



Projet de Recherche

PolLinéaire

**Potentiel des dépendances vertes d'infrastructures
linéaires de transport pour la préservation et la
dispersion des insectes pollinisateurs sauvages**

-

**Etude des communautés d'abeilles et de papillons dans des
emprises routières et de réseau électrique et dans leur
environnement proche**

Rapport final

Juin 2018



Contributeurs de Pollinéaire

Pollinéaire (**Potentiel des dépendances vertes pour la préservation et la dispersion des insectes pollinisateurs sauvages**) est un projet de recherche réalisé dans le cadre du programme ITTECOP (Infrastructures de transports terrestres, écosystèmes et paysages) du Ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES) et de l'Ademe (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie). Le projet Pollinéaire s'est déroulé d'octobre 2014 à septembre 2017 dans le cadre de l'appel à projets de recherche 2014. Il a fait l'objet d'une convention entre l'Inra et la Fondation pour la recherche sur la biodiversité (FRB).

Les établissements partenaires du projet Pollinéaire sont :

- **l'Inra** (Institut national de la recherche agronomique), à travers son Unité de recherche Abeilles & Environnement (UR 406), basée à Avignon ;
- **le Cerema** (Centre d'expertise pour les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement, à travers ses Directions territoriales Ouest (basée à Nantes) et Sud-ouest (basée à Bordeaux) ;
- **l'Ifsttar** (Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux), à travers son Laboratoire Environnement-Aménagement-Sécurité-Ecoconception, basé à Nantes.

L'équipe constituée pour la réalisation du projet Pollinéaire se compose de :

- **Violette Le Féon**^a, Post-doctorante recrutée par l'Inra pour le projet (de février 2015 à avril 2016), détachée à l'Ifsttar, Nantes ;
- **Bernard Vaissière**^a, Chargé de Recherche à l'Inra (UR 406)^a ;
- **Mickaël Henry**^a, Chargé de Recherche à l'Inra (UR 406)^a ;
- **Jean-François Bretau**^b, Technicien supérieur en chef au Cerema (DT Ouest)^b ;
- **Christophe Pineau**^c, Ingénieur des travaux publics de l'Etat, au Cerema (DT Ouest)^c ;
- **Eric Guinard**^d, Ingénieur des travaux publics de l'Etat, au Cerema (DT Sud-ouest)^d ;
- **Denis François**^e, Directeur de Recherche à l'Ifsttar (Laboratoire Ease)^e.

La coordination scientifique du projet a été assurée par D. François, avec l'appui de B. Vaissière.

Les coordonnées des membres de l'équipe sont:

^a INRA, UR 406 Abeilles & Environnement / UMR PrADE, Domaine Saint-Paul, Agroparc, CS 40509, 84914 Avignon cedex 9.

^b CEREMA, Direction territoriale Ouest, