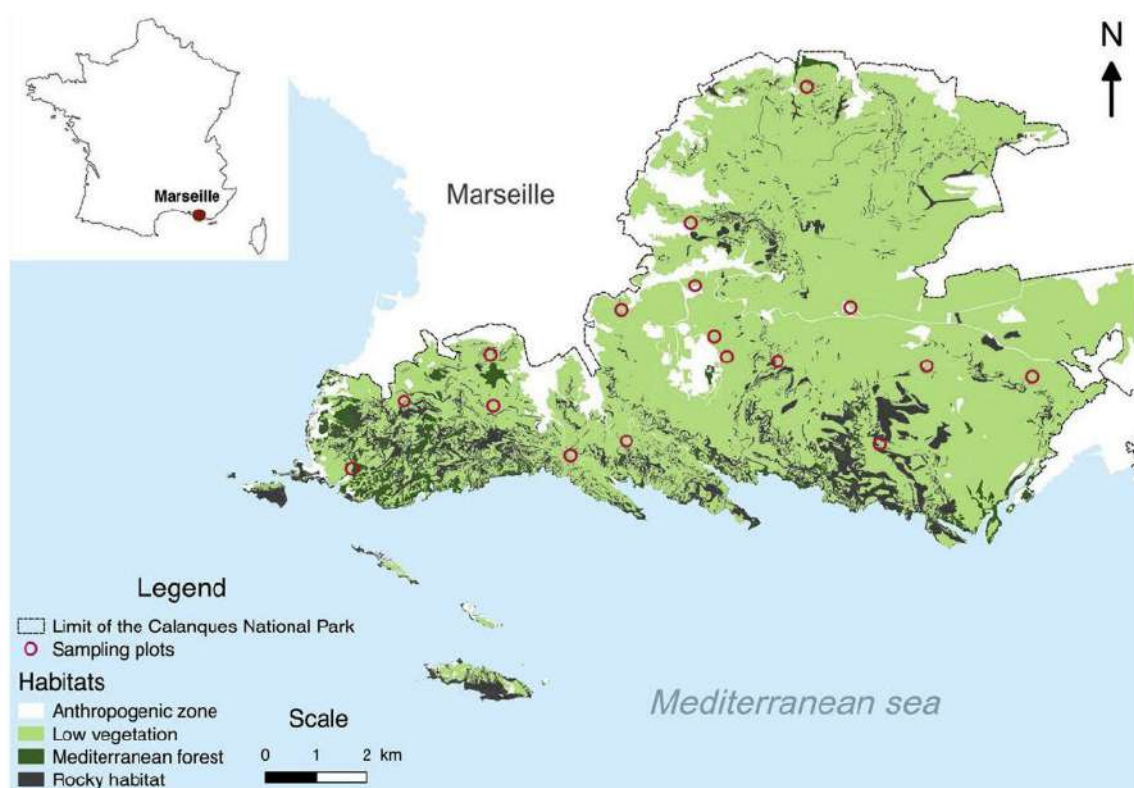


Figure 20 : Carte de la partie ouest du Parc National des Calanques. Les pointillés représentent les limites de l'aire d'adhésion du parc et les parties colorées en vert le cœur de parc. Les cercles rouges représentent les 17 sites d'échantillonnages choisis dans le cadre de la thèse de Lise Ropars. Issu de Ropars et al. 2020b

Nos résultats ont montré un effet négatif important de la présence d'abeilles domestiques sur les communautés de pollinisateurs. D'abord, nous avons montré une décroissance de l'abondance et de la richesse spécifiques des grandes abeilles sauvages (>12 mm) avec l'augmentation de la densité de colonies d'abeilles domestiques (Ropars et al. 2020b; Fig. 21). Ces grandes abeilles sont susceptibles de subir davantage la compétition avec les abeilles domestiques du fait de la proximité de leur niche écologique (besoins similaires en ressources florales, quantité et identité de la ressource voir ici Cane & Tepedino, 2017 et Ropars, 2020b).

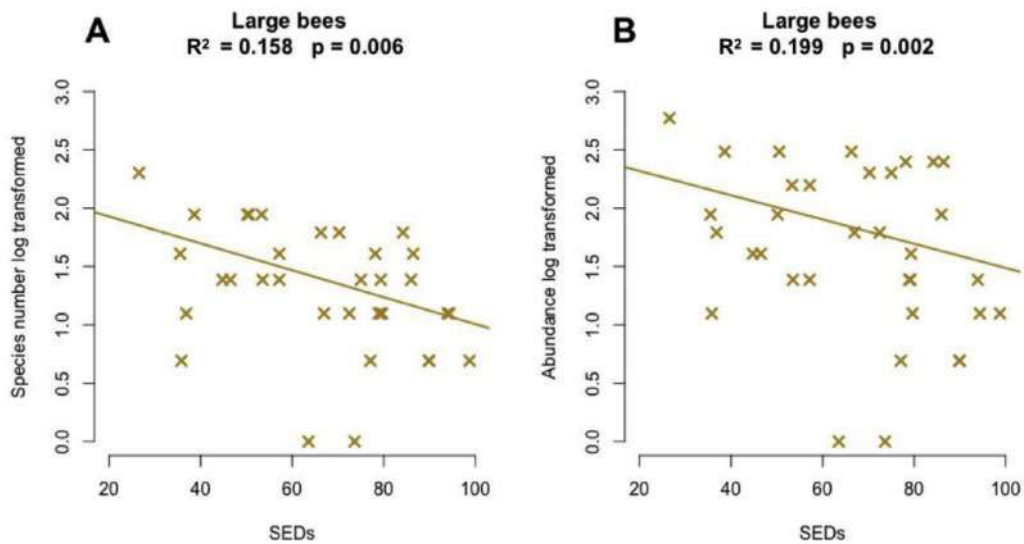


Figure 21 : Régressions linéaires entre la densité spatiale explicite des colonies d'abeilles domestiques (SED) et la richesse (A) et l'abondance (B) d'abeilles sauvages de grandes tailles (>12mm). Le SED est inspiré par le travail d'Henry et al. (2012). Il prend en compte l'ensemble des colonies domestiques dans un rayon d'un kilomètre et également celles situées au-delà de ce rayon. Le poids des colonies situées au-delà d'1 km est pondéré par la distance au carré ( $1/D^2$ ) de ces colonies au site expérimental. Issu de Ropars et al. 2020b.

Encore une fois, ces résultats n'étaient que corrélatifs, c'est pourquoi dans un deuxième temps, nous avons travaillé sur la structure des réseaux d'interactions. Ce deuxième travail a montré sans ambiguïté un évitement des patch fleuris occupés par les abeilles domestiques de la part des pollinisateurs sauvages. En particulier, nous avons montré que les grandes abeilles solitaires, changeaient de comportement alimentaire en présence d'abeilles domestiques (Ropars et al. 2022, Fig 21), et se dirigeaient vers d'autres espèces de plantes à fleurs. Ces résultats sont des marqueurs forts de la compétition, nous permettant dans le cadre de notre étude, de montrer une exclusion compétitive des abeilles sauvages par les abeilles domestiques.

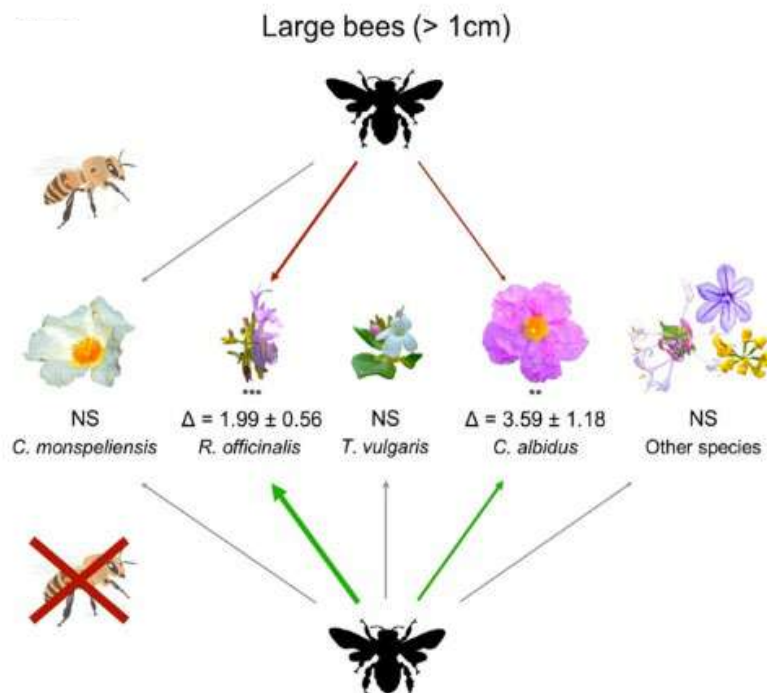


Figure 21 : Changement de la fréquence de visite des grandes abeilles sauvages en présence (en haut) ou en absence (en bas) d'abeilles domestiques. La largeur des flèches est proportionnelle à la fréquence de visites par minute réalisée par les abeilles sauvages.  $\Delta$  correspond à la différence avec et sans abeilles issues des tests post-hoc de Tukey. En vert l'accroissement du nombre de visites, en rouge la diminution du nombre de visites. Les flèches grises (NS) représentent des changements non significatifs. \*\*\*  $p < 0.001$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$ . Issu de Ropars et al. 2022.

### c. Perspectives

Sur les quelques dernières années, le nombre de publication indiquant une compétition entre abeilles sauvages et abeilles domestiques pour les ressources florales a explosé (e.g., [Herbertsson et al. 2016](#), [Hung et al. 2019](#); [Renner et al. 2021](#); [Cappellari et al. 2022](#); [Prendergast & Ollerton, 2022](#)). Nous disposons aujourd'hui de solides preuves indiquant qu'une abondance excessive d'abeilles domestiques a des effets négatifs importants sur les communautés d'abeilles sauvages. En particulier, l'étude d'[Henry & Rodet \(2018\)](#), dans un habitat similaire à celui des Calanques (garrigue écorchée), a montré sans ambiguïté une baisse de la quantité de nectar présente dans le jabot des grandes abeilles sauvages butinant à proximité des ruches en comparaison des abeilles butinant à des distances supérieures à 1.1 km. Cette étude illustre ainsi et de manière originale et convaincante le mécanisme fin de compétition pour la ressource.

Mais les questions autour de la compétition entre *Apis* et non-*Apis* demeurent vives, notamment d'un point de vue pratique, pour répondre aux nombreuses sollicitations des gestionnaires d'espaces naturels quant à la possibilité d'installer (ou non) des ruches sur leur territoire. La seconde étude d'[Henry & Rodet \(2020\)](#), permet d'apporter des réponses à ces gestionnaires, en leur proposant un cadre conceptuel (Apiary Influence Range). Ce

concept stipule que, l'action de compétition des abeilles domestiques diminuant après 1,1km, il serait alors important d'espacer les ruchers d'au moins 3 km afin de laisser des zones où la pression de compétition est plus faible dans le but de conserver les communautés d'abeilles sauvages. L'autre possibilité de gestion, serait de diminuer dans chaque rucher le nombre de ruches. Mais pour ce faire, il faudrait être capable d'estimer la charge maximale en abeille domestique et donc estimer précisément la ressource florale disponible. D'un point de vue pratique, il apparaît compliqué de donner un chiffre clé en main aux gestionnaires, d'abord car cela sous-entend connaître avec précision la flore de son milieu et estimer pour chacune des espèces de plante sa production en pollen et nectar (travail ô combien difficile, voir pour cela l'article de Luca Carisio venu travailler au laboratoire dans le cadre de sa thèse ; [Carisio et al. 2022](#)). Deuxièmement, car il apparaît évident que la plupart des habitats ne sont pas isolés les uns des autres (sauf îles océaniques) et que le rayon de butinage des abeilles domestiques peut lui, aller jusqu'à 3km. Comment par exemple être sûr que des colonies placées dans le Parc National des Calanques ne vont pas butiner pendant certaines périodes sur les arbres de la ville de Marseille situés en dehors du territoire du parc ? Aussi, pouvoir affirmer avec certitude qu'une densité particulière d'abeilles domestiques induirait de la compétition pour les ressources apparaît extrêmement difficile.

C'est pourquoi, dans l'avenir, pour simplifier le nombre de facteurs de l'équation, j'aimerais travailler sur cette question dans un milieu insulaire. Nous sommes en train de monter un projet (avec V. Le Féon) sur l'île de Groix (Morbihan). Cette île présente l'avantage d'avoir une population d'abeilles domestiques connue et suivie depuis plus de 20 ans. De plus, V. Le Féon prospecte depuis 3 ans sur ce territoire et a déjà effectué le travail indispensable d'inventaire de la faune d'abeilles sauvages de l'île (plus de 80 espèces recensées à ce jour). Nous préparons ainsi un projet visant à tester l'effet de différentes densités d'abeilles domestiques sur les communautés d'abeilles sauvages en manipulant au jour le jour, et en accord avec les apiculteurs, la densité de ruches présentes à proximité de nos futurs sites expérimentaux. Nous espérons ainsi disposer de nouveaux éléments factuels permettant d'évaluer la compétition entre abeilles domestiques et sauvages. Enfin, à moyen terme, je souhaite écrire un guide de bonne conduite à destination des gestionnaires sur la question de l'implantation de ruchers dans leurs territoires. Cette demande est issue des gestionnaires eux-mêmes qui se trouvent bien souvent démunis face aux demandes des apiculteurs, et il apparaît alors important de leur proposer de tels outils.

## 6. *Megachile sculpturalis*, une abeille venue d'Asie

### a. Des abeilles introduites aux abeilles exotiques

Lors du travail sur la revue de la littérature de 2017 (Geslin et al. 2017), nous avons également listé les espèces de pollinisateurs domestiqués ou gérés pour le service de pollinisation et qui avaient été introduites en dehors de leur aire de répartition. Pour ma part, pendant mon post-doc en Argentine, j'avais été particulièrement sensibilisé au cas de *Bombus terrestris* dont l'introduction à travers le monde pour la pollinisation des cultures sous serres a entraîné des conséquences dramatiques sur les populations de pollinisateurs locaux (e.g. Acosta et al. 2016, Aizen et al. 2019). En Argentine, *Bombus terrestris* a été pour la première fois détecté en 2006, il aurait été introduit quelques années auparavant au Chili pour la pollinisation des tomates (Montalva et al. 2011 ; Aizen et al. 2019). Bien qu'introduite, à la suite de son passage par les Andes, *B. terrestris* est rapidement devenu l'espèce d'abeille sauvage la plus abondante de Patagonie. L'explosion de ses populations et son expansion géographique fulgurante ont alors été associées au déclin rapide des populations de la seule espèce de bourdon endémique de Patagonie, *Bombus dalhombii* (Morales et al. 2013 ; Osterman et al. 2021). La cause de ce déclin est probablement liée à la fois à une compétition pour les ressources florales entre les deux espèces mais également et surtout à un transfert de pathogènes (probablement *Apicystis bombi*) depuis les populations de *B. terrestris* (qui seraient porteur sains) vers les populations de *B. dalhombii* (Arbetman et al. 2012 ; Aizen et al. 2020). Lors de mon post-doctorat, nous avons effectué un travail sur la répartition de *B. terrestris* en Argentine (Geslin & Morales, 2015). Nous avons alors, pour la première fois, détecté des populations de cette espèce au Sud du 50° parallèle, soulignant encore une fois l'extraordinaire capacité de dispersion et d'adaptation aux conditions climatiques difficiles de *B. terrestris* (voir ici Acosta et al. 2016).

Des effets négatifs de *Bombus terrestris* sur les populations d'abeilles sauvages ont aussi été observés en Tasmanie et au Japon où il a également été introduit pour la pollinisation des cultures sous serres, faisant de cette espèce un problème pour la conservation des abeilles sauvages à l'échelle globale (Sutherland et al. 2016) et questionnant fortement le commerce des pollinisateurs au regard de la biosécurité (Aizen et al. 2019 ; voir également partie 7). C'était alors, à mon échelle, un exemple impressionnant de l'impact potentiel qu'une espèce de pollinisateur envahissant pouvait avoir sur les populations d'abeilles locales. Pourtant, au regard de la magnitude de leurs effets sur les composantes de la biodiversité, les espèces d'insectes exotiques envahissants sont en proportion moins étudiés que les autres espèces envahissantes comme les plantes par exemple (Kenis et al. 2009, Bradshaw et al. 2016, Diagne et al., 2020 ; 2021). C'est particulièrement le cas des abeilles qu'elles soient sociales ou solitaires (Russo et al. 2021), peut-être du fait de leur bonne image dans le grand public et de leur importance dans la reproduction des plantes à fleurs (Summer et al., 2018). Pourtant, plus de 80 espèces d'abeilles dans le monde ont été introduites en dehors de leur aire de répartition (Russo 2016, voir Chapitre 7), et extrêmement peu d'études se sont intéressées à leurs impacts sur les écosystèmes en dehors des espèces sociales comme *Bombus terrestris* et *Apis mellifera*.

En Europe, une seule espèce d'abeille exotique est présente, c'est une espèce solitaire (potentiellement pseudo-sociale mais non-eusociale) : l'abeille résinière géante *Megachile sculpturalis* (Fig. 22). Cette espèce a été

détectée pour la première fois en Europe en 2008 à Allauch (France), une commune située près de Marseille (Bouches-du-Rhône, Vereecken & Barbier, 2009). Elle a probablement été introduite en Europe via le commerce international de bois puisqu'elle niche dans le bois mort (voir par ailleurs). Au contraire de nombreuses espèces d'abeilles sauvages, cette dernière est facilement reconnaissable, d'abord par sa grande taille (jusqu'à 30 mm pour les plus grosses femelles), ensuite par ses poils roux sur le thorax et enfin par ses ailes fumées. *Megachile sculpturalis* est une espèce dont l'aire de répartition native se situe en Asie (Japon, péninsule Coréenne, Chine, Taiwan ; Hinojos-Diaz et al., 2005 ; Le Féon & Geslin, 2018). En 1994, *M. sculpturalis* a été pour la première fois répertoriée en dehors de son aire de répartition en Caroline du Nord aux Etats-Unis (Mangum & Brook, 1997). Elle a rapidement étendu son aire de répartition aux USA et au Canada, étant détectée par exemple dès 2008 au Kansas. En Europe, suite à sa première mention en France, elle a rapidement été observée en Italie (2009, Quaranta et al. 2014), et en Suisse (2010 ; Amiet, 2012, Fig. 23).



Figure 22 : A) mâle reconnaissable à ses poils clairs sur la zone sub-clypeale (moustache) et B) femelle de *Megachile sculpturalis*. Issu de Lanner et al. (2022).

Lors des premières observations comportementales de cette espèce aux Etats-Unis, des appropriations de nids précédemment occupés par d'autres espèces d'abeilles ont été observées (Mangum & Brook, 1997). Par la suite, en 2012, des collègues américains ont également observés des évictions agressives de nids de *Xylocopes* (*Xylocopa virginica* ; Laport & Minckley, 2012 ; Roulston & Malfi, 2012) ; les femelles de *M. sculpturalis* chassaient les abeilles natives et vidaient leurs nids pour s'installer à leur place. La question s'est alors vite posée quant à l'impact potentielle de la présence de *M. sculpturalis* sur les populations d'abeilles sauvages. En effet, si ce comportement territorial de destruction de nids était commun, cela pourrait en effet entraîner des conséquences importantes sur le succès reproducteur des abeilles natives.

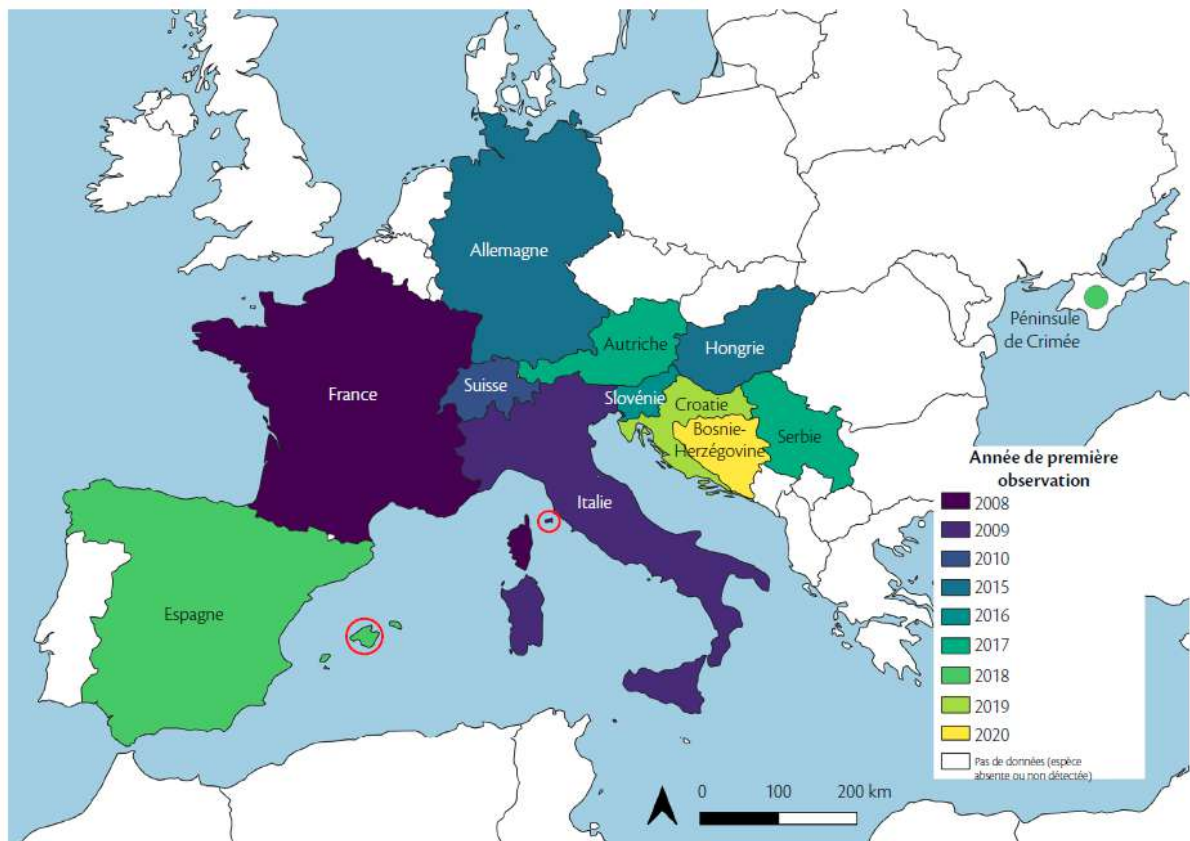


Figure 23 : Année de première observation de *Megachile sculpturalis* dans les pays européens. Les ronds rouges permettent de réaliser un focus sur les îles méditerranéennes où *Megachile sculpturalis* est présente, ce qui implique que cette dernière n'est pas présente en Corse pour le moment. Issu de Le Féon et al. 2021.

C'est pourquoi, à partir de 2015, avec ma collègue Violette Le Féon, nous avons lancé un observatoire participatif de cette espèce exotique de France (<https://oabeilles.net/projets/observatoire-abeilles-exotiques-3>). L'idée était de centraliser toutes les données de présence, mais aussi les données écologiques (préférences alimentaires, substrat de nidification etc...) disponibles sur *M. sculpturalis*. En parallèle, nous avons contacté notre réseau de naturalistes (e.g. Observatoire des abeilles), et cherché des informations dans toutes les bases de données disponibles en ligne (GBIF, iNaturalist, SPIPOLL, etc...) ainsi que sur les forums d'entomologie (insect.org, Le monde des insectes etc...). En 2018, nous avons publié la première mise à jour de sa distribution en France (Le Féon et al. 2018). Entre 2008 et 2016 (date à laquelle s'arrêtaient les données de la publication de 2018), *M. sculpturalis* avait été observée dans 117 communes et avait considérablement accru son aire de répartition vers des localités situées à 335 kilomètres au Nord (Mâcon) et 520 kilomètres à l'ouest (Alçay-Alçabéhéty- Sunharette, voir Fig 24). La localité la plus élevée en altitude se situait à 1540 m à Matemale. Nos résultats montraient sans ambiguïté que *M. sculpturalis* était bien implanté en France avec une dispersion extrêmement rapide. Depuis lors, nous avons pérennisé cet observatoire et nous publions régulièrement des mises à jour de sa distribution en France qui ne cesse de s'étendre vers le Nord et l'Ouest du pays (Le Féon & Geslin, 2018 ; Le Féon et al. 2021 ; Zakardjian et al. 2022, Fig 24). En parallèle et depuis 2015, *M. sculpturalis* a également continué sa progression en Europe vers l'Allemagne (Westrich et al., 2015) et la Hongrie (Kovacs, 2015) en 2015, la Slovénie en 2016 (Gogala

& Zadavec, 2018), l'Autriche (Westrich, 2017) et la Serbie (Ćetkovic et al, 2020) en 2017, l'Espagne (Aguado et al, 2018 ; Ortiz-Sanchez et al, 2018) et l'Ukraine (Crimée ; Ivanov & Fateryga, 2019) en 2018, en Croatie (<https://www.inaturalist.org>) et au Liechtenstein (Lanner et al, 2020a) en 2019 et en Bosnie-Herzégovine en 2020 (<https://www.inaturalist.org> ; Fig. 23).

Les données collectées dans le cadre de l'observatoire apportaient également des informations

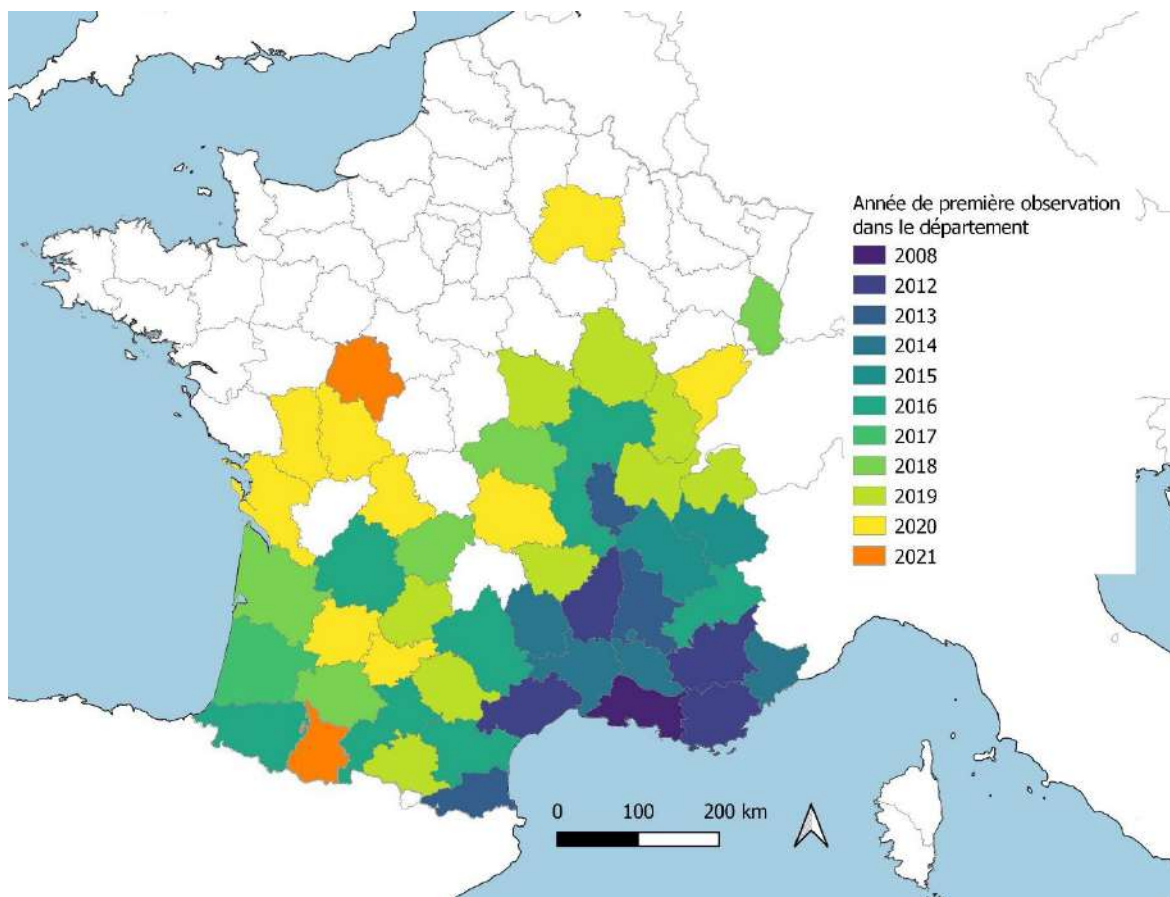


Figure 24 : Année de première observation de *Megachile sculpturalis* dans les départements de France métropolitaine. Elle est aujourd'hui connue dans 48 départements (en l'état de nos connaissances au 01/03/2022). Issu de <https://oabeilles.net/projets/observatoire-abeilles-exotiques-3>

intéressantes sur l'écologie de cette espèce. D'abord, *M. sculpturalis* est une espèce cavicole opportuniste, nichant de préférence dans des cavités préexistantes de bois mort ou de tiges creuses (bambous, canne de Provence). Nos données indiquaient également que *M. sculpturalis* est une espèce estivale, dont la période d'activité s'étend entre juin et septembre. Enfin, les données préliminaires indiquaient un comportement plutôt généraliste de *M. sculpturalis* dans la collecte du nectar (notamment *Lavendula sp.* ; *Ligustrum lucidum* ; *Buddleia spp.* ; *Vitex agnus-castus*) mais une préférence alimentaire assez marquée envers quelques espèces pour la collecte du pollen (oligolectisme ; e.g. le sophora du Japon, *Styphnolobium japonicum*). Pour préciser ce régime alimentaire, nous avons réalisé par la suite une analyse palynologique des pains de pollens déposés par les femelles de *M. sculpturalis* à proximité de leurs larves (Fig. 25). Nos résultats ont montré une préférence très marquée pour le pollen de *Styphnolobium japonicum* (Andrieu-Ponnel et al. 2018). Depuis, une étude espagnole est venue confirmer la

préférence alimentaire de *M. sculpturalis* pour le sophora du Japon même si les auteurs (Aguado et al. 2018) ont également identifié du pollen de *Ligustrum vulgare* et *L. lucidum* en le récoltant sur les scopae de plusieurs femelles. *Megachile sculpturalis* semble donc récolter le pollen en majorité sur des espèces de plantes elles-mêmes exotiques (à l'exception néanmoins de *L. vulgare*), ce qui permet d'alimenter la réflexion sur son rôle de pollinisateur dans nos écosystèmes.



Figure 25 : Bambou sectionné en deux parties. On peut y observer des larves de *Megachile sculpturalis* à proximité de pains de pollen. Les cellules larvaires sont séparées par de la résine sombre. L'opercule est principalement constitué de terre et de débris végétaux (Photo : Daniel Mathieu). Issu de <https://oabeilles.net/projets/observatoire-abeilles-exotiques-3>

b. Création d'un consortium international pour étudier *M. sculpturalis*

Dans le but d'avoir une vision globale de la progression de l'espèce en Europe et dans le monde, avec des collègues Autrichien (H. Meimberg ; B. Pachinger), Allemand (F. Fornoff), Portugais (M. A. Curto) ; Italien (L. Bortolotti), Belge (T. Tuerlings) et basés en Chine (M. Orr, aire native de *M. sculpturalis*) nous avons monté à partir de 2018 un consortium international pour mettre en commun nos connaissances et nos données sur *M. sculpturalis*. C'est dans ce contexte qu'a débuté la thèse de Julia Lanner doctorante Autrichienne que j'ai co-encadré avec H. Meimberg, B. Pachinger et M. A. Curto (thèse soutenue en septembre 2022). Notre premier axe de recherche dans le cadre de cette thèse était de réaliser une étude génétique des populations européennes (via des marqueurs microsatellites) pour évaluer leur proximité et donc identifier si les populations provenaient ou non d'une introduction unique. Notre deuxième axe de recherche se centrait sur le développement de modèles de distribution d'espèce sur *M. sculpturalis* en Europe et dans le monde.

Pour le premier axe, nous avons donc genotypé les individus de quatre populations européennes : Sud de la France (SFR), France (FR), Suisse (CH) et Autriche (VIE). Nos résultats sur 48 marqueurs microsatellites ont fait émerger deux clusters, un regroupant les populations du Sud de la France, de la France et de la Suisse, et un cluster regroupant les données issues de Vienne (Fig. 26, Lanner et al. 2021). Notre hypothèse étant que ces résultats mettraient en lumière plusieurs événements distincts d'introductions (au moins deux) sur le continent Européen. Bien que cela ne reste qu'une hypothèse, ce résultat peut également en partie expliquer la dispersion très rapide de *M. sculpturalis* sur le continent, une population se disperserait depuis la France et une autre depuis l'Autriche.

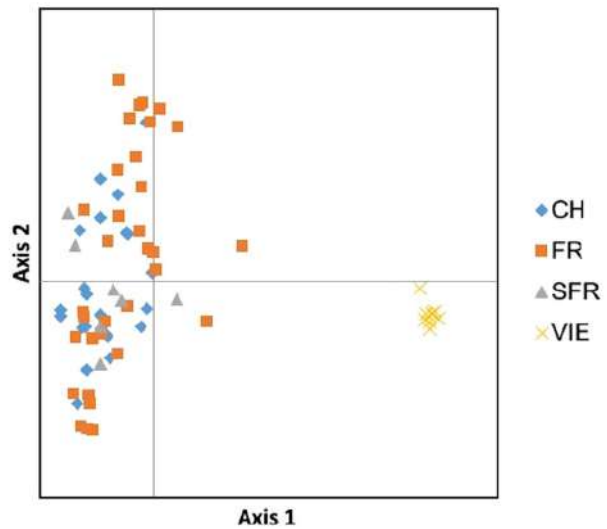


Figure 26 : Analyse en composante principale de la structure génétique des populations de *Megachile sculpturalis* des quatre zones géographiques (CH = Suisse ; FR = France ; SFR = Sud de la France ; VIE = Vienne). Issu de Lanner et al. 2021.

Notre deuxième axe était donc de réaliser des modèles de distribution d'espèce pour pouvoir cartographier les aires potentiellement à risque d'invasion en Europe et dans le monde. Avec Julia Lanner et deux collègues spécialistes de ce type de modèles (Nicolas Dubos & Boris Leroy), nous avons alors construit des projections de la distribution potentielle de *M. sculpturalis* de nos jours et dans le futur (2050 et 2070). Nos modèles de distributions d'espèces étaient bâtis sur des enveloppes climatiques et également sur des données d'occupation du sol (couverts végétaux, surfaces imperméables etc... voir Lanner et al., 2022). De plus, pour intégrer aux modèles le risque d'introduction future et de dispersion de l'espèce, nous avons pris en compte des variables susceptibles d'influencer la pression de propagules comme la distance aux ports, aux aéroports, et des variables susceptibles d'influencer la dispersion de l'espèce comme la distance aux routes et autoroutes. En effet, comme dit plus haut, *M. sculpturalis* a probablement été introduite en Europe via le transport de bois, nous avons donc fait l'hypothèse que ce transport intra continental pouvait également favoriser sa dispersion. Nous avons montré dans cette étude que sa dispersion pourrait avoir été facilitée par la proximité des routes et par le trafic maritime (Lanner et al. 2022). En Europe, l'espèce est encore loin d'avoir colonisée toutes les zones que nous avons identifiées comme à risque d'être envahies, ce qui n'est pas le cas aux USA. Enfin, et de manière intéressante, nos résultats montrent que le réchauffement climatique annoncé pourrait s'avérer être plutôt négatif pour *M. sculpturalis* en Europe, contractant son aire de répartition potentielle en comparaison de l'actuelle (Fig. 27).

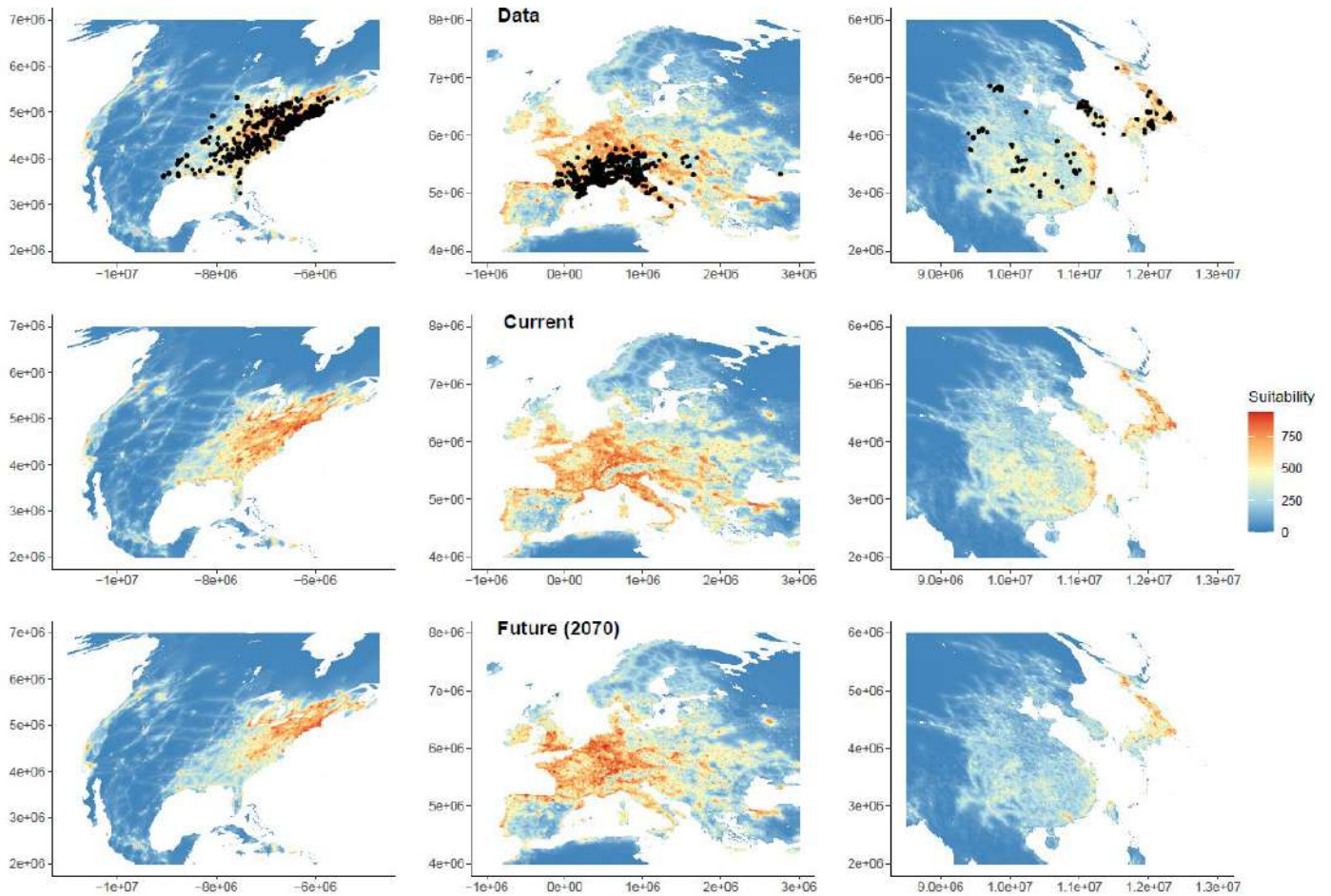


Figure 27 : Projections actuelles et futures des aires à risques d'invasion par *Megachile sculpturalis* pour l'Amérique du Nord (colonne de gauche) ; l'Europe (colonne du centre) et l'Asie (colonne de droite). La première ligne présente les données brutes entrées dans le modèle de distribution d'espèce (points noirs). La ligne de milieu représente les aires à risque d'invasion de nos jours. La ligne du bas représente les futures aires à risque d'invasion en 2070. En Europe, nous observons que l'espèce n'a pas encore colonisées toutes les aires à risque d'invasion alors que c'est davantage le cas en Amérique du Nord. Les zones potentiellement favorables à l'espèces semble se réduire en Asie et en Amérique du Nord en 2070, ce qui n'est pas le cas pour l'Europe. Les axes X et Y représentent les coordonnées de Mollweide WGS84 (en mètre). Issu de Lanner et al. 2022.

Au-delà des résultats factuels, cette étude montre également l'importance des collaborations internationales et également l'importance des sciences participatives dans l'acquisition de données. Sans les dizaines de bénévoles qui nous ont fait remonter leurs observations, nous aurions été incapables d'avoir autant de données fiables de la distribution de l'espèce. De plus, de nombreux participants nous ont également ponctuellement, et depuis plusieurs années, envoyés des spécimens mis en collection et provenant des quatre coins de la France et du monde. Dans le cadre de la thèse de Julia Lanner et en collaboration avec Felix Fornoff, nous avons décidé de travailler sur ces spécimens. Nous nous sommes posé la question de la comparaison des traits morphologiques et écologiques entre les individus provenant de l'aire native de *M. sculpturalis* et ceux provenant des aires envahies. Les conditions environnementales dans les aires envahies étant par nature différentes des zones natives, celles-ci pourraient en effet affecter le phénotype et le comportement des individus. Nos résultats montrent une

taille identique des individus capturés dans les aires natives en comparaison des individus natifs, mais un décalage phénologique dans l'activité des individus probablement du fait des différences climatiques entre aires natives et envahies (Fornoff, Lanner et al. 2022, Fig. 28).

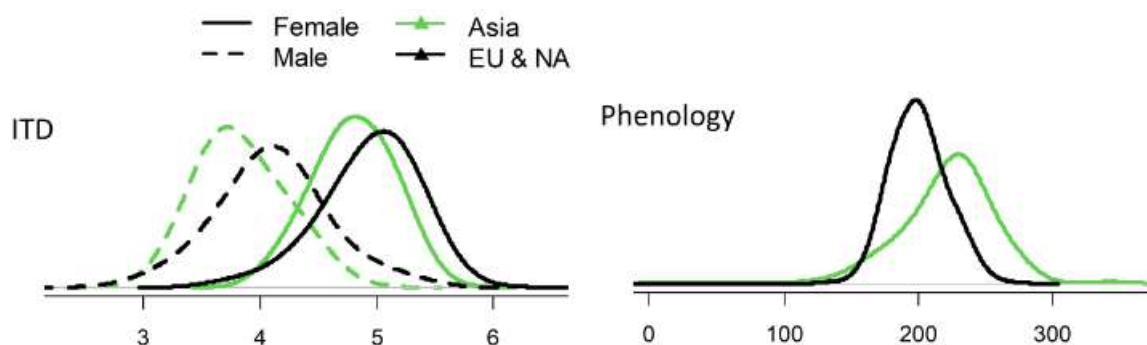


Figure 28 : Comparaison entre femelles (traits pleins) et mâles (traits pointillés) de *Megachile sculpturalis* des aires natives (en vert) et envahies (en noir) de leur taille (via la mesure de leur distance intertégulaire ITD, à gauche) et de leur phénologie (date d'éclosion ; numéro du jour ; à droite). L'ITD n'est pas significativement différente entre les aires natives et envahies. Les individus des aires envahies éclosent significativement plus tôt que les individus des aires natives. Issu de Fornoff, Lanner et al. 2022.

### c. Cas d'étude : utilisation des hôtels à insectes par *M. sculpturalis*

Historiquement, les hôtels à insectes (ou hôtels à abeilles), étaient utilisés en tant que pièges (« trap nests ») pour échantillonner les communautés d'abeilles sauvages ou comme outils permettant d'améliorer le service de pollinisation pour les cultures (Dainese et al. 2018). Quelques espèces comme *Megachile rotundata* étaient ponctuellement commercialisées (« nest boxes ») pour par exemple la pollinisation de la luzerne (Pitts-Singer & Cane, 2011). Aujourd'hui, les hôtels à insectes ont été largement démocratisés auprès du grand public. L'idée est de fournir des sites de nidifications potentiellement manquants pour les espèces d'abeilles cavicoles, dans le but de maintenir ou accroître leur populations (MacIvor & Packer, 2015). Il est aujourd'hui par exemple très facile d'acheter des hôtels à insectes sur des sites grand public comme Amazon où plus de 1000 offres y sont listées à des prix allant de 6 à 300 US\$ (von Königslöw et al. 2019).

Comme pour l'exemple des ruches (voir partie 5), de nombreux particuliers, entreprises, administrations, ont commencé à installer des hôtels à insectes dans leurs jardins. Pourtant, les exemples d'effets positifs des hôtels à insectes comme outils de conservation pour les populations d'abeilles sauvages sont très lacunaires dans la littérature (e.g. MacIvor & Packer 2015 ; Fortel et al. 2016). Certaines études comme celle de MacIvor & Packer (2015) ont même montré que près de la moitié des individus nichant dans les hôtels à insectes étaient des abeilles exotiques (47,1%). De notre côté, nous avons remarqué qu'une partie importante des événements de nidification de *M. sculpturalis* qui nous étaient rapportée par les participants à l'observatoire des abeilles exotiques de France se déroulaient dans des hôtels à insectes (66%, Le Féon et al. 2018, Fig. 29). Aussi, nous nous sommes posé la question si les hôtels à insectes, pouvaient, à l'inverse du but initialement rechercher, favoriser la dissémination des espèces envahissantes et agir comme un puits pour les espèces locales.



Figure 29 : Femelle de *Megachile sculpturalis* scellant l'entrée de son nid avec de la résine (photo : Christa Rohrbach CC).

Pour cela, nous avons installé dans les parcs urbains de la ville de Marseille, 96 hôtels à insectes pendant une année. Les hôtels à insectes étaient de petits modules, remplis d'une buche de résineux percée de trous et de canne de Provence coupée en tronçon de 30cm (voir Fig. 28 pour un exemple d'hôtel). A la fin de cette année-là, nous avons récolté tous les bambous ou buches dont l'ouverture avait été bouchée et les avons mis individuellement dans des sacs plastiques dans une pièce fermée. Au bout de quelques semaines, nous avons observé les premières émergences d'abeilles, et pendant les semaines qui suivaient, chaque jour, les abeilles émergeant des substrats avait été capturées et identifiées.

Au total, nous avons récolté 889 individus de cinq espèces seulement (4 espèces d'Osmies et *Megachile sculpturalis*). *Megachile sculpturalis* était l'espèce la plus abondante représentant à elle seule 40% des captures. De manière plus inquiétante, nos résultats indiquaient une corrélation négative entre l'abondance de *M. sculpturalis* et la probabilité de présence des abeilles natives dans nos hôtels à insectes ce qui suggérait une potentielle compétition pour les sites de nidification déjà observée par nos collègues américains (Fig. 30). D'ailleurs, depuis cette étude, de nombreux témoignages d'observations de *M. sculpturalis* vidant les cellules d'autre abeilles nous ont été signalés. De plus, une étude italienne récente montre également que *M. sculpturalis* est susceptible de nicher dans des bambous déjà occupés par des larves d'autres espèces. Seulement, le substrat résineux utilisé par *M. sculpturalis*, bloque les individus d'osmies situés plus profondément dans le bambou, empêchant leur émergence (Straffon-Diàz et al. 2021).

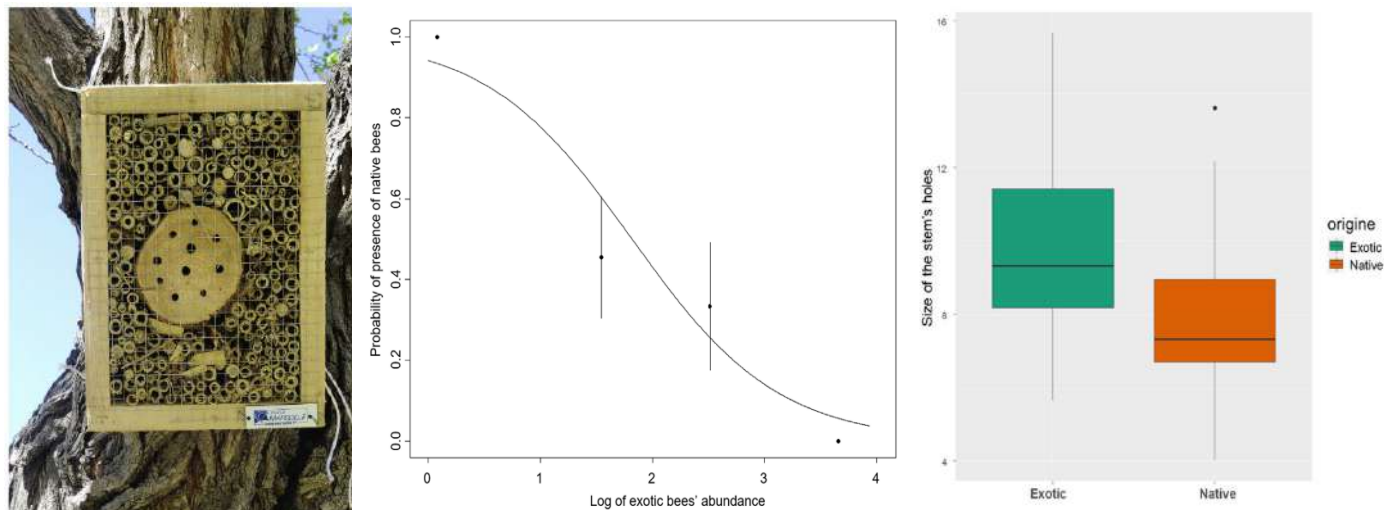


Figure 30 : A gauche : Exemple d'hôtel à insectes installés dans les parcs et jardins de la ville de Marseille. L'hôtel est composé de bambous et d'un tronc de *Pinus spp.* Percés de trous allant de 6 à 12mm. Au centre : probabilité d'observer au moins un individu d'abeille native émergeant d'un hôtel à insecte en fonction de l'abondance de *Megachile sculpturalis*. Nous observons une relation significativement négative ( $P = 0.002$ ). A droite : boîtes à moustaches de la taille moyenne de l'entrée des nids occupées par *M. sculpturalis* (en vert) et de espèces d'abeilles natives (en orange). *M. sculpturalis* niche dans des nids significativement plus large ( $P = 0.032$  ; taille moyenne des nids de *M. sculpturalis* = 9.57 mm ; taille moyenne des nids d'abeilles natives = 7.76 mm). Issu de Geslin et al. 2020.

Enfin, nos résultats indiquaient également que les individus de *M. sculpturalis* émergeaient de cavités significativement plus larges que les cavités d'espèces natives (9.5 vs. 7.7 mm). Ce résultat est précieux car il peut se transposer en préconisation de gestion pour les gestionnaires. Ainsi, lors de la construction des hôtels à insectes, choisir des éléments de construction dont le diamètre est inférieur à 8 mm pourrait permettre de limiter grandement la probabilité d'accueillir *M. sculpturalis* dans son hôtel.

#### d. Perspectives

A court terme, nous continuons avec V. Le Féon d'animer l'observatoire des abeilles exotiques. Le groupement de recherche Pollinéco continue de financer chaque année l'observatoire pour que nous puissions mettre à jour les données nationales sur *M. sculpturalis*. Un de nos projets important est notamment de comparer les traits des individus du front d'invasion en France et en Europe avec les traits des individus présents aujourd'hui sur le premier site de détection afin de tester l'existence d'un potentiel « Olympic village effect » (e.g. Renault, 2020).

Dans un futur proche cependant, il est très probable que *M. sculpturalis* ne soit plus la seule espèce d'abeille exotique envahissante en France et à fortiori en Europe. En effet, en 2018 une espèce proche de *M. sculpturalis*, *M. disjunctiformis* a été observé en Italie (Bortolotti et al. 2018), sans que la population ne montre néanmoins de dynamique explosive pour le moment. En France et en Espagne, une nouvelle espèce de Xylocope, *Xylocopa pubescens* a récemment été observée (Ruiz et al. 2020 ; Le Divelec et al. 2022). Pour le moment cependant, les

auteurs jugent que cette espèce a peu de chance de s'implanter sur le plus long terme sur la base d'analyses d'enveloppes climatiques (Le Divelec et al. 2022). D'une manière générale, le rythme de nouvelles introductions d'espèces en dehors de leur aire de répartition n'est pas supposé diminuer dans les années futures (Seebens et al. 2017 ; 2021). Aussi, il est très probable que le nombre d'espèces d'abeilles exotiques arrivant en France ne cesse malheureusement de s'accroître. Mon parcours professionnel, depuis le travail sur MIMS n'ayant cessé de tendre vers l'étude des espèces exotiques envahissantes, c'est une thématique que j'aimerais centrale à plus long terme et c'est pourquoi j'ai décidé de focaliser la dernière partie de ce document sur cet axe de recherche.

## 7. L'étude des abeilles exotiques envahissantes, une perspective sur le long terme

Dans les chapitres 2 à 6, j'ai systématiquement présenté des perspectives sur le court et le moyen terme, relatives aux thématiques de ces chapitres. Ce sont des idées dont j'aimerais poursuivre le développement ou des projets qui sont déjà entamés et qui m'occuperont dans les quelques années qui viennent. Dans cette dernière partie, je souhaite développer brièvement des pistes de recherche sur un plus long terme. Bien sûr ces pistes se basent sur des projets en cours, notamment dans le cadre de la thèse de Marie Zakardjian que je co-encadre actuellement (avec Hervé Jourdan & Evelyne Franquet) et dont je vais présenter brièvement les thématiques, mais elles se projettent également davantage dans le temps long que les perspectives des chapitres précédents.

### a. Les espèces d'abeilles exotiques, le cas de la Nouvelle Calédonie

Depuis six ans, je travaille en collaboration avec Hervé Jourdan en Nouvelle Calédonie. Nous nous intéressons aux abeilles endémiques, natives, exotiques et envahissantes de l'archipel. Nous nous intéressons également à la diversité de ces espèces, à leur répartition, leurs interactions entre elles et avec la flore de Nouvelle Calédonie. Cette communauté d'outre-mer française abrite en effet une diversité de plantes à fleurs exceptionnelle avec plus de 34 000 espèces de plantes dont 74% sont endémiques (Isnard et al. 2016 ; Garnica-Diaz et al. 2022). Pourtant, paradoxalement, la faune d'abeille apparaît très appauvrie avec simplement une cinquantaine d'espèces recensées dont sept à huit espèces exotiques. La diversification de certains taxa, et la faible représentativité d'autres taxa en comparaison du continent est appelée la disharmonie taxonomique des îles (König et al. 2020). Cette disharmonie rend ces îles particulièrement susceptibles aux invasions biologiques, du fait de la présence de niches écologiques vacantes (Groom et al. 2014 ; Whittaker et al. 2017 ; Ackerman, 2021).

Dans ce cadre singulier, nous avons recruté il y a 4 ans M. Zakardjian en stage de master 2 et qui est maintenant en troisième année de thèse. Une des premières observations que nous faisons alors, lors de nos prospections sur le terrain, était que nous observions beaucoup plus d'abeilles exotiques dans les milieux urbains que dans les milieux natifs, ces milieux urbains étant eux-mêmes susceptibles d'abriter une flore exotique abondante (Staab et al. 2020). Notre premier travail a alors été, en utilisant des communautés de plantes exotiques, de valider cette hypothèse expérimentalement, en disposant ces communautés de plantes soit dans des milieux naturels soit dans des milieux urbains. Nos résultats ont clairement montré que les communautés de plantes situées dans les milieux urbains étaient plus fortement visitées par les pollinisateurs exotiques que les communautés situées en milieux naturels (Zakardjian et al. 2020 ; Fig. 31). De fait, dans les milieux naturels, une seule espèce exotique a été détectée, l'abeille domestique *Apis mellifera* introduite au XIX<sup>e</sup> siècle en Nouvelle-Calédonie par les colons Européens. Ces résultats nous ont ainsi montré que la ville de Nouméa favorisait l'activité des abeilles sauvages exotiques et pouvait éventuellement servir de tête de pont à la colonisation des milieux naturels par ces espèces exotiques ou par des espèces envahissantes.

Un autre résultat intéressant de cette première étude a été d'observer que certaines plantes à fleurs exotiques comme *Duranta erecta* n'étaient pratiquement visitées que par des abeilles exotiques (Fig. 31). Nous nous sommes alors posé la question si les interactions entre plantes exotiques et abeilles exotiques ne pouvaient pas

favoriser la dispersion des deux espèces, et amplifier leurs effets négatifs sur les écosystèmes natifs, phénomène appelé complexes d'invasions ou « invasional meltdown » (Morales & Aizen 2002 ; Zakardjian et al. 2020, Fig. 32). Nous travaillons actuellement avec M. Zakardjian sur ce sujet et venons de terminer un chapitre de livre qui présentera une revue de la littérature des impacts connus des espèces d'abeilles sauvages exotiques sur les espèces natives incluant les complexes d'invasions (Zakardjian et al. 2022a).

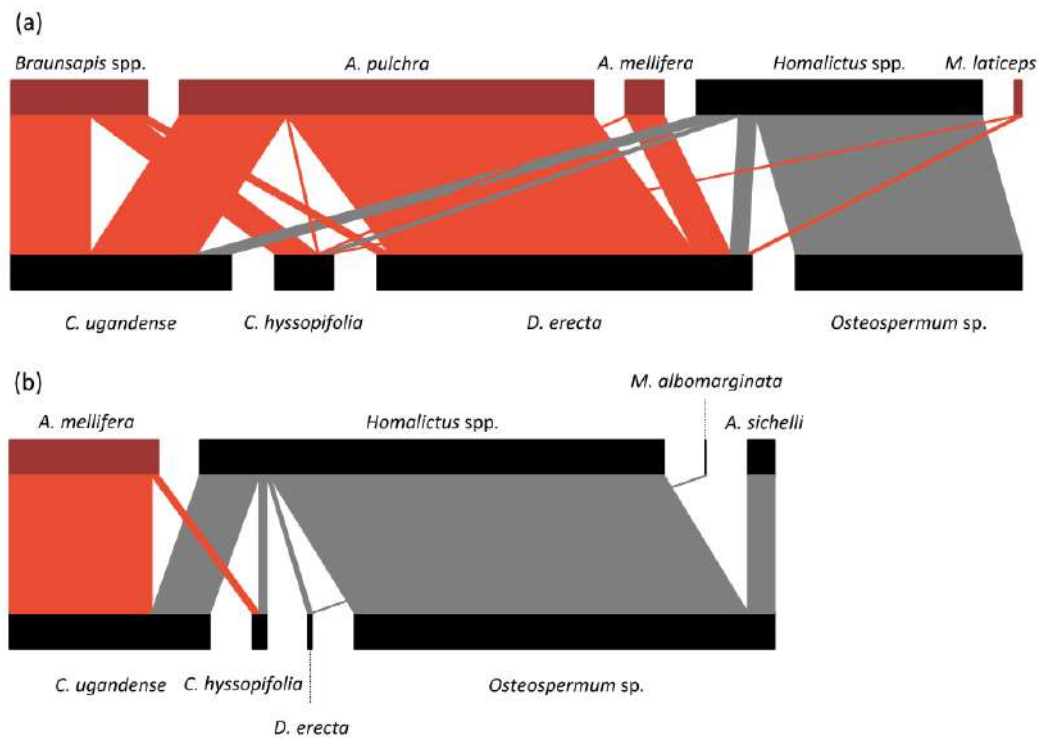


Figure 31 : Réseaux d'interaction plantes-pollinisateurs dans les contextes urbains (a) et naturels (b). Les rectangles du haut représentent les abeilles, et ceux du bas les plantes exotiques de la communauté expérimentale. La largeur des lignes représente le nombre de visites effectuées. Les abeilles exotiques et leurs interactions sont colorées en rouge. Issu de Zakardjian et al. 2020

A court terme, et comme souligné en partie 1 nous envisageons avec M. Zakardjian et H. Jourdan de publier le premier atlas des abeilles de Nouvelle-Calédonie accompagné d'une clé dichotomique de détermination de ces espèces. Nous préparons également un article sur les interactions des abeilles sauvages avec la flore native endémique des milieux ultramafiques (chargés en métaux-lourd et présentant un taux d'endémisme floristique très élevé ; Zakardjian et al., *soumis à Botany letters*). Un de nos résultats est de montrer qu'en dehors d'*Apis mellifera* les milieux ultramafiques semblent remarquablement inhospitaliers pour les abeilles exotiques et que celles-ci n'interagissent quasiment pas avec les plantes de ces milieux particuliers. Ce résultat pourrait en partie être expliqué par la toxicité potentielle du nectar des plantes croissant sur les sols ultramafiques limitant l'accès aux pollinisateurs non-adaptés à cette toxicité (Meindl et al. 2013 ; Alameda et al. 2020), cette hypothèse devra néanmoins être validée par de futures expérimentations, en conditions semi-contrôlées par exemple (voir ici Meindl & Ashman, 2014).

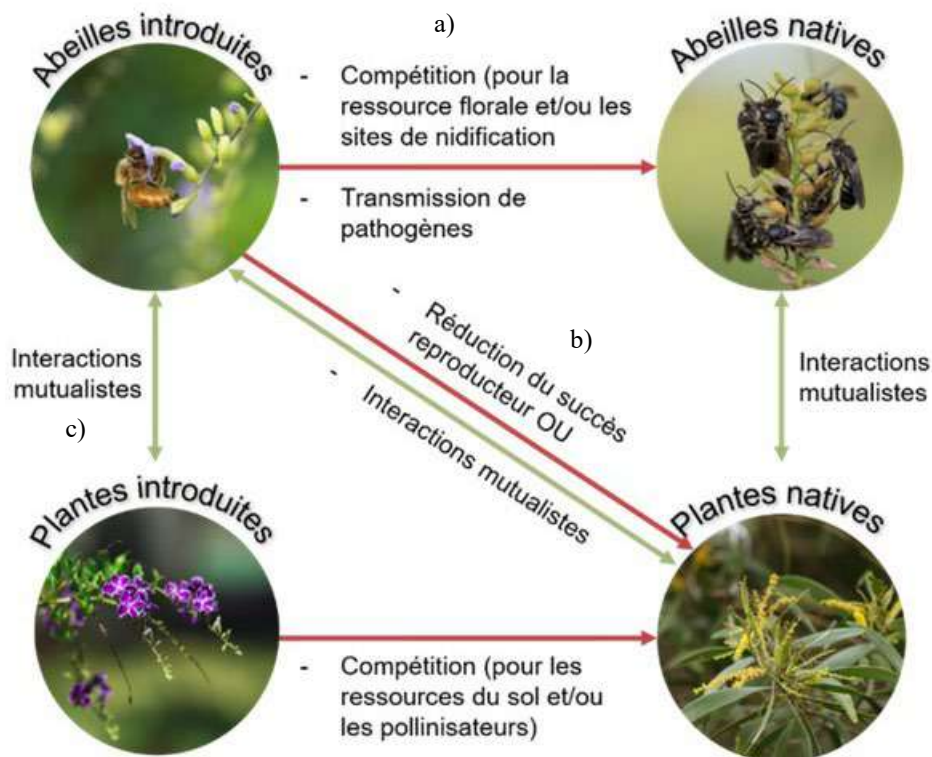


Figure 32 : Schéma conceptuel de la thèse de Marie Zakardjian. En vert les relations positives, en rouge les interactions négatives. Lorsqu'une abeille exotique entre dans un milieu natif, elle peut déstabiliser le réseau d'interaction plantes-pollinisateurs en a) entrant en compétition avec les pollinisateurs natifs, b) diminuant le succès reproducteur des plantes natives, c) favorisant la dissémination des plantes exotiques. Issu de Zakardjian et al. 2022a.

Ce travail autour de la faune d'abeilles exotiques de Nouvelle Calédonie m'a particulièrement intéressé ces dernières années, et je focalise aujourd'hui une bonne partie de mon temps de recherche sur cette question. La progression dans ma réflexion sur ces thématiques depuis les questions d'introduction d'espèces gérées (*Apis mellifera* et *Bombus terrestris*), jusqu'au travail sur *Megachile sculpturalis* a ancré ma volonté de continuer à explorer les conséquences des introductions biologiques d'abeilles sauvages sur les écosystèmes natifs. Ces intérêts ont ainsi fait naître dans notre équipe l'envie de travailler sur les abeilles exotiques *in extenso* à travers le monde. C'est pourquoi, nous avons entamé en collaboration avec Christophe Diagne, et ce dans le cadre, de la thèse de M. Zakardjian, un travail sur le long terme d'études des abeilles exotiques à l'échelle globale.

#### b. Une base de données des abeilles exotiques dans le monde

A ce jour, il existe une seule revue de la littérature sur les abeilles sauvages exotiques et ou envahissantes qui ont été détectées à travers le monde, et celle-ci a été publiée en 2016 (Russo, 2016). Cette publication, bien que représentant un travail déjà considérable, présente néanmoins des failles méthodologiques et des résultats surprenants. A titre d'exemple, une partie des espèces mentionnées comme étant exotiques aux USA, ne le sont que sur la base de communications personnelles, mais aucun spécimen n'y est associé que ce soit dans un musée,

une base de données ou une publication, laissant perdurer un doute sur la présence de l'espèce sur le continent américain.

Pendant la pandémie de COVID-19, nous nous sommes retrouvés face à une situation compliquée pour la thèse de M. Zakardjian puisqu'aucun terrain n'était alors possible et encore moins de missions en Nouvelle-Calédonie. Pour avancer dans nos recherches, nous avons alors décidé d'entamer un travail considérable de revue de la littérature et de base de données sur les abeilles exotiques dans le monde. M. Zakardjian est en premier lieu repartie de la publication de Russo (2016) pour trouver toutes les nouvelles mentions d'espèces exotiques parues dans la littérature scientifique sur les 6 dernières années. Puis dans un deuxième temps, le travail a consisté à reprendre une par une les espèces qui étaient mentionnées dans Russo (2016) dans le but d'objectiver ou non leur statut d'espèces exotiques. Pour chacune de ces espèces, une fiche espèce recensant toutes les informations disponibles et publiées dans la littérature a par la suite été constituée.

A ce jour, 378 articles scientifiques ont été méticuleusement lus pour en extraire toutes les informations disponibles. Dans le monde, et selon notre décompte actuel il existerait actuellement 81 espèces d'abeilles exotiques. Pour chacune de ces espèces, leur taxonomie complète, leur biologie (e.g. voltinisme), leur comportement alimentaire (lectisme, espèces préférentielles de plantes) ; de nidification (e.g. terricole, cavicole etc...) ont été relevés. De même toutes les informations sur leur traits morphologiques (e.g. taille du corps, distance inter-tégulaire, taille de la langue) ont été enregistrées (Fig. 33). La base de données contient également toutes les mentions de leurs impacts potentiels (négatifs ou positifs sur les écosystèmes natifs). Enfin, grâce au travail de M. Zakardjian, toutes les mentions uniques de présences pour tous les individus de toutes les espèces ont été ajoutées à la base de données.

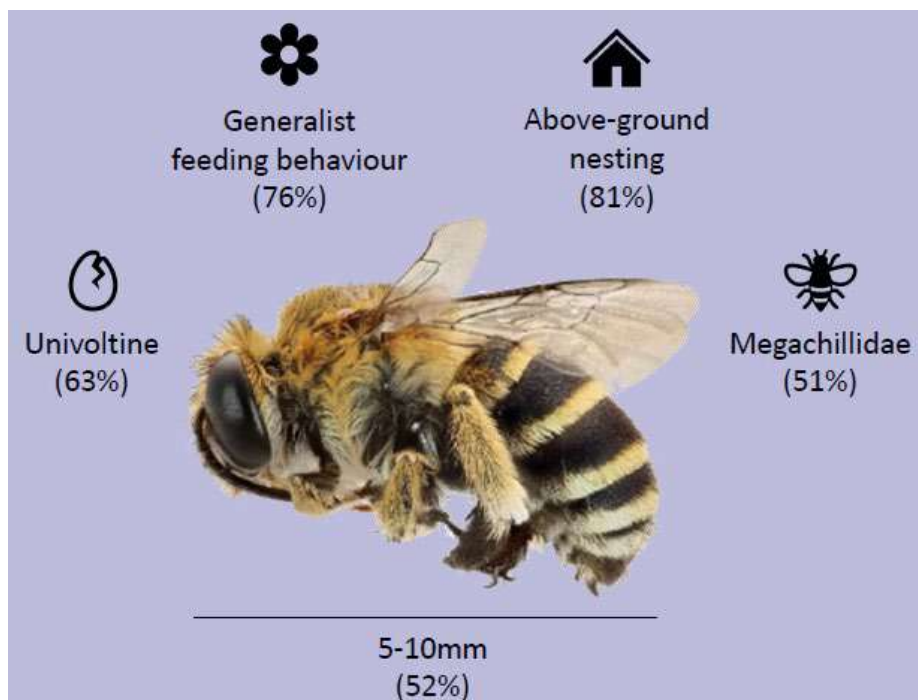


Figure 33 : Portrait-robot préliminaire d'une espèce d'abeilles solitaire exotique (ici *Amegilla pulchra*). Celle-ci est à 63% univoltine (une seule génération par an) ; 76% généraliste (polylectique) ; 81% nidifiant dans des cavités (bois mort, tiges etc.) ; et a 51% de chance de faire partie de la famille des Megachillidae. Ce travail a été présenté au congrès de l'IUSSI en juillet 2022 à San Diego (Zakardjian et al. 2022b).

Cette base de données est pour le moment sous la forme d'un immense tableau de plusieurs milliers de cases et nous sommes actuellement en train de préparer un data paper qui en présentera précisément la structure. Ce travail devrait encore nous occuper pendant les prochaines années afin de le structurer correctement. Par la suite, sur le long terme, nous souhaitons que cette base devienne open source et collaborative, pour qu'elle puisse être utilisée et alimentée par chacun. L'idée est de présenter une interface web intuitive qui permette, au même titre qu'Inaturalist (<https://www.inaturalist.org/>) par exemple, d'observer l'évolution dans le temps de la répartition des espèces sur la base de photos géoréférencées. Nous comptons pour cela sur notre expérience acquise de l'étude de *Megachile sculpturalis* et la structuration du réseau d'experts que nous avons su animer (<https://oabeilles.net/projets/observatoire-abeilles-exotiques-3>).

Nous espérons que cette base de données pourra aider à identifier les principales routes d'invasion, à anticiper et éventuellement gérer les impacts potentiels (Ascunce et al. 2012 ; Kamenova et al. 2017 ; Ghisbain et al. 2021). En s'inspirant du travail réalisé par le groupe de travail InvaCost s'intéressant au coût des espèces envahissantes (Diagne et al. 2020 ; 2021), nous pensons que ce travail pourra également servir de point d'appui a) aux gestionnaires pour suivre la progression des espèces exotiques potentiellement envahissantes et b) aux autorités locales, nationales et transnationales pour renforcer les mesures de biosécurité (Aizen et al. 2019, Bang & Courchamp 2021). A ce titre je participe déjà à l'écriture de la stratégie régionale « faune exotique envahissante » avec l'Agence Régionale pour la Biodiversité et l'Environnement (ARBE). D'une manière générale, de plus en plus d'insectes sont introduits à travers le monde, volontairement ou involontairement, et il apparaît crucial de mesurer les risques potentiels pour les écosystèmes natifs et pour l'économie. Bien souvent, les contrôles de biosécurité sont insuffisants (Aizen et al. 2019) et les nouveaux comportements d'introduction d'espèces sont mal anticipés par les autorités (exemple sur le commerce des fourmis comme animaux de compagnie voir Gippet & Bertelsmeir, 2021 ; Bertelsmeir, 2021). Ainsi tout récemment, nous avons vu émerger du commerce de cocons d'abeilles sauvages à implanter directement dans les hôtels à insectes, sans se rendre compte des conséquences potentielles pour les écosystèmes, ce qui sera développé dans la partie suivante.

*c. La gestion des abeilles, quand l'écologie n'est pas prise en compte*

Comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents (Chap. 5 & Chap. 6.c), pour réduire les conséquences négatives des activités humaines sur les pollinisateurs, de nombreux citoyens, entreprises, administrations ont choisis d'implanter des colonies d'abeilles domestiques ou des hôtels à insectes dans leurs espaces gérés. Comme nous l'avons également vu, bien que dans la majorité des cas, ces pratiques de gestion soient mises en place de manière bien intentionnée, celles-ci peuvent entraîner des conséquences négatives pour les pollinisateurs natifs, les interactions plantes-pollinisateurs et le fonctionnement des écosystèmes. L'idée qu'une action, bien qu'originellement bien intentionnée, puisse avoir des impacts négatifs sur la biodiversité n'est pas à proprement parler nouvelle mais depuis quelques années on observe une augmentation de ce type de pratiques et une revue de la littérature récente désignant ce phénomène par le terme de « misplaced conservation practices » la définit comme étant « une pratique ou une action qui, à cause d'une mauvaise information, directement ou indirectement affecte la biodiversité, gâche des ressources, mésinforme le public ou

dé légitime des preuves scientifiques » (Ford et al. 2021). L'exemple de la gestion des abeilles est un cas d'école de « misplaced conservation practices » répétées (Fig. 34).

Bien sûr, il ne s'agit pas ici d'oublier que les implantations de colonies domestiques et la présence d'hôtels à insectes dans les milieux gérés comme les villes par exemples, peuvent également avoir des effets positifs à certains égards. Par exemple, Egerer & Kowarik (2020), soulignent l'importance des ruches dans la reconnexion des citoyens avec la nature et l'éducation à l'environnement. De la même manière, Hane & Korfmacher (2022), montrent à quel point les hôtels à insectes peuvent être des outils pédagogiques formidables dans la sensibilisation des enfants à la biodiversité et dans l'apprentissage des insectes sauvages. L'idée n'est pas non plus de pointer du doigt les actions ou les citoyens bien intentionnés, ni les apiculteurs, ni de relancer le débat sur la place des abeilles domestiques dans les écosystèmes, espèce bien souvent fondamentale pour nos sociétés, ni non plus de mettre au pilori les hôtels à insectes, mais plutôt de mener une réflexion sur des pratiques de gestion, identiques, intensives et répétées à l'envi dans tous les milieux sans que l'écologie soit prise en compte ni que les conséquences sur les systèmes écologiques soient anticipés.

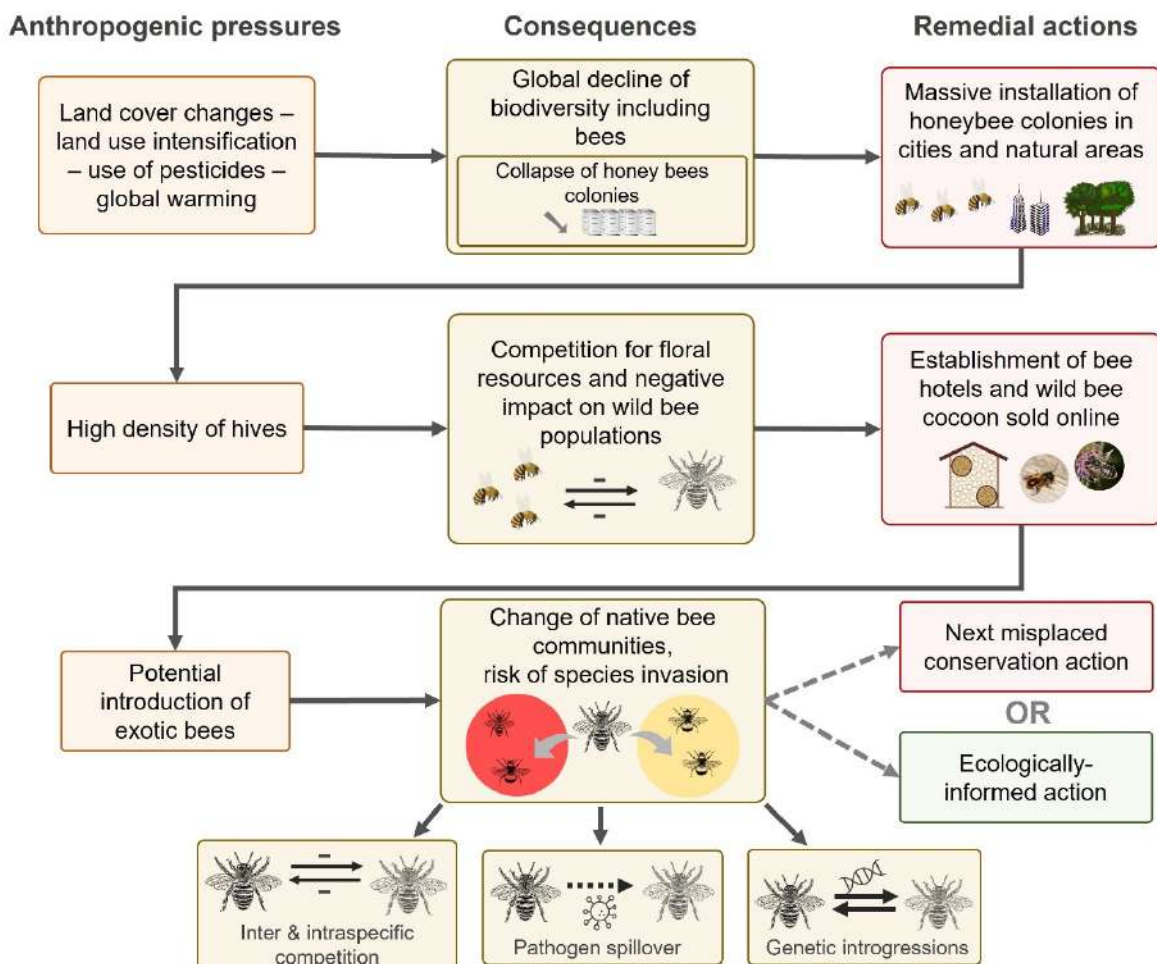


Figure 34 : Cadre conceptuel de la mauvaise gestion des abeilles (“misplaced management of bees”). Les boîtes en orange soulignent les pressions d’origine anthropiques. Les boîtes en jaune indiquent les conséquences des pressions anthropiques. Les boîtes en rouge indiquent les actions subséquentes elles aussi incorrectes. La boîte en vert indique les actions basées sur des faits écologiques. Issu de Geslin et al. 2022.

Récemment, un nouveau type de gestion préoccupant des populations d'abeilles sauvages a vu le jour, le commerce en ligne, national et international de cocons d'abeilles sauvages, pour implantation dans les hôtels à insectes. Historiquement, certaines espèces étaient élevées et commercialisées, principalement pour le service de pollinisation de certaines cultures comme la luzerne (exemple de *Megachile rotundata* ; Pitts-Singer & Cane, 2011), mais cette commercialisation était limitée à quelques professionnels dans les cercles agricoles (Aizen et al. 2020). Aujourd'hui, n'importe qui semble pouvoir acheter des cocons d'abeilles sur des sites spécialisés en ligne et se les faire livrer à son domicile, partout dans le monde. Nous avons récemment effectué un travail de recensement de ces sites internet et des espèces qui y sont vendues (Geslin et al. 2022). En utilisant les mots-clés "buy bee cocoons", "buy wild bees" and "wild bees for sale" sur google dans sept langues différentes (anglais, français, allemand, italien, russe, espagnol et chinois), nous avons recherché le maximum d'informations possible. Nous avons trouvé en tout 42 sites internet commercialisant des abeilles sauvages pour un total de huit espèces (*Osmia lignaria*, *O. texana*, *O. cornifrons*, *O. bicornis*, *O. californica*, *O. cornuta*, *Megachile rotundata*, et *M. pugnata*). Ces espèces sont toutes de la famille des Megachilidae et présentent toutes la particularité de nicher au-dessus du sol dans des cavités, le parfait portrait-robot de l'abeille exotique potentiellement envahissante (voir Fig. 31, Chapt 7c).

En l'état actuel des échanges commerciaux mondiaux, il apparaît illusoire de penser que le commerce de cocons puisse être totalement contrôlé, et que les impacts potentiels sur les écosystèmes puissent être jugulés. En juin 2021, un colis envoyé depuis la France vers Seattle (USA) a été saisi par les douanes en Nouvelle-Calédonie. Dans le colis, se trouvaient 23 cocons d'osmies et deux femelles déjà émergées. Ce commerce ouvre une fenêtre d'opportunités pour de nouvelles invasions biologiques. Comme déjà souligné, les abeilles vendues peuvent affecter les populations et les écosystèmes indigènes. L'introduction massives d'abeilles d'élevage peut modifier la structure des réseaux de pollinisation, induire de la compétition pour les ressources, transmettre des pathogènes et des virus (Geslin et al. 2017, 2022). Même dans les milieux où ces espèces sont natives, l'introduction de ces populations peut entraîner des conséquences importantes pour la structure génétique des populations locales modifiants, via hybridations, leurs adaptations génétiques (Bartomeus et al. 2020).

A titre d'exemple, une des espèces vendues en ligne est *Osmia cornifrons* ; cette espèce est maintenant largement répandue aux USA et elle a été récemment associée au déclin rapide de six autres espèces d'osmies natives (Lecroy et al. 2020) bien que la raison précise de ce déclin reste pour le moment à déterminer. Hedtke et al. (2015) ont par ailleurs démontré que *O. cornifrons* était porteuse de champignons amenés depuis son aire native et originellement absents de l'aire envahie.

D'une manière générale, prétendre préserver la biodiversité en introduisant quelques espèces gérées, sélectionnées et standardisées est contreproductif et trompe le citoyen voulant préserver la biodiversité. Les abeilles sont depuis plusieurs années maintenant considérées comme un symbole de la biodiversité. De plus en plus cependant, cette image positive, véhiculée par les médias est aussi utilisée par des entreprises ou des institutions comme un moyen de verdir leur image à peu de frais (greenwashing/beewashing Westreich, 2020). A ce jour, il n'existe aucune preuve scientifique que d'installer des ruches, des hôtels à insectes, ou d'acheter des abeilles gérées aide d'une manière ou d'une autre à la protection de la biodiversité et à la sauvegarde des abeilles.

Pourtant, de plus en plus d'espèces sont commercialisées dans le monde et tout récemment le commerce illégal d'abeilles sociales sans-dards (stingless bees) a été pointé du doigt par des collègues brésiliens (dos Santos et al. 2022 ; Carvalho, 2022).

Les abeilles sont très certainement un bon porte-drapeau pour sensibiliser les acteurs sur lequel il faut capitaliser. Leur rôle en tant que « canari dans une mine de charbon », c'est-à-dire d'indicateur précurseur de l'impact des sociétés humaines sur la biodiversité est important. Néanmoins, il apparaît crucial de se méfier des recettes toutes faites et de reconsidérer notre manière de prendre en compte la biodiversité. Ontologiquement, la biodiversité est l'hétérogénéité des formes de vies et la protéger c'est donc laisser les populations locales prospérer autant que faire se peut dans le but de préserver leurs capacités d'adaptation.

A ce jour, il ne semble pas exister de solutions miracles pour préserver les communautés d'abeilles. Nous commençons à avoir des certitudes sur ce qu'il ne faut pas faire (destruction des habitats, utilisation de pesticides etc...), mais ne savons encore sans doute pas assez ce qu'il *faudrait* faire. Dans les années qui viennent, il apparaît donc fondamental de développer des solutions, basées sur l'écologie, pour préserver la biodiversité des insectes pollinisateurs. Une des solutions serait bien sûr de rendre des espèces artificialisées à la nature, en supprimant les surfaces imperméables partout où cela est possible, en plantant des essences natives issues du contexte régional (voir pour cela l'initiative « végétal local » de l'Office Française pour la Biodiversité, <https://www.vegetal-local.fr/>), de réduire la tonte des massifs végétaux, de bannir les pesticides de tous types, diminuer l'éclairage nocturne pour les pollinisateurs de nuit, et/ou de laisser les végétaux morts au sol comme habitats naturels (Kawahara et al. 2021).

Pour aider les abeilles, il faudrait aussi mieux comprendre leurs besoins et leur écologie, travailler sur leurs préférences alimentaires pour cibler les plantes à favoriser et relier la présence d'espèces végétales à leurs habitats pour savoir lesquels protéger. Ces champs de recherche sont forcément vastes, mais il apparaît fondamental d'avancer sur ces connaissances pour proposer des mesures de conservation efficaces. L'exemple du [Parc Urbain des Papillons](#) à Marseille est très illustratif de l'importance des pratiques de gestion. En 10 ans, de suivi, et en favorisant la pousse de plantes hôtes spécifiques de certaines espèces de papillons, le parc a vu sa diversité passer d'une dizaine d'espèces à 52. Cet exemple n'est sans doute pas adapté à tous les pollinisateurs mais il doit nous encourager à repenser nos espaces, qu'ils soient urbains ou agricoles, pour que le vivant puisse s'y développer et prospérer, car nos sociétés en dépendent.

## 8. Conclusion

Dans ce mémoire d'HDR, j'ai présenté mes principaux apports à l'étude des communautés d'abeilles sauvages (composition et interactions) face aux perturbations anthropiques (intensification agricole, urbanisation, espèces exotiques envahissantes). J'ai également présenté l'essentiel de mes travaux en écologie de la conservation, notamment en relation avec les pratiques de gestions les plus souvent mises en place (installation de colonies d'abeilles domestiques, hôtel à insectes, importations de cocons) et les conséquences (potentielles et effectives) de ces pratiques pour les communautés d'abeilles sauvages.

Ce premier bilan de près de 15 années de recherche m'a permis d'identifier les grandes avancées effectuées. Les travaux qui ont eu le plus d'échos, aussi bien scientifiques qu'au niveau de la société sont sûrement ceux autour de la compétition entre abeilles sauvages et abeille domestique. Ils m'ont aussi fait toucher du doigt la notion de « discipline de crise » évoquée en introduction, me mettant dans la position auprès des aménageurs de devoir émettre des avis sur l'installation ou non de ruches, position pas toujours très confortable à tenir. Je suis par ailleurs, avec du recul, très content des travaux autour de *Megachile sculpturalis*. Nous avons été parmi les premiers en Europe à s'intéresser à cette espèce, et après près de 10 ans d'études à son sujet nous avons acquis beaucoup d'informations sur son écologie et sa dispersion et bien valorisé nos travaux au regard des moyens dont nous disposions. Je suis également enthousiaste quant au travail effectué sur la connaissance faunistique des abeilles de France et d'Europe. Après d'intenses années de lobbying, de déception et de beaucoup d'énergie, il semblerait que l'on avance enfin sur la checklist des abeilles (France et Europe) et que les financements autour de la liste rouge se débloquent. Enfin, je me rends compte aussi de certaines limites, notamment de mon tropisme trop fort sur les abeilles. C'est une remarque que l'on m'a souvent faite, et il est vrai qu'à ce stade de ma carrière j'ai beaucoup moins étudié les autres pollinisateurs. Il faudra en tenir compte dans l'avenir, notamment au regard de l'importance des diptères par exemple, dans la fonction de pollinisation.

Bien sûr, dans ce document d'HDR, je n'ai pas pu présenter certains travaux par volonté de rester relativement succinct. D'une manière générale, je m'intéresse aux impacts de toutes les perturbations anthropiques sur les communautés d'abeilles sauvages, et parmi les champs thématiques que j'ai explorés les quelques dernières années, les changements climatiques tiennent une bonne place. En particulier, dans le cadre du post-doctorat de Coline Jaworski que j'ai co-encadré (avec C. Fernandez), nous avons étudié les effets des changements de régime de précipitation sur l'attractivité des communautés de plantes de garrigue méditerranéenne aux pollinisateurs et sur les réseaux d'interactions plantes pollinisateurs (Jaworski et al. 2022). En travaillant sur le site [Climed](#), dispositif expérimental permettant d'exclure une partie des précipitations tombant au sol (environ 15%), nous avons étudié comment une sécheresse aggravée en méditerranée affectait les plantes, leurs traits, et leurs interactions avec les pollinisateurs. Un des résultats majeurs de cette étude est un changement dans l'odeur des fleurs en condition de stress hydrique (changement dans la composition des COV émis par les fleurs). Cela s'est traduit par un réseau d'interactions légèrement différent, avec les espèces sociales (*Apis* et *Bombus*) visitant davantage les parcelles contrôles que les parcelles en condition de sécheresse (Jaworski et al. 2022).

Enfin, dans les années à venir, en plus de continuer mes travaux sur les pollinisateurs, j'aimerais explorer d'autres champs d'études et notamment accentuer mes recherches en écologie du paysage, discipline qui m'a toujours passionné. Il apparaît de plus en plus urgent et important, au regard du déclin de la biodiversité, de fournir des clés aux aménageurs notamment pour la conservation ou la restauration de patches d'habitats et de continuités écologiques dans les paysages. Aussi, je suis depuis 2 ans impliqué dans le projet [Scaled](#) (ERC Starting Grant, Cécile Albert), pour lequel je co-encadre actuellement deux thèses (également en collaboration avec Mathieu Santonja – *Miniland* - & Olivier Blight - *Mesoland*) et qui devrait m'occuper jusqu'en 2026 à minima. L'objectif général de Scaled est d'améliorer la compréhension transversale du fonctionnement des processus écologiques (dispersion, dynamique des populations, assemblage des communautés) de l'échelle du centimètre (*Miniland*), au mètre (*Mesoland*), jusqu'au kilomètre (*Macroland*). L'ambition est d'apporter une réponse au débat vif qui existe en écologie du paysage entre l'importance de la configuration des habitats vs. de la quantité d'habitats notamment au regard de leur fragmentation (voir ici, [Fletcher et al. 2018](#) ; [Fahrig et al. 2019](#)). Ainsi, et par exemple, dans le cas de *Miniland* nous manipulons la fragmentation des paysages pour des populations de collemboles et étudions la dynamique de leurs populations (thèse de Karolina Argote). Dans le cas de *Mesoland*, nous travaillons dans la plaine de Crau et manipulons la fragmentation des habitats dans des paysages de 100m<sup>2</sup> pour y étudier la dynamique des populations d'arthropodes steppiques (thèse de Natan Huberson, Fig. 35). Ces travaux commencent à porter leurs fruits et un premier article auquel je suis associé est en cours de publication ([Blight et al. 2022](#)). Cet article porte sur le radio-tracking de coléoptères aptères dans la plaine de Crau à l'aide de puces RFID afin de déterminer leur distance moyenne de déplacements quotidiens et leur capacité de recolonisation (Fig. 35).

L'ensemble de ces perspectives, que ce soit celles évoquées dans les chapitres ou dans cette conclusion, promettent des développements passionnants dans les années futures. Elles promettent aussi de continuer à effectuer une science enthousiasmante au quotidien, pour des thématiques plus que jamais à enjeux face aux défis environnementaux qui viennent.



Figure 35 : Illustration des travaux réalisés dans le cadre de l'ERC Scaled (avec C. Albert et O. Blight) en plaine de Crau. A gauche, capture-marquage-recapture à la peinture d'un individu de *Lycosa tarantula*. A droite, marquage à l'aide d'une puce RFID d'un individu d'*Asida sericea*.

## 9. Bibliographie

- Ackerman, J.D., 2021. Island Invasions by Introduced Honey Bees: What Can Be Expected for Puerto Rico and the Caribbean? *Front. Ecol. Evol.* 8, 1–7.
- Acosta, A.L., Giannini, T.C., Imperatriz-Fonseca, V.L., Saraiva, A.M., 2016. Worldwide Alien Invasion: A Methodological Approach to Forecast the Potential Spread of a Highly Invasive Pollinator. *PLoS One* 11, e0148295.
- Adedoja O., Calixto E.S., Geslin B., Kehinde T., & R. E. Mallinger. Interaction networks : their limitations and applicability to insect conservation and management. *Routledge Insect Conservation Book*. Chapter 13. edited by J. Pryke, M. Samways, T. New, P. Cardoso & R. Gaigher Accepted.
- Adler, P.B., HilleRisLambers, J., Levine, J.M., 2007. A niche for neutrality. *Ecol. Lett.* 10, 95–104.
- Aebi, A., Vaissière, B.E., VanEngelsdorp, D., Delaplane, K.S., Roubik, D.W., Neumann, P., 2012. Back to the future: Apis versus non-Apis pollination—a response to Ollerton et al. *Trends Ecol. Evol.* 27, 142–143.
- Aguado, O., Hernández-Castellano, C., Bassols, E., Miralles, M., Navarro, D., Stefanescu, C., Vicens, N., 2018. *Megachile (Callomegachile) sculpturalis* Smith, 1853 (Apoidea: Megachilidae): a new exotic species in the Iberian Peninsula, and some notes about its biology. *Butll. Inst. Catalana Hist. Nat.* 82, 157–162.
- Aizen, M.A., Garibaldi, L.A., Cunningham, S.A., Klein, A.M., 2009. How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. *Ann. Bot.* 103, 1579–1588.
- Aizen, M.A., Smith-Ramírez, C., Morales, C.L., Vieli, L., Sáez, A., Barahona-Segovia, R.M., Arbetman, M.P., Montalva, J., Garibaldi, L.A., Inouye, D.W., Harder, L.D., 2019. Coordinated species importation policies are needed to reduce serious invasions globally: The case of alien bumblebees in South America. *J. Appl. Ecol.* 56, 100–106.
- Aizen, M.A., Arbetman, M.P., Chacoff, N.P., Chalcoff, V.R., Feinsinger, P., Garibaldi, L.A., Harder, L.D., Morales, C.L., Sáez, A., Vanbergen, A.J., 2020. *Invasive bees and their impact on agriculture*, 1st ed, *Advances in Ecological Research*.
- Alameda, D., Hidalgo, B.F., Rijo, G., de Vales Fernández, D., Castañeda, A., Leyva, L.M., 2020. Diurnal pollination network of “Cuabales de Cajalbana”, a serpentine shrubwood in western Cuba. *Rev. del Jard. Bot. Nac.* 41, 25–30.
- Allen-Perkins, A., Castro, S., Dupont, Y.L., Dalsgaard, B. and Bartomeus, I., 2022a. Who is Pollinating Crops Worldwide? A Global Database of Crop Pollinators has the Answer. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 103(2), pp.1-3.
- Allen-Perkins, A., Magrath, A., Dainese, M., Garibaldi, L.A., Kleijn, D., Rader, R., Reilly, J.R., Winfree, R., Lundin, O., McGrady, C.M. and Brittain, C., 2022b. *CropPol*: a dynamic, open and global database on crop pollination. *Ecology*.
- Amiet, F., 2012. Die Blattschneiderbiene *Megachile sculpturalis* Smith, 1853 (Hymenoptera, Apidae) nun auch in der Schweiz. *Entomo Helv.* 1853, 157–159
- Andrieu-Ponel, V., Ponel, P., Le Féon, V., Geslin, B., Duvallat, G., 2018. À propos du comportement de butinage de *Megachile sculpturalis* Smith, 1853, en France méditerranéenne (Nîmes et Montpellier) (Hymenoptera, Megachilidae). *Bull. la Société Entomol. Fr.* 123, 49–54.
- Ahrné, K., Bengtsson, J., Elmqvist, T., 2009. Bumble bees (*Bombus spp*) along a gradient of increasing urbanization. *PLoS One* 4.
- Arbetman, M.P., Meeus, I., Morales, C.L., Aizen, M.a., Smagghe, G., 2012. Alien parasite hitchhikes to Patagonia on invasive bumblebee. *Biol. Invasions* 15, 489–494.
- Ascunce, M.S., Yang, C.C., Oakey, J., Calcaterra, L., Wu, W.J., Shih, C.J., Goudet, J., Ross, K.G., Shoemaker, D.W., 2011. Global invasion history of the fire ant *Solenopsis invicta*. *Science* (80). 331, 1066–1068.
- Badiane A., Ropars L., Schurr L., Zakardjian M., Affre L., Deschamps-Cottin M. Gachet S., Nève G., Robles C., & B. Geslin. Impacts of urbanisation on species richness, abundance, body size and coloration in wild bees. *Regional Environmental Change* Submitted
- Bailey, S., Requier, F., Nusillard, B., Roberts, S.P.M., Potts, S.G., Bouget, C., 2014. Distance from forest edge affects bee pollinators in oilseed rape fields. *Ecol. Evol.* 4, 370–380.
- Baldock, K.C.R., Goddard, M.A., Hicks, D.M., Kunin, W.E., Mitschunas, N., Osgathorpe, L.M., Potts, S.G., Robertson, K.M., Scott, A. V., Stone, G.N., Vaughan, I.P., Memmott, J., 2015. Where is the UK’s pollinator biodiversity? The importance of urban areas for flower-visiting insects. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 282.

- Baldock, K.C.R., Goddard, M.A., Hicks, D.M., Kunin, W.E., Mitschunas, N., Morse, H., Osgathorpe, L.M., Potts, S.G., Robertson, K.M., Scott, A. V., Staniczenko, P.P.A., Stone, G.N., Vaughan, I.P., Memmott, J., 2019. A systems approach reveals urban pollinator hotspots and conservation opportunities. *Nat. Ecol. Evol.* 3, 363–373.
- Baldock, K.C., 2020. Opportunities and threats for pollinator conservation in global towns and cities. *Curr. Opin. Insect Sci.* 38, 63–71.
- Barrios, B., Pena, S.R., Salas, A., Koptur, S., 2016. Butterflies visit more frequently, but bees are better pollinators: The importance of mouthpart dimensions in effective pollen removal and deposition. *AoB Plants* 8.
- Bartholomé, O., Lavorel, S., 2019. Disentangling the diversity of definitions for the pollination ecosystem service and associated estimation methods. *Ecol. Indic.* 107, 105576.
- Bartomeus, I., Molina, F.P., Hidalgo-Galiana, A., Ortego, J., 2020. Safeguarding the genetic integrity of native pollinators requires stronger regulations on commercial lines. *Ecol. Solut. Evid.* 1, 1–8.
- Bascompte J, Jordano P. 2007. Plant-Animal Mutualistic Networks: The Architecture of Biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 38:567–593.
- Bates, A.J., Sadler, J.P., Fairbrass, A.J., Falk, S.J., Hale, J.D., Matthews, T.J., 2011. Changing bee and hoverfly pollinator assemblages along an urban-rural gradient. *PLoS One*.
- Bell, G., 2000. The distribution of abundance in neutral communities. *Am. Nat.* 155, 606–617.
- Bertelsmeier, C., 2021. Globalization and the anthropogenic spread of invasive social insects. *Curr. Opin. Insect Sci.* 46, 16–23.
- Besson, M., Delmas, E., Poisot, T., Gravel, D., 2018. Complex ecological networks. *Encycl. Ecol.* 536–545.
- Blight O., Geslin B., Mottet L., & C. H. Albert. 2022. Advantages and limits of radio tracking for the conservation of small ground-dwelling beetles: a case study in a Mediterranean dry grassland. *Frontiers in Ecology & Evolution. Rev. Min.*
- Blitzer, E.J., Gibbs, J., Park, M.G., Danforth, B.N., 2016. Pollination services for apple are dependent on diverse wild bee communities. *Agric. Ecosyst. Environ.* 221, 1–7.
- Bradshaw, C.J.A., Leroy, B., Bellard, C., Roiz, D., Albert, C., Fournier, A., Barbet-Massin, M., Salles, J.M., Simard, F., Courchamp, F., 2016. Massive yet grossly underestimated global costs of invasive insects. *Nat. Commun.* 7.
- Branstetter, M.G., Danforth, B.N., Pitts, J.P., Faircloth, B.C., Ward, P.S., Buffington, M.L., Gates, M.W., Kula, R.R., Brady, S.G., 2017. Phylogenomic Insights into the Evolution of Stinging Wasps and the Origins of Ants and Bees. *Curr. Biol.* 27, 1019–1025.
- Brittain, C., Williams, N., Kremen, C., Klein, A.M., 2013. Synergistic effects of non-*Apis* bees and honey bees for pollination services. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 280.
- Brittain, C., Kremen, C., Garber, A. & Klein, A.-M. 2014. Pollination and plant resources change the nutritional quality of almonds for human health. *PLOS ONE*, 9: e90082.
- Brown, C., Moul, K. and Ling, M. A. 2017. Workshop on understanding the knowledge on pollinators and pollination in the EU. UNEP-WCMC, Cambridge, UK
- Burel F, Baudry J. 1999 *Ecologie du paysage. Concepts, méthodes et applications.* Tec & Doc Lavoisier, Paris
- Burkle, L.A., Marlin, J.C., Knight, T.M., 2013. Plant-pollinator interactions over 120 years: Loss of species, co-occurrence, and function. *Science* (80- ). 340, 1611–1615.
- Campbell JW, Stanley-stahr C, Bammer M, Daniels J.C., Ellis. J.D. 2019. Contribution of bees and other pollinators to watermelon (*Citrullus lanatus* Thunb.) pollination. *J Apic Res* 0:1–7.
- Cane, J.H., Tepedino, V.J., 2017. Gauging the Effect of Honey Bee Pollen Collection on Native Bee Communities. *Conserv. Lett.* 10, 205–210.
- Cappellari, A., Bonaldi, G., Mei, M., Panicia, D., Cerretti, P., Marini, L., 2022. Functional traits of plants and pollinators explain resource overlap between honeybees and wild pollinators. *Oecologia* 198, 1019–1029.
- Cardinal, S., Danforth, B.N., 2013. Bees diversified in the age of eudicots. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 280.
- Carisio, L., Schurr, L., Masotti, V., Porporato, M., Nève, G., Affre, L., Gachet, S., Geslin, B., 2022. Estimates of nectar productivity through a simulation approach differ from the nectar produced in 24 h. *Funct. Ecol.* 1–14. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.14210>
- Carvalho, L.G., Seymour, C.L., Veldtman, R., Nicolson, S.W., 2010. Pollination services decline with distance from natural habitat even in biodiversity-rich areas. *J. Appl. Ecol.* 47, 810–820.
- Carvalho, A.F., 2022. Illegality in the online trade of stingless bees in Brazil. *Insect Conserv. Divers.* 1–9.
- Casanelles-Abella, J., Moretti, M., 2022. Challenging the sustainability of urban beekeeping using evidence from Swiss cities. *npj Urban Sustain.* 2, 1–5.
- Catarino, R., Bretagnolle, V., Perrot, T., Vialoux, F., Gaba, S., 2019. Bee pollination outperforms pesticides for oilseed crop production and profitability. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 286.

- Četković, A., Plečaš, M., 2017. Dalje širenje alohtone azijske pčele u Evropi: prvi nalaz *Megachile sculpturalis* na Balkanu. Presented at the Symposium of Entomologists of Serbia, Serbia, pp. 17–21
- Choate, B.A., Hickman, P.L., Moretti, E.A., 2018. Wild bee species abundance and richness across an urban–rural gradient. *J. Insect Conserv.* 22, 391–403.
- Cole, L.J., Brocklehurst, S., Robertson, D., Harrison, W., McCracken, D.I., 2017. Exploring the interactions between resource availability and the utilisation of semi-natural habitats by insect pollinators in an intensive agricultural landscape. *Agric. Ecosyst. Environ.* 246, 157–167.
- Connelly, H., K. Poveda, and G. Loeb. 2015. Landscape simplification decreases wild bee pollination services to strawberry. *Agriculture Ecosystems & Environment* 211:51-56
- Dainese, M., Riedinger, V., Holzschuh, A., Kleijn, D., Scheper, J., Steffan-Dewenter, I., 2018. Managing trap-nesting bees as crop pollinators: Spatiotemporal effects of floral resources and antagonists. *J. Appl. Ecol.* 55, 195–204.
- Dáttilo, W., Rico-Gray, V. (2018) *Ecological networks in the tropics*. Cham, Switzerland: Springer. 201 pp.
- Deguines, N., Julliard, R., de Flores, M., Fontaine, C., 2012. The Whereabouts of Flower Visitors: Contrasting Land-Use Preferences Revealed by a Country-Wide Survey Based on Citizen Science. *PLoS One* 7, 1–9.
- Delmas, E., Besson, M., Brice, M.H., Burkle, L.A., Dalla Riva, G. V., Fortin, M.J., Gravel, D., Guimarães, P.R., Hembry, D.H., Newman, E.A., Olesen, J.M., Pires, M.M., Yeakel, J.D., Poisot, T., 2019. Analysing ecological networks of species interactions. *Biol. Rev.* 94, 16–36.
- De La Rúa, P., Jaffé, R., Dall’Olio, R., Muñoz, I., Serrano, J., 2009. Biodiversity, conservation and current threats to European honeybees. *Apidologie* 40, 263–284.
- Diagne, C., Leroy, B., Gozlan, R.E., Vaissière, A.C., Assailly, C., Nuninger, L., Roiz, D., Jourdain, F., Jarić, I., Courchamp, F., 2020. InvaCost, a public database of the economic costs of biological invasions worldwide. *Sci. Data* 7, 1–12.
- Diagne, C., Leroy, B., Vaissière, A.C., Gozlan, R.E., Roiz, D., Jarić, I., Salles, J.M., Bradshaw, C.J.A., Courchamp, F., 2021. High and rising economic costs of biological invasions worldwide. *Nature* 592, 571–576.
- Dixon, D.J., Zheng, H., Otto, C.R.V., 2021. Land conversion and pesticide use degrade forage areas for honey bees in America’s beekeeping epicenter. *PLoS One* 16.
- dos Santos, C.F., Acosta, A.L., Halinski, R., Souza-Santos, P.D., Borges, R.C., Gianinni, T.C., Blochtein, B., 2022. The widespread trade in stingless beehives may introduce them into novel places and could threaten species, *Journal of Applied Ecology*.
- Drossart, M., Rasmont, P., Vanormelingen, P., Dufrière, M., Folschweiller, M., Pauly, A., Vereecken, N.J., Vray, S., Zambra, E., D’Haeseleer, J., Michez, D., 2019. Belgian Red List of bees.
- Dunne, J. 2009. Food webs. In book: *Encyclopedia of Complexity and Systems Science* Publisher: Springer Editors: R. A. Myers
- Dupont, Y.L., Hansen, D.M., Valido, A., Olesen, J.M., 2004. Impact of introduced honey bees on native pollination interactions of the endemic *Echium wildpretii* (Boraginaceae) on Tenerife, Canary Islands. *Biol. Conserv.* 118, 301–311.
- Egerer, M., Kowarik, I., 2020. Confronting the Modern Gordian Knot of Urban Beekeeping. *Trends Ecol. Evol.* 35, 956–959.
- Eilers, E.J., Kremen, C., Greenleaf, S.S., Garber, A.K., Klein, A.M., 2011. Contribution of pollinator-mediated crops to nutrients in the human food supply. *PLoS One* 6.
- Ellis, A.M., Myers, S.S., Ricketts, T.H., 2015. Do pollinators contribute to nutritional health? *PLoS One* 10, 1–17.
- Elton C 1933. *The ecology of animals*. London: Methuen.
- Fahrig, L., Arroyo-Rodríguez, V., Bennett, J.R., Boucher-Lalonde, V., Cazetta, E., Currie, D.J., Eigenbrod, F., Ford, A.T., Harrison, S.P., Jaeger, J.A.G., Koper, N., Martin, A.E., Martin, J.L., Metzger, J.P., Morrison, P., Rhodes, J.R., Saunders, D.A., Simberloff, D., Smith, A.C., Tischendorf, L., Vellend, M., Watling, J.I., 2019. Is habitat fragmentation bad for biodiversity? *Biol. Conserv.* 230, 179–186.
- Fauviau, A., Baude, M., Bazin, N., Fiordaliso, W., Fisogni, A., Fortel, L., Garrigue, J., Geslin, B., Goulnik, J., Guilbaud, L., Hautekèete, N., Heiniger, C., Kuhlmann, M., Lambert, O., Langlois, D., Le Féon, V., Lopez Vaamonde, C., Maillet, G., Massol, F., Michel, N., Michelot-Antalik, A., Michez, D., Mouret, H., Piquot, Y., Potts, S.G., Roberts, S., Ropars, L., Schurr, L., Van Reeth, C., Villalta, I., Zaninotto, V., Dajoz, I., Henry, M., 2022. A large-scale dataset reveals taxonomic and functional specificities of wild bee communities in urban habitats of Western Europe. *Sci. Rep.* 12, 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21512-w>
- Fetridge, E.D., Ascher, J.S., Langellotto, G.A., 2008. The Bee Fauna of Residential Gardens in a Suburb of New York City (Hymenoptera: Apoidea). *Ann. Entomol. Soc. Am* 101, 1067–1077.

- Fisogni, A., Hautekèete, N., Piquot, Y., Brun, M., Vanappelghem, C., Michez, D. and Massol, F. (2020), Urbanization drives an early spring for plants but not for pollinators. *Oikos*, 129: 1681-1691.
- Fisogni, A., Hautekèete, N., Piquot, Y., Brun, M., Vanappelghem, C., Ohlmann, M., Franchomme, M., Hinnewinkel, C., Massol, F., 2022. Seasonal trajectories of plant-pollinator interaction networks differ following phenological mismatches along an urbanization gradient. *Landsc. Urban Plan.* 226.
- Flacher, F., 2018. Le nectar : diversité et complexité d'une ressource au cœur des relations plantes-insectes. *L'Abeille Française*. 1063, 48–51.
- Fletcher, R.J., Didham, R.K., Banks-Leite, C., Barlow, J., Ewers, R.M., Rosindell, J., Holt, R.D., Gonzalez, A., Pardini, R., Damschen, E.I., Melo, F.P.L., Ries, L., Prevedello, J.A., Tscharntke, T., Laurance, W.F., Lovejoy, T., Haddad, N.M., 2018. Is habitat fragmentation good for biodiversity? *Biol. Conserv.* 226, 9–15.
- Földesi, R., Kovács-Hostyánszki, A., Korösi, Á., Somay, L., Elek, Z., Markó, V., Sárospataki, M., Bakos, R., Varga, Á., Nyisztor, K., Báldi, A., 2016. Relationships between wild bees, hoverflies and pollination success in apple orchards with different landscape contexts. *Agric. For. Entomol.* 18, 68–75.
- Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M., Mueller, N.D., O'Connell, C., Ray, D.K., West, P.C., Balzer, C., Bennett, E.M., Carpenter, S.R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D., Zaks, D.P.M., 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478, 337–342.
- Fontaine, C., Dajoz, I., Meriguet, J., Loreau, M., 2006. Functional diversity of plant-pollinator interaction webs enhances the persistence of plant communities. *PLoS Biol.* 4, 0129–0135.
- Ford, A.T., Ali, A.H., Colla, S.R., Cooke, S.J., Lamb, C.T., Pittman, J., Shiffman, D.S., Singh, N.J., 2021. Understanding and avoiding misplaced efforts in conservation. *Facets* 6, 252–271.
- Fornoff F., Lanner J., Orr M., Xie T., Guo S., Guariento E., Tuerlings T., Smagghe G., Parys K., Četković A., Bila Dubaić J., Geslin B., Scharnhorst V., Pachinger B., Klein A-M., Meimberg H. Home-and-away comparisons of life history traits indicate enemy release and founder effects of the solitary bee species, *Megachile sculpturalis*. *Biological Invasion*.
- Fortel, L., Henry, M., Guilbaud, L., Guirao, A.L., Kuhlmann, M., Mouret, H., Rollin, O., Vaissière, B.E., 2014. Decreasing abundance, increasing diversity and changing structure of the wild bee community (hymenoptera: anthophila) along an urbanization gradient. *PLoS One*.
- Frund, J., Dormann, C.F., Holzschuh, A., Tscharntke, T., 2013. Bee diversity effects on pollination depend on functional complementarity and niche shifts. *Ecology* 94, 2042–2054.
- Gabiot, É. & É. Dufréne 2021. Première mention de *Nomada barcelonensis* Cockerell, 1917 pour la France (Hymenoptera : Apidae : Nomadinae). *Osmia*, 9: 83–88.
- Gadoum, S., Roux-Fouillet, J.M., 2016. Plan national d'actions "France Terre de pollinisateurs" pour la préservation des abeilles et des insectes pollinisateurs sauvages. Office pour les insectes et leur environnement - Ministère de l'Ecologie, du développement durable et de l'énergie 136pp.
- Gargominy, O., S. Terceire, C. Régnier, T. Ramage, P. Dupont, P. Daszkiewicz, and L. Poncet. 2021. TAXREF v14, référentiel taxonomique pour la France : méthodologie, mise en œuvre et diffusion., Rapport Paris
- Garibaldi, L.A., Steffan-Dewenter, I., Kremen, C., Morales, J.M., Bommarco, R., Cunningham, S.A., Carvalheiro, L.G., Chacoff, N.P., Dudenhöffer, J.H., Greenleaf, S.S., Holzschuh, A., Isaacs, R., Krewenka, K., Mandelik, Y., Mayfield, M.M., Morandin, L.A., Potts, S.G., Ricketts, T.H., Szentgyörgyi, H., Viana, B.F., Westphal, C., Winfree, R., Klein, A.M., 2011. Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. *Ecol. Lett.* 14, 1062–1072.
- Garibaldi, L.A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M.A., Bommarco, R., Cunningham, S.A., Kremen, C., Carvalheiro, L.G., Harder, L.D., Afik, O., Bartomeus, I., Benjamin, F., Boreux, V., Cariveau, D., Chacoff, N.P., Dudenhöffer, J.H., Freitas, B.M., Ghazoul, J., Greenleaf, S., Hipólito, J., Holzschuh, A., Howlett, B., Isaacs, R., Javorek, S.K., Kennedy, C.M., Krewenka, K.M., Krishnan, S., Mandelik, Y., Mayfield, M.M., Motzke, I., Munyuli, T., Nault, B.A., Otieno, M., Petersen, J., Pisanty, G., Potts, S.G., Rader, R., Ricketts, T.H., Rundlöf, M., Seymour, C.L., Schüepp, C., Szentgyörgyi, H., Taki, H., Tscharntke, T., Vergara, C.H., Viana, B.F., Wanger, T.C., Westphal, C., Williams, N., Klein, A.M., 2013. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science* (80). 340, 1608–1611.
- Garibaldi, L.A., Carvalheiro, L.G., Leonhardt, S.D., Aizen, M.A., Blaauw, B.R., Isaacs, R., Kuhlmann, M., Kleijn, D., Klein, A.M., Kremen, C., Morandin, L., Scheper, J., Winfree, R., 2014. From research to action: enhancing crop yield through wild pollinators. *Front. Ecol. Environ.* 12, 439–447.
- Garibaldi, L.A., Pérez-Méndez, N., Garratt, M.P.D., Gemmill-Herren, B., Miguez, F.E., Dicks, L. V., 2019. Policies for Ecological Intensification of Crop Production. *Trends Ecol. Evol.* 34, 282–286.

- Garnica-Díaz, C., Berazaín Iturralde, R., Cabrera, B., Calderón-Morales, E., Felipe, F.L., García, R., Hechavarría, J.L.G., Guimarães, A.F., Medina, E., Paul, A.L.D., Rajakaruna, N., Restrepo, C., Siebert, S.J., van den Berg, E., van der Ent, A., Velasquez, G., M. Hulshof, C., 2022. Global Plant Ecology of Tropical Ultramafic Ecosystems. *Bot. Rev.*
- Geeraert, L.; Aerts, R.; Berecha, G.; Daba, G.; De Fruyt, N.; D'hollander, J.; Helsen, K.; Stynen, H.; Honnay, O. Effects of landscape composition on bee communities and coffee pollination in *Coffea arabica* production forests in southwestern Ethiopia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2020, 288, 106706–106717.
- Geldmann, J., González-Varo, J.P., 2018. Conserving honey bees does not help wildlife. *Science* (80). 359, 392–393.
- Geslin, B., Gauzens, B., Thébault, E., Dajoz, I., 2013. Plant Pollinator Networks along a Gradient of Urbanisation. *PLoS One* 8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063421>
- Geslin, B., Le Féon, V., Kuhlmann, M., Vaissière, B.E., Dajoz, I., 2015. The bee fauna of large parks in downtown Paris, France. *Ann. la Soc. Entomol. Fr.* 51, 487–493. <https://doi.org/10.1080/00379271.2016.1146632>
- Geslin, B., Morales, C.L., 2015. New records reveal rapid geographic expansion of *Bombus terrestris* Linnaeus, 1758 (Hymenoptera: Apidae), an invasive species in Argentina. *Check List* 11. <https://doi.org/10.15560/11.3.1620>
- Geslin, B., Oddie, M., Folschweiller, M., Legras, G., Seymour, C.L., van Veen, F.J.F., Thébault, E., 2016a. Spatiotemporal changes in flying insect abundance and their functional diversity as a function of distance to natural habitats in a mass flowering crop. *Agric. Ecosyst. Environ.* 229. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.05.010>
- Geslin, B., Le Féon, V., Folschweiller, M., Flacher, F., Carmignac, D., Motard, E., Perret, S., Dajoz, I., 2016b. The proportion of impervious surfaces at the landscape scale structures wild bee assemblages in a densely populated region. *Ecol. Evol.* 6. <https://doi.org/10.1002/ece3.2374>
- Geslin, B., Aizen, M.A., Garcia, N., Pereira, A.J., Vaissière, B.E., Garibaldi, L.A., 2017a. The impact of honey bee colony quality on crop yield and farmers' profit in apples and pears. *Agric. Ecosyst. Environ.* 248, 153–161. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.035>
- Geslin, B., Gauzens, B., Baude, M., Dajoz, I., Fontaine, C., Henry, M., Ropars, L., Rollin, O., Thébault, E., Vereecken, N.J., 2017b. Massively Introduced Managed Species and Their Consequences for Plant–Pollinator Interactions, *Advances in Ecological Research.* <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2016.10.007>
- Geslin, B., Vereecken, N.J., Roberts, S.P.M., Aytekin, A.M., Genoud, D., Aubert, M., Burdon, R.C.F., Ruiz, C., Fisogni, A., Flacher, F., Grabowski, M., Jacquemin, F., Khvir, V., Kirkitadze, G., Klumpers, S.G.T., Levy, K., Maher, S., Markov, Z., Perrard, A., Roquer, L., Ropars, L., Schurr, L., Varnava, A., Michez, D., 2018. Compte-rendu des captures réalisées de la formation européenne à la détermination des abeilles (COST Super-B Project) dans le Parc national des Calanques. *Osmia* 7, 20–25. <https://doi.org/10.47446/OSMIA7.4>
- Geslin, B., 2020. Ce qu'il restera... *Osmia*. Editorial. <https://doi.org/10.47446/OSMIA8.edito>
- Geslin B., Gachet S., Deschamps-Cottin M., Flacher F., Ignace B., Knoploch C., Meineri E., Robles C., Ropars L., Schurr L. & Le Féon V.. Bee hotels host a high abundance of exotic bees in an urban context. *Acta Oecologica.* <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103556>
- Geslin, B., 2021. Rendre la ville accueillante pour les abeilles. *Metropolitiques* 1–6.
- Geslin, B., Ropars, L., Zakardjian, M., Flacher, F., 2022. The misplaced management of bees. *Authorea Prepr.* 1–7. <https://doi.org/10.22541/au.164319695.57033003/v1>
- Ghisbain, G., Gérard, M., Wood, T.J., Hines, H.M., Michez, D., 2021. Expanding insect pollinators in the Anthropocene. *Biol. Rev.* 96, 2755–2770.
- Gippet, J.M.W., Bertelsmeier, C., 2021. Invasiveness is linked to greater commercial success in the global pet trade. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 118.
- Goddard, M.A., Dougill, A.J., Benton, T.G., 2010. Scaling up from gardens: biodiversity conservation in urban environments. *Trends Ecol. Evol.* 25, 90–98.
- Godet, L., Devictor, V., 2018. What Conservation Does. *Trends Ecol. Evol.* 33, 720–730.
- Gogala, A., Zadavec, B., 2018. First Record of *Megachile sculpturalis* Smith in Slovenia (Hymenoptera: Megachilidae). *Acta Entomol. Slov.* 26, 79–82.
- Grass, I., Albrecht, J., Jauker, F., Diekötter, T., Warzecha, D., Wolters, V., Farwig, N., 2016. Much more than bees—Wildflower plantings support highly diverse flower-visitor communities from complex to structurally simple agricultural landscapes. *Agric. Ecosyst. Environ.* 225, 45–53.
- Grime, J. 1973. Competitive Exclusion in Herbaceous Vegetation. *Nature* 242, 344–347.
- Groom, S.V.C., Ngo, H.T., Rehan, S.M., Skelton, P., Stevens, M.I., Schwarz, M.P., 2014. Multiple recent introductions of apid bees into Pacific archipelagos signify potentially large consequences for both agriculture and indigenous ecosystems. *Biol. Invasions* 16, 2293–2302.
- Güneralp, B., Reba, M., Hales, B.U., Wentz, E.A., Seto, K.C., 2020. Trends in urban land expansion, density, and land transitions from 1970 to 2010: A global synthesis. *Environ. Res. Lett.* 15.

- Hane, E.N., Korfmacher, K.F., 2022. Insect “Bee&Bees” and pollinator penthouses: teaching students about pollinators and their services in an urban environment. *Urban Ecosyst. Online*.
- Hall, D.M., Camilo, G.R., Tonietto, R.K., Ollerton, J., Ahrné, K., Arduser, M., Ascher, J.S., Baldock, K.C.R., Fowler, R., Frankie, G., Goulson, D., Gunnarsson, B., Hanley, M.E., Jackson, J.I., Langellotto, G., Lowenstein, D., Minor, E.S., Philpott, S.M., Potts, S.G., Sirohi, M.H., Spevak, E.M., Stone, G.N., Threlfall, C.G., 2017. The city as a refuge for insect pollinators. *Conserv. Biol.*
- Hallmann, C.A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., Stenmans, W., Müller, A., Sumser, H., Hörrén, T., Goulson, D., De Kroon, H., 2017. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS One* 12.
- Harrison, T., Winfree, R., 2015. Urban drivers of plant-pollinator interactions. *Funct. Ecol.* 29, 879–888.
- Hass, A.L., Kormann, U.G., Tschardtke, T., Clough, Y., Baillod, A.B., Sirami, C., Fahrig, L., Martin, J.L., Baudry, J., Bertrand, C., Bosch, J., Brotons, L., Bure, F., Georges, R., Giralt, D., Marcos-García, M., Ricarte, A., Siriwardena, G., Batáry, P., 2018. Landscape configurational heterogeneity by small-scale agriculture, not crop diversity, maintains pollinators and plant reproduction in western Europe. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 285.
- Hedtke, S.M., Blitzer, E.J., Montgomery, G.A. & Danforth, B.N. (2015). Introduction of non-native pollinators can lead to trans-continental movement of bee-Associated fungi. *PLoS One*, 10, 1–18.
- Henry, M., Fröchen, M., Maillet-Mezeray, J., Breyne, E., Allier, F., Odoux, J.F., Decourtye, A., 2012. Spatial autocorrelation in honeybee foraging activity reveals optimal focus scale for predicting agro-environmental scheme efficiency. *Ecol. Modell.* 225, 103–114.
- Henry, M., Rodet, G., 2018. Controlling the impact of the managed honeybee on wild bees in protected areas. *Sci. Rep.* 8, 1–10.
- Henry, M., Rodet, G., 2020. The apiary influence range: A new paradigm for managing the cohabitation of honey bees and wild bee communities. *Acta Oecologica* 105, 103555.
- Hérault, B., 2011. Reconstruire l'écologie des communautés par les traits biologiques. Université des Antilles et de la Guyane. Mémoire d'HDR, 85pp.
- Herbertsson, L., Lindström, S.A.M., Rundlöf, M., Bommarco, R., Smith, H.G., 2016. Competition between managed honeybees and wild bumblebees depends on landscape context. *Basic Appl. Ecol.* 17, 609–616.
- Hernandez, J.L., Frankie, G.W., Thorp, R.W., 2009. Ecology of Urban Bees: A Review of Current Knowledge and Directions for Future Study. *Cities Environ.*
- Herrera, C.M., 2020. Gradual replacement of wild bees by honeybees in flowers of the Mediterranean Basin over the last 50 years. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 287, 16–20.
- Hinojosa-Díaz, I., 2008. The giant resin bee making its way west: First record in Kansas (Hymenoptera: Megachilidae). *Zookeys* 1, 67–71.
- Hipólito, J., Boscolo, D., Viana, B.F., 2018. Landscape and crop management strategies to conserve pollination services and increase yields in tropical coffee farms. *Agric. Ecosyst. Environ.* 256, 218–225.
- Hoehn, P., Tschardtke, T., Tylianakis, J.M., Steffan-Dewenter, I., 2008. Functional group diversity of bee pollinators increases crop yield. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 275, 2283–2291.
- Howlett, B.G., Evans, L.J., Pattemore, D.E., Nelson, W.R., 2017. Stigmatic pollen delivery by flies and bees: Methods comparing multiple species within a pollinator community. *Basic Appl. Ecol.* 19, 19–25.
- Hubbell, S. P. *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography* (Princeton Univ. Press, New Jersey, 2001)
- Hung, K.L.J., Kingston, J.M., Lee, A., Holway, D.A., Kohn, J.R., 2019. Non-native honey bees disproportionately dominate the most abundant floral resources in a biodiversity hotspot. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 286.
- Hutchinson, G. E. "Concluding remarks. population studies: animal ecology and demography." *Cold Spring Harbor Symposia on Quantative Biology*. Vol. 22. 1957.
- IPBES (2019): Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1148 pages.
- Isnard, S.; L'Huillier, L.; Rigault, F.; Jaffré, T. Howdid the ultramafic soils shape the flora of theNewCaledonian hotspot? *Plant Soil* 2016, 403, 53–76.
- Ivanov, S.P., Fateryga, A.V., 2019. First record of the invasive giant resin bee *Megachile (Callomegachile) sculpturalis* Smith, 1853 (Hymenoptera: Megachilidae) in the Crimea. *Far East. Entomol.* 395, 7–13.
- Janzen, D.H. 1974 The deflowering of Central America. *Natural History* 83(4), 49-53

- Jaureguiberry, P., Titeux, N., Wiemers, M., Bowler, D.E., Coscieme, L., Golden, A.S., Guerra, C.A., Jacob, U., Takahashi, Y., Settele, J., Díaz, S., Molnár, Z., Purvis, A., 2022. The direct drivers of recent global anthropogenic biodiversity loss. *Sci. Adv.* 8, 1–12.
- Jaworski, C.C., Geslin, B., Zakardjian, M., Lecareux, C., Caillault, P., Nève, G., Meunier, J.Y., Dupouyet, S., Sweeney, A.C.T., Lewis, O.T., Dicks, L. V., Fernandez, C., 2022. Long-term experimental drought alters floral scent and pollinator visits in a Mediterranean plant community despite overall limited impacts on plant phenotype and reproduction. *J. o. Ecol.* 1–21. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13974>
- Jennersten, O. 1984. Flower visitation and pollination efficiency of some North European butterflies. *Oecologia* 63, 80–89
- Jennings, J.T., Krogmann, L., Burwell, C., 2013. Reeviw of the hymenopteran fauna of New Caldonia with a checklist of species. *Zootaxa* 3736, 1–53.
- Kawahara, A.Y. et al. (2021) Opinion: Eight simple actions that individuals can take to save insects from global declines. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 118, e200254711
- Kamenova, S., Bartley, T.J., Bohan, D., Boutain, J.R., Colautti, R.I., Domaizon, I., Fontaine, C., Lemainque, A., Le Viol, I., Mollot, G., Perga, M.-E., Ravigné, V., Massol, F., 2017. *Invasions Toolkit: Current Methods for Tracking the Spread and Impact of Invasive Species*, 1st ed, Networks of Invasion. Elsevier Ltd. *Adv. in Ecol. Research.*
- Kenis, M., Auger-Rozenberg, M.A., Roques, A., Timms, L., Péré, C., Cock, M.J.W., Settele, J., Augustin, S., Lopez-Vaamonde, C., 2009. Ecological effects of invasive alien insects. *Biol. Invasions* 11, 21–45.
- Khalifa, S.A.M., Elshafiey, E.H., Shetaia, A.A., El-Wahed, A.A.A., Algethami, A.F., Musharraf, S.G., Alajmi, M.F., Zhao, C., Masry, S.H.D., Abdel-Daim, M.M., Halabi, M.F., Kai, G., Al Naggar, Y., Bishr, M., Diab, M.A.M., El-Seedi, H.R., 2021. Overview of bee pollination and its economic value for crop production. *Insects* 12, 1–23.
- Knight, A.T., 2009. Is Conservation Biology Ready to Fail? *Conserv. Biol.* 23, 516–517.
- König, C., Weigelt, P., Taylor, A., Stein, A., Dawson, W., Essl, F., et al. (2020). Source pools and disharmony of the world's island floras. *Ecography.* 44, 44–55.
- Kovács-Hostyánszki, A., Espíndola, A., Vanbergen, A.J., Settele, J., Kremen, C., Dicks, L. V., 2017. Ecological intensification to mitigate impacts of conventional intensive land use on pollinators and pollination. *Ecol. Lett.* 20, 673–689.
- Kovács, T., 2015. *Megachile sculpturalis* Smith, 1853 in Hungary (Hymenoptera, Megachilidae). *Folio Hist. Musei Matraensis* 73–76.
- Kremen, C., Williams, N.M., Aizen, M.A., Gemmill-Herren, B., LeBuhn, G., Minckley, R., Packer, L., Potts, S.G., Roulston, T., Steffan-Dewenter, I., Vázquez, D.P., Winfree, R., Adams, L., Crone, E.E., Greenleaf, S.S., Keitt, T.H., Klein, A.M., Regetz, J., Ricketts, T.H., 2007. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: A conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecol. Lett.* 10, 299–314.
- Kremen, C., 2018. The value of pollinator species diversity. *Science* (80). 359, 741–742.
- Kuhlmann, M., 2015. Expertise in decline. *Nature* 521.
- Lanner, J., Huchler, K., Pachinger, B., Sedivy, C., Meimberg, H., 2020a. Dispersal patterns of an introduced wild bee, *Megachile sculpturalis* Smith, 1853 (Hymenoptera: Megachilidae) in European alpine countries. *PLoS One* 15, 1–23.
- Lanner, J., P. Meyer, F. Harmetky, H. Meimberg, Pachinger B., 2020b. Die Asiatische Mörtelbiene (Hymenoptera: *Megachile sculpturalis* SMITH, 1853) – eine neue Bienenart für Österreich. *Beiträge zur Entomofaunistik*, 21: 87–95
- Lanner, J., Gstötenmayer, F., Curto, M., Geslin, B., Huchler, K., Orr, M.C., Pachinger, B., Sedivy, C., Meimberg, H., 2021. Evidence for multiple introductions of an invasive wild bee species currently under rapid range expansion in Europe. *BMC Ecol. Evol.* 21, 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12862-020-01729-x>
- Lanner, J., Dubos, N., Geslin, B., Leroy, B., Hernández-Castellano, C., Dubaić, J.B., Bortolotti, L., Calafat, J.D., Četković, A., Flaminio, S., Le Féon, V., Margalef-Marrase, J., Orr, M., Pachinger, B., Ruzzier, E., Smagghe, G., Tuerlings, T., Vereecken, N., Meimberg, H., 2022. On the road: Anthropogenic factors drive the invasion risk of a wild solitary bee species. *Sci. Total Environ.* 827. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154246>
- Lanner, J., 2022. Investigations on colonization pathways and ecological factors promoting the invasion of the Asian wild bee species, *Megachile sculpturalis*, in Europe. 258p.
- Laport, R.G., Minckley, R.L., 2012. Occupation of active *xylocopa virginica* nests by the recently invasive *megachile sculpturalis* in upstate New York. *J. Kansas Entomol. Soc.* 85, 384–386.
- Lair, X., Ropars, L., Skevington, J.H., Kelso, S., Geslin, B., Minssieux, E., Nève, G., 2022. Revision of the genus *Pelecocera* Meigen, 1822 (Diptera: Syrphidae) from France: taxonomy, ecology and distribution. *Zootaxa* 5141, 1–24. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.5141.1.1>

- Lecroy, K.A., Burke, G.S., Carr, D.E., Delaney, D.A., 2020. Decline of six native mason bee species following the arrival of an exotic congener. *Sci. Rep.* 1–9.
- Le Divelec, R. & M. Aubert, 2020. Premières données sur *Osmia (Pyrosmia) nana* Morawitz 1874 (Apoidea - Megachilidae - Osmiini) en France métropolitaine. *Osmia*, 8: 82-86.
- Le Divelec R., Semal L., Szuba M. & Rome Q., 2022. – Sur la présence de *Xylocopa (Koptortosoma) pubescens* Spinola, 1838, en France métropolitaine (Hymenoptera, Apidae). *Bulletin de la Société entomologique de France*, 127 (2) : 205-212
- Lefebvre, V., Daugeron, C., Villemant, C., Fontaine, C., 2019. Empidine dance flies pollinate the woodland geranium as effectively as bees. *Biol. Lett.* 15.
- Le Féon, V., 2010. Insectes pollinisateurs dans les paysages agricoles : approche pluri-échelle du rôle des pratiques agricoles et des cultures entomophiles 1–257.
- Le Féon, V., Geslin, B., Al Hassan, D., Aviron, S., Dufrêne, É., Genoud, D., Guilbaud, L., Guilloux, T., Houédry, L., Jégat, R., Mahé, G., Paris, D., Requier, F., Vaissière, B., 2016. Connaissances sur les abeilles sauvages (Hymenoptera, Apoidea) dans le Massif armoricain : recensement des publications existantes et restitution des données de distribution apportées par trois programmes de recherche depuis 2000. *Invertébrés Armor.* 14, 31–51.
- Le Féon, V., Aubert, M., Genoud, D., Andrieu-Ponel, V., Westrich, P., Geslin, B., 2018. Range expansion of the Asian native giant resin bee *Megachile sculpturalis* (Hymenoptera, Apoidea, Megachilidae) in France. *Ecol. Evol.* 8. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ece3.3758/full>
- Le Féon, V., Geslin, B., 2018. Écologie et distribution de l'abeille originaire d'Asie *Megachile sculpturalis* Smith 1853 (Apoidea - Megachilidae - Megachilini) : un état des connaissances dix ans après sa première observation en Europe. *Osmia* 7, 31–39. <https://doi.org/10.47446/OSMIA7.6>
- Le Féon, V., Genoud, D., Geslin, B., 2021. Actualisation des connaissances sur l'abeille *Megachile sculpturalis* SMITH, 1853 en France et en Europe (Hymenoptera : Megachilidae). *Osmia* 9, 25–36. <https://doi.org/10.47446/OSMIA9.4>
- Lhomme, P., Michez, D., Christmann, S., Scheuchl, E., Abdouni, I. El, Hamroud, L., Ihsane, O., Sentil, A., Smaili, M.C., Schwarz, M., Dathe, H.H., Straka, J., Pauly, A., Schmid-Egger, C., Patiny, S., Terzo, M., Müller, A., Praz, C., Risch, S., Kasperek, M., Kuhlmann, M., Wood, T.J., Bogusch, P., Ascher, J.S., Rasmont, P., 2020. The wild bees (Hymenoptera: Apoidea) of Morocco, *Zootaxa*.
- Lowenstein, D.M., Matteson, K.C., Minor, E.S., 2019. Evaluating the dependence of urban pollinators on ornamental, non-native, and 'weedy' floral resources. *Urban Ecosyst.* 22, 293–302.
- Lu, D., Weng, Q., 2006. Use of impervious surface in urban land-use classification. *Remote Sens. Environ.* 102, 146–160.
- Maclvor, J.S., Packer, L., 2015. "Bee hotels" as tools for native pollinator conservation: A premature verdict? *PLoS One* 10, 1–13.
- Mallinger, R.E., Gibbs, J., Gratton, C., 2016. Diverse landscapes have a higher abundance and species richness of spring wild bees by providing complementary floral resources over bees' foraging periods. *Landsc. Ecol.* 31, 1523–1535.
- Mangum, W. A., & Brooks, R. W. 1997. First records of *Megachile (Callomegachile) sculpturalis* Smith (Hymenoptera: Megachilidae) in the continental United States. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 70, 140–142.
- Marini, L., Bartomeus, I., Rader, R., Lami, F., 2019. Species–habitat networks: A tool to improve landscape management for conservation. *J. Appl. Ecol.* 56, 923–928.
- Martin, A.E., Collins, S.J., Crowe, S., Girard, J., Naujokaitis-Lewis, I., Smith, A.C., Lindsay, K., Mitchell, S., Fahrig, L., 2020. Effects of farmland heterogeneity on biodiversity are similar to—or even larger than—the effects of farming practices. *Agric. Ecosyst. Environ.* 288, 106698.
- Mayer C, Adler L, Armbruster WS, Dafni A, Eardley C, Kevan PG et al. 2011. Pollination ecology in the 21 st century: key questions for future research. *Journal of Pollination Ecology*, 3,8–23
- McCann, K., 2007. Protecting biostructure. *Nature* 446, 29.
- McIntyre NE, Hostetler ME. 2001.Effects of urban land use on pollinator communities in a desert metropolis. *Basic Appl Ecol* 2:209–218
- Mclaughlin, G., Praz, C., Gueuning, M., Genoud, D., Frey, J.E., 2022. Why are there so many species of mining bees (Hymenoptera , Andrenidae )? The possible roles of phenology and *Wolbachia* incompatibility in maintaining species boundaries in the *Andrena proxima* -complex. *Syst. Entom.*
- Meindl, G.A., Bain, D.J., Ashman, T.L., 2013. Edaphic factors and plant-insect interactions: Direct and indirect effects of serpentine soil on florivores and pollinators. *Oecologia* 173, 1355–1366.

- Meindl, G.A., Ashman, T.L. 2014. Nickel accumulation by *Streptanthus polygaloides* (Brassicaceae) reduces floral visitation rate. *J Chem Ecol* 40, 128–135 (2014).
- Michalet, R., Delerue, F., Liancourt, P., Pugnaire, F.I. Are complementarity effects of species richness on productivity the strongest in species-rich communities? *J Ecol.* 2021; 109: 2038–2046.
- Michener, C. D. 2007. The bees of the world. John Hopkins Univ. Press, Baltimore & London.
- Michez, D., Vanderplanck, M., Engel, M.S., 2011. Fossil bees and their plant associates, The Systematics Association Special Volume 81: Evolution of Plant-Pollinator Relationships.
- Morales, C.L., Arbetman, M.P., Cameron, S.A., Aizen, M.A., 2013. Rapid ecological replacement of a native bumble bee by invasive species. *Front. Ecol. Environ.* 11 (10), 529–534
- Montalva, J., Dudley, L., Arroyo, M. T. K., Retamales, H., & Abrahamovich, A. H. 2011. Geographic distribution and associated flora of native and introduced bumble bees (*Bombus spp.*) in Chile. *Journal of Apicultural Research*, 50, 11–21
- Morandin, L.A., Kremen, C., 2013. Bee Preference for Native versus Exotic Plants in Restored Agricultural Hedgerows. *Restor. Ecol.* 21, 26–32.
- Motta, E.V.S., Raymann, K., Moran, N.A., 2018. Glyphosate perturbs the gut microbiota of honey bees. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 115, 10305–10310.
- Nicholson, C.C., Ricketts, T.H., Koh, I., Smith, H.G., Lonsdorf, E. V., Olsson, O., 2019. Flowering resources distract pollinators from crops: Model predictions from landscape simulations. *J. Appl. Ecol.* 56, 618–628.
- Nielsen, A., Steffan-Dewenter, I., Westphal, C., Messinger, O., Potts, S.G., Roberts, S.P.M., Settele, J., Szentgyörgyi, H., Vaissière, B.E., Vaitis, M., Woyciechowski, M., Bazos, I., Biesmeijer, J.C., Bommarco, R., Kunin, W.E., Tscheulin, T., Lamborn, E., Petanidou, T., 2011. Assessing bee species richness in two Mediterranean communities: Importance of habitat type and sampling techniques. *Ecol. Res.* 26, 969–983.
- Nieto, A., Roberts, S.P.M., Kemp, J., Rasmont, P., Kuhlmann, M., García Criado, M., Biesmeijer, J.C., Bogusch, P., Dathe, H.H., De la Rúa, P., De Meulemeester, T., Dehon, M., Dewulf, A., Ortiz-Sánchez, F.J., Lhomme, P., Pauly, A., Potts, S.G., Praz, C., Quaranta, M., Radchenko, V.G., Scheuchl, E., Smit, J., Straka, J., Terzo, M., T., Omozii, B., Window, J., Michez, D., 2014. European Red List of bees | IUCN, Luxembourg: Publication Office of the European Union.
- Ollerton, J., Winfree, R., Tarrant, S., 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos* 120, 321–326.
- Ollerton, J., Price, V., Armbruster, W.S., Memmott, J., Watts, S., Waser, N.M., Totland, Ø., Goulson, D., Alarcón, R., Stout, J.C., Tarrant, S., 2012. Overplaying the role of honey bees as pollinators: A comment on Aebi and Neumann (2011). *Trends Ecol. Evol.* 27, 141–142.
- Ollerton, J., 2017. Pollinator Diversity: Distribution, Ecological Function, and Conservation. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 48, 353–376.
- Ollerton, J., 2021. Pollinators and Pollination: Nature and Society. Pelagic Publishing Ltd.
- Orford, K.A., Vaughan, I.P., Memmott, J., 2015. The forgotten flies: The importance of non-syrphid Diptera as pollinators. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 282.
- Ortiz-Sánchez, F.J., Navarro, J.F., Taeger, U., 2018. *Megachile (Callomegachile) sculpturalis* Smith, 1853, nueva especie para la fauna Ibérica (Hymenoptera, Megachilidae). *Bol. Soc. Entomol. Aragon.* 63, 259–261.
- Ortiz-Sánchez, F.J., 2020. Checklist de Fauna Ibérica. Serie Anthophila (Insecta : Hymenoptera : Apoidea) en la península ibérica e islas Baleares (edición 2020). *Doc. Fauna Ibérica*, 14, 83.
- Osterman, J., Aizen, M.A., Biesmeijer, J.C., Bosch, J., Howlett, B.G., Inouye, D.W., Jung, C., Martins, D.J., Medel, R., Pauw, A., Seymour, C.L., Paxton, R.J., 2021. Global trends in the number and diversity of managed pollinator species. *Agric. Ecosyst. Environ.* 322, 107653.
- Otto, C.R.V., Roth, C.L., Carlson, B.L., Smart, M.D., 2016. Land-use change reduces habitat suitability for supporting managed honey bee colonies in the Northern Great Plains. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 113, 10430–10435.
- Page, M.L., Nicholson, C.C., Brennan, R.M., Britzman, A.T., Greer, J., Hemberger, J., Kahl, H., Müller, U., Peng, Y., Rosenberger, N.M., Stuligross, C., Wang, L., Yang, L.H., Williams, N.M., 2021. A meta-analysis of single visit pollination effectiveness comparing honeybees and other floral visitors. *Am. J. Bot.* 108, 2196–2207.
- Park, M.G., Raguso, R.A., Losey, J.E., Danforth, B.N., 2016. Per-visit pollinator performance and regional importance of wild *Bombus* and *Andrena* (*Melandrena*) compared to the managed honey bee in New York apple orchards. *Apidologie* 47, 145–160.
- Pauly, A., Munzinger, J., 2003. Contribution à la connaissance des Hymenoptera Apoidea de Nouvelle-Calédonie et de leurs relations avec la flore butinée. *Ann. la Soc. Entomol. Fr.* 39, 153–166.

- Pauly, A., Walker, K., Munzinger, J., Donovan, B., 2013. Endémisme insulaire et cleptoparasitisme chez les *Lasioglossum* Curtis 1833 (Hymenoptera: Apoidea: Halictidae) de Nouvelle-Calédonie. *Ann. la Soc. Entomol. Fr.* 49, 127–153.
- Pauly, A., Donovan, B., Muzinger, J., 2015. Les abeilles du genre *Homalictus* Cockerell, 1919 en Nouvelle-Calédonie (Hymenoptera: Apoidea: Halictidae). *Belgian J. Entomol.* 34, 1–30.
- Pauw, A. (2007). Collapse of a pollination web in small conservation areas. *Ecol.* 88, 1759-1769.
- Pitts-Singer, T.L., Cane, J.H., 2011. The Alfalfa Leafcutting Bee, *Megachile rotundata*: The World's Most Intensively Managed Solitary Bee. *Annu. Rev. Entomol.* Vol 56 56, 221–237.
- Poinar GO, Danforth BN. 2006. A fossil bee from Early Cretaceous Burmese amber. *Science* 314:614
- Poisot, T., Stouffer, D.B. & Kéfi, S. (2016). Describe, understand and predict: why do we need networks in ecology? *Functional Ecology* 30, 1878–1882
- Potts, S.G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H.T., Biesmeijer, J.C., Breeze, T.D., Dicks, L. V., Garibaldi, L.A., Hill, R., Settele, J., Vanbergen, A.J., 2016. Résumé à l'intention des décideurs du rapport d'évaluation de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques concernant les pollinisateurs, la pollinisation et la production alimentaire. IPBES.
- Poulsen, N.R., Rasmussen, C., 2020. Island bees: do wood nesting bees have better island dispersal abilities? *Apidologie* 51, 1006–1017.
- Prado, A., Barret, M., Vaissière, B.E., Torres-Cortes, G., 2022. Honey bees change the microbiota of pollen. *bioRxiv* 2022.02.21.481367.
- Praz, C., Müller, A., Genoud, D., 2019. Hidden diversity in European bees: *Andrena amieti* sp. n., a new Alpine bee species related to *Andrena bicolor* (Fabricius, 1775) (Hymenoptera, Apoidea, Andrenidae). *Alp. Entomol.* 3, 11–38.
- Prendergast, K.S., Ollerton, J., 2022. Impacts of the introduced European honeybee on Australian bee-flower network properties in urban bushland remnants and residential gardens. *Austral Ecol.* 47, 35–53.
- Quaranta, M., Sommaruga, A., Balzarini, P., Felicioli, A., 2014. A new species for the bee fauna of Italy: *Megachile sculpturalis* continues its colonization of Europe. *Bull. Insectology* 67, 287–293.
- Rader, R., Howlett, B.G., Cunningham, S.A., Westcott, D.A., Newstrom-Lloyd, L.E., Walker, M.K., Teulon, D.A.J., Edwards, W., 2009. Alternative pollinator taxa are equally efficient but not as effective as the honeybee in a mass flowering crop. *J. Appl. Ecol.* 46, 1080–1087.
- Rader, R., Bartomeus, I., Garibaldi, L.A., Garratt, M.P.D., Howlett, B.G., Winfree, R., Cunningham, S.A., Mayfield, M.M., Arthur, A.D., Andersson, G.K.S., Bommarco, R., Brittain, C., Carvalheiro, L.G., Chacoff, N.P., Entling, M.H., Foully, B., Freitas, B.M., Gemmill-Herren, B., Ghazoul, J., Griffin, S.R., Gross, C.L., Herbertsson, L., Herzog, F., Hipólito, J., Jaggar, S., Jauker, F., Klein, A.M., Kleijn, D., Krishnan, S., Lemos, C.Q., Lindström, S.A.M., Mandelik, Y., Monteiro, V.M., Nelson, W., Nilsson, L., Pattemore, D.E., Pereira, N.D.O., Pisanty, G., Potts, S.G., Reemer, M., Rundlöf, M., Sheffield, C.S., Scheper, J., Schüepp, C., Smith, H.G., Stanley, D.A., Stout, J.C., Szentgyörgyi, H., Taki, H., Vergara, C.H., Viana, B.F., Woyciechowski, M., 2016. Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 113, 146–151.
- Ramirez, N., Brito, Y., 1992. Pollination biology in a palm swamp community in the Venezuelan central plains. *Bot. J. Linn. Soc.* 110, 277–302
- Ramírez, F., Davenport, T.L., 2013. Apple pollination: A review. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 162, 188–203.
- Rankovic, A. 2016. Living the street life : long-term carbon and nitrogen dynamics in parisian soil-tree systems. *Ecology, environment.* Université Pierre et Marie Curie - Paris VI.
- Rankovic, A., Geslin, B., Perrard, A., Barbillon, A., Vaury, V., Abbadie, L., Dajoz, I., 2020. Urbanization effects on wild bee carbon and nitrogen stable isotope ratios in the Paris region. *Acta Oecologica* 105. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103545>
- Rasmont P., Ebmer A., Banaszak J. & Van Der Zanden G. (1995) Hymenoptera Apoidea Gallica - Liste taxonomique des abeilles de France, de Belgique, de Suisse et du Grand-Duché de Luxembourg. *Bulletin de la Société Entomologique de France*, 100, 1-98
- Rasmont, P., Genoud, D., Gadoum, S., Aubert, M., Dufrène, E., Le Goff, G., Mahé, G., Michez, D., Pauly, A., 2017. Hymenoptera Apoidea Gallica : liste des abeilles sauvages de Belgique, France, Luxembourg et Suisse.
- Raven, P.H., Miller, S.E., 2020. Here today, gone tomorrow. *Science.* 370, 149.
- Rega-Brodsky, C.C., Aronson, M.F.J., Piana, M.R., Carpenter, E.S., Hahs, A.K., Herrera-Montes, A., Knapp, S., Kotze, D.J., Lepczyk, C.A., Moretti, M., Salisbury, A.B., Williams, N.S.G., Jung, K., Katti, M., MacGregor-Fors, I., MacIvor, J.S., La Sorte, F.A., Sheel, V., Threfall, C.G., Nilon, C.H., 2022. Urban biodiversity: State of the science and future directions. *Urban Ecosyst.*

- Renner, S.S., Graf, M.S., Hentschel, Z., Krause, H., Fleischmann, A., 2021. High honeybee abundances reduce wild bee abundances on flowers in the city of Munich. *Oecologia* 195, 825–831.
- Requier, F., Le Féon, V., 2016. Abeilles et agriculture. *Openfield* 1–14.
- Requier, F., Pérez-Méndez, N., Andersson, G.K.S., Blareau, E., Merle, I., Garibaldi, L.A., 2022. Bee and non-bee pollinator importance for local food security. *Trends Ecol. Evol.* 1–10.
- Ricketts, T.H., Regetz, J., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C., Bogdanski, A., Gemmill-Herren, B., Greenleaf, S.S., Klein, A.M., Mayfield, M.M., Morandin, L.A., Ochieng', A., Viana, B.F., 2008. Landscape effects on crop pollination services: Are there general patterns? *Ecol. Lett.* 11, 499–515.
- Ropars, L., Dajoz, I., Geslin, B., 2017. La ville un désert pour les abeilles sauvages ? *J. la Société Bot. Fr.* 79, 29–35.
- Ropars, L., Dajoz, I., Geslin, B., 2018. La diversité des abeilles parisiennes. *Osmia* 7, 14–19. <https://doi.org/10.47446/OSMIA7.3>
- Ropars, L., Dajoz, I., Fontaine, C., Muratet, A., Geslin, B., 2019. Wild pollinator activity negatively related to honey bee colony densities in urban context. *PLoS One* 14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222316>
- Ropars, L., 2020. Les communautés d'abeilles sauvages dans les habitats protégés méditerranéens : diversité, interactions et co-occurrence avec l'abeille domestique. Aix Marseille University. Thèse de doctorat, 234pp
- Ropars, L., Affre, L., Aubert, M., Fernandez, C., Flacher, F., Genoud, D., Guitier, F., Jaworski, C., Lair, X., Mutillod, C., Nève, G., Schurr, L., Geslin, B., 2020a. Pollinator Specific Richness and Their Interactions With Local Plant Species: 10 Years of Sampling in Mediterranean Habitats. *Environ. Entomol.* 49, 947–955. <https://doi.org/10.1093/ee/nvaa061>
- Ropars, L., Affre, L., Schurr, L., Flacher, F., Genoud, D., Mutillod, C., Geslin, B., 2020b. Land cover composition, local plant community composition and honeybee colony density affect wild bee species assemblages in a Mediterranean biodiversity hot-spot. *Acta Oecologica* 104. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103546>
- Ropars, L., Affre, L., Geslin, B., 2021. Morphometric identification of honey bee subspecies reveals a high proportion of hybrids within a Mediterranean protected area. *J. Apic. Res.* 60, 871–874. <https://doi.org/10.1080/00218839.2021.1950973>
- Ropars, L., Affre, L., Thébault, É., Geslin, B., 2022. Seasonal dynamics of competition between honey bees and wild bees in a protected Mediterranean scrubland. *Oikos* 2022, 1–12. <https://doi.org/10.1111/oik.08915>
- Roulston, T., Malfi, R., 2012. Aggressive Eviction of the Eastern Carpenter Bee (*Xylocopa virginica* (Linnaeus)) from its Nest by the Giant Resin Bee (*Megachile sculpturalis* Smith). *J. Kansas Entomol. Soc.* 85, 387–388.
- Russo, L., 2016. Positive and negative impacts of non-native bee species around the world. *Insects* 7.
- Russo, L., de Keyzer, C.W., Harmon-Threatt, A.N., LeCroy, K.A., MacIvor, J.S., 2021. The managed-to-invasive species continuum in social and solitary bees and impacts on native bee conservation. *Curr. Opin. Insect Sci.* 46, 43–49.
- Rutschmann B, Kohl PL, Machado A, Steffan-Dewenter I. 2022. Semi-natural habitats promote winter survival of wild-living honeybees in an agricultural landscape. *Biol Conserv* 266:109450.
- Sapir, G., Baras, Z., Azmon, G., Goldway, M., Shafir, S., Allouche, A., Stern, E., Stern, R.A., 2017. Synergistic effects between bumblebees and honey bees in apple orchards increase cross pollination, seed number and fruit size. *Sci. Hortic.* 219, 107–117.
- Saure, C., 1996. Urban habitats for bees : the example of the city of Berlin. *The Conservation of Bees.* 254pp.
- Sayers, T.D.J., Steinbauer, M.J., Miller, R.E., 2019. Visitor or vector? The extent of rove beetle (Coleoptera: Staphylinidae) pollination and floral interactions. *Arthropod. Plant. Interact.* 13, 685–701.
- Schatz, B., Drossart, M., Henry, M., Geslin, B., Allier, F., Savajol, C., Gérard, M., Michez, D., 2021. Pollinator conservation in the context of global changes with a focus on France and Belgium. *Acta Oecologica* 112. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2021.103765>
- Schurr, L., Geslin, B., Affre, L., Gachet, S., Delobea, M., Brugger, M., Bourdon, S., Masotti, V., 2021. Landscape and local drivers affecting flying insects along fennel crops (*Foeniculum vulgare*, apiaceae) and implications for its yield. *Insects* 12. <https://www.mdpi.com/2075-4450/12/5/404#>
- Schurr, L., Masotti, V., Geslin, B., Gachet, S., Mahé, P., Jeannerod, L., Affre, L., 2022. To what extent is fennel crop dependent on insect pollination? *Agric. Ecosyst. Environ.* 338, 108047. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108047>
- Schurr, L., 2022. Interactions entre insectes floricoles et cultures de fenouil aromatique (*Foeniculum vulgare*) : influences des variables locales et paysagères et implications pour la production d'anéthole. Thèse de doctorat. Aix Marseille University. 291pp.
- Seibold, S., Cadotte, M.W., MacIvor, J.S., Thorn, S., Müller, J., 2018. The Necessity of Multitrophic Approaches in Community Ecology. *Trends Ecol. Evol.* 33, 754–764.

- Seibold, S., Gossner, M.M., Simons, N.K., Blüthgen, N., Müller, J., Ambarlı, D., Ammer, C., Bauhus, J., Fischer, M., Habel, J.C., Linsenmair, K.E., Nauss, T., Penone, C., Prati, D., Schall, P., Schulze, E.D., Vogt, J., Wöllauer, S., Weisser, W.W., 2019. Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers. *Nature* 574, 671–674.
- Senapathi, D., Goddard, M.A., Kunin, W.E., Baldock, K.C.R., 2017. Landscape impacts on pollinator communities in temperate systems: evidence and knowledge gaps. *Funct. Ecol.* 31, 26–37. <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.0212>
- Senapathi, D., Fründ, J., Albrecht, M., Garratt, M.P.D., Kleijn, D., Pickles, B.J., Potts, S.G., An, J., Andersson, G.K.S., Bänisch, S., Basu, P., Benjamin, F., Bezerra, A.D.M., Bhattacharya, R., Biesmeijer, J.C., Blaauw, B., Blitzler, E.J., Brittain, C.A., Carvalheiro, L.G., Cariveau, D.P., Chakraborty, P., Chatterjee, A., Chatterjee, S., Cusser, S., Danforth, B.N., Degani, E., Freitas, B.M., Garibaldi, L.A., Geslin, B., De Groot, G.A., Harrison, T., Howlett, B., Isaacs, R., Jha, S., Klatt, B.K., Krewenka, K., Leigh, S., Lindström, S.A.M., Mandelik, Y., Mc Kerchar, M., Park, M., Pisanty, G., Rader, R., Reemer, M., Rundlöf, M., Smith, B., Smith, H.G., Silva, P.N., Steffan-Dewenter, I., Tscharrntke, T., Webber, S., Westbury, D.B., Westphal, C., Wickens, J.B., Wickens, V.J., Winfree, R., Zhang, H., Klein, A.M., 2021. Wild insect diversity increases inter-annual stability in global crop pollinator communities. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 288. <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.0212>
- Seto, K. C., B. Guneralp, and L. R. Hutyra. 2012. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109:16083-16088
- Skaldina, O., 2020. Insects associated with sweet fennel: beneficial visitors attracted by a generalist plant. *Arthropod. Plant. Interact.* 14, 399–407.
- Smith, M.R., Singh, G.M., Mozaffarian, D., Myers, S.S., 2015. Effects of decreases of animal pollinators on human nutrition and global health: A modelling analysis. *Lancet* 386, 1964–1972.
- Soulé, M.E., 1985. What is Conservation Biology? *Bioscience* 35, 727–734.
- Staab, M., Pereira-Peixoto, M.H., Klein, A.M., 2020. Exotic garden plants partly substitute for native plants as resources for pollinators when native plants become seasonally scarce. *Oecologia* 194, 465–480.
- Stange, E., 2020. Optimizing urban beekeeping 331–352. BDS Publishing. Book Chapter.
- Sumner, S., Law, G., Cini, A., 2018. Why we love bees and hate wasps. *Ecol. Entomol.* 43, 836–845.
- Sutherland, W.J., Broad, S., Caine, J., Clout, M., Dicks, L. V., Doran, H., Entwistle, A.C., Fleishman, E., Gibbons, D.W., Keim, B., LeAnstey, B., Lickorish, F.A., Markillie, P., Monk, K.A., Mortimer, D., Ockendon, N., Pearce-Higgins, J.W., Peck, L.S., Pretty, J., Rockström, J., Spalding, M.D., Tonneijck, F.H., Wintle, B.C., Wright, K.E., 2016. A Horizon Scan of Global Conservation Issues for 2016. *Trends Ecol. Evol.* 31, 44–53.
- Sutherland, W.J., Pullin, A.S., Dolman, P.M., Knight, T.M., 2004. The need for evidence-based conservation. *Trends Ecol. Evol.* 19, 305–308.
- Takeda, K., Sakai, S., 2022. Idea paper: Extended benefits of pollinator-mediated microbial dispersal among flowers. *Ecol. Res.*
- Thébault, E., Fontaine, C., 2010. Stability of ecological communities and the architecture of mutualistic and trophic networks. *Science* (80). 329, 853–856.
- Terret, P., Malécot, D., Genoud, D., Dufrêne, É., Aubert, M., Cretin, J.-Y., 2020. Liste préliminaire des abeilles de l'ancienne région Franche-Comté (Hymenoptera, Anthophila). *Osmia* 8, 11–30.
- Theodorou, P., Albig, K., Radzevičiūtė, R., Settele, J., Schweiger, O., Murray, T.E., Paxton, R.J., 2017. The structure of flower visitor networks in relation to pollination across an agricultural to urban gradient. *Funct. Ecol.* 31, 838–847.
- Theodorou, P., Radzevičiūtė, R., Lentendu, G., Kahnt, B., Husemann, M., Bleidorn, C., Settele, J., Schweiger, O., Grosse, I., Wubet, T., Murray, T.E., Paxton, R.J., 2020. Urban areas as hotspots for bees and pollination but not a panacea for all insects. *Nat. Commun.* 11, 1–13.
- Tilman, D., Wedin, D. & Knops, J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature* 379, 718–720 (1996).
- Toni H.C., Djossa BA, Anatole M, Ayenan T., 2020. Tomato (*Solanum lycopersicum*) pollinators and their effect on fruit set and quality. *J Hortic Sci Biotechnol* 1–13.
- Tylianakis, J.M., Laliberté, E., Nielsen, A., Bascompte, J., 2010. Conservation of species interaction networks. *Biol. Conserv.* 143, 2270–2279.
- Valdovinos, F.S., 2019. Mutualistic networks: moving closer to a predictive theory. *Ecol. Lett.* 22, 1517–1534.
- Vanbergen, A.J., Woodcock, B.A., Heard, M.S., Chapman, D.S., 2017. Network size, structure and mutualism dependence affect the propensity for plant–pollinator extinction cascades. *Funct. Ecol.* 31, 1285–1293.

- Varnava, A.I., Roberts, S.P.M., Michez, D., Ascher, J.S., Petanidou, T., Dimitriou, S., Devalez, J., Pittara, M., Stavrinos, M.C., 2020. The wild bees (Hymenoptera, apoidea) of the island of cyprus. *Zookeys* 2020, 1–114.
- Vereecken, P.N.J., Barbier, E., 2009. Premières données sur la présence de l'abeille asiatique *Megachile (Callomegachile) sculpturalis* Smith (Hymenoptera, Megachilidae) en Europe. *Osmia* 3, 4–6. <https://doi.org/10.47446/OSMIA3.3>
- Vereecken, N.J., 2018. Wallace's Giant Bee for sale: implications for trade regulation and conservation. *J. Insect Conserv.* 22, 807–811.
- Villalta, I., Ledet, R., Baude, M., Genoud, D., Bouget, C., Cornillon, M., Moreau, S., Courtial, B., Lopez-Vaamonde, C., 2021. A DNA barcode-based survey of wild urban bees in the Loire Valley, France. *Sci. Rep.* 11, 1–10.
- von Königslöw, V., Klein, A.M., Staab, M., Pufal, G., 2019. Benchmarking nesting aids for cavity-nesting bees and wasps. *Biodivers. Conserv.* 28, 3831–3849.
- Wagner, D.L., 2020. Insect declines in the anthropocene. *Annu. Rev. Entomol.* 65, 457–480.
- Wanger, T.C., Dennig, F., Toledo-Hernández, M., Tschardt, T., Lambin, E.F., 2021. Cocoa pollination, biodiversity-friendly production, and the global market. *arXiv e-prints arXiv:2112.02877*.
- Westphal, C., Bommarco, R., Carré, G., Lamborn, E., Morison, N., Petanidou, T., Potts, S.G., Roberts, S.P.M., Szentgyörgyi, H., Tschudin, T., Vaissière, B.E., Woyciechowski, M., Biesmeuer, J.C., Kunin, W.E., Settele, J., Steffan-Dewenter, I., 2008. Measuring bee diversity in different European habitats and biogeographical regions. *Ecol. Monogr.* 78, 653–671.
- Westreich, L., 2020. "Bee-washing" hurts bees and misleads consumers. *Conversat.* 19 février 2020.
- Westrich, P., Knapp, A., & Berney, I. 2015. *Megachile sculpturalis* Smith 1853 (Hymenoptera, Apidae), a new species for the bee fauna of Germany, now north of the Alps. *Eucera*, 9, 3–10.
- Westrich, P. 2017. Faszination Wildbienen, Forschungsprojekte: *Megachile sculpturalis*. *wildbienen.info*. [https://www.wildbienen.info/forschung/projekte\\_17.php](https://www.wildbienen.info/forschung/projekte_17.php)
- Widory, D., 2007. Nitrogen isotopes: Tracers of origin and processes affecting PM10 in the atmosphere of Paris. *Atmos. Environ.* 41, 2382–2390.
- Wietzke, A., Westphal, C., Gras, P., Kraft, M., Pfohl, K., Karlovsky, P., Pawelzik, E., Tschardt, T., Smit, I., 2018. Insect pollination as a key factor for strawberry physiology and marketable fruit quality. *Agric. Ecosyst. Environ.* 258, 197–204.
- Willmer, P.G., Cunnold, H., Ballantyne, G., 2017. Insights from measuring pollen deposition: quantifying the pre-eminence of bees as flower visitors and effective pollinators. *Arthropod. Plant. Interact.* 11, 411–425.
- Winfrey, R., Reilly, J.R., Bartomeus, I., Cariveau, D.P., Williams, N.M., Gibbs, J., 2018. Species turnover promotes the importance of bee diversity for crop pollination at regional scales. *Science* (80). 359, 791–793.
- Withfield, J., 2002. Neutrality versus the niche. *Nature* 417, 480–481
- Whittaker, R. H. 1970. *Communities and ecosystems*. Communities and ecosystem book, Macmillan; 2nd edition 385 pp.
- Whittaker, R. J., Fernández-Palacios, J. M., Matthews, T. J., Borregaard, M. K., and Triantis, K. A. 2017. Island biogeography: taking the long view of nature's laboratories. *Science* 357
- Wojcik VA, McBride JR. 2012. Common factors influence bee foraging in urban and wildland landscapes. *Urban Ecosyst* 15:581–598
- Yan, Z., Teng, M., He, W., Liu, A., Li, Y., Wang, P., 2019. Impervious surface area is a key predictor for urban plant diversity in a city undergone rapid urbanization. *Sci. Total Environ.* 650, 335–342.
- Zakardjian, M., Geslin, B., Mitran, V., Franquet, E., Jourdan, H., 2020. Effects of urbanization on plant-pollinator interactions in the tropics: An experimental approach using exotic plants. *Insects* 11, 1–16. <https://doi.org/10.3390/insects11110773>
- Zakardjian M, Jourdan H, Le Féon V. & B. Geslin. Assessing the impact of alien bees on native ones. 2022 *Promoting pollination and pollinators in farming* (ed. Emeritus Prof Peter Kevan and Dr Susan Willis Chan). Book chapter. Chapter 17 - Promoting pollination and pollinators in farming - BDS publishing – <https://doi.org/10.19103/AS.2022.0111.17>
- Zakardjian M., Mahé P., Jourdan H., & Geslin B., 2022a. soils select plant-pollinator interactions in New Caledonia. *Botany Letters, Submitted*.
- Zakardjian M., Jourdan H., Diagne C., Franquet E.: Geslin B. 2022b. Exobees, a database of non-eusocial alien bee species in the world. IUSI Congress, San Diego, USA, Poster.
- Zanette, L.R.S., Martins, R.P., Ribeiro, S.P., 2005. Effects of urbanization on Neotropical wasp and bee assemblages in a Brazilian metropolis. *Landsc. Urban Plan.* 71, 105–121.

- Zaninotto, V., Raynaud, X., Gendreau, E., Kraepiel, Y., Motard, E., Babiar, O., Hansart, A., Hignard, C., Dajoz, I., 2020. Broader phenology of pollinator activity and higher plant reproductive success in an urban habitat compared to a rural one. *Ecol. Evol.* 10, 11607–11621.
- Zaninotto, V., Dajoz, I., 2022. Keeping Up with Insect Pollinators in Paris. *Animals* 12, 1–13.
- Zattara, E.E., Aizen, M.A., 2021. Worldwide occurrence records suggest a global decline in bee species richness. *One Earth* 4, 114–123.

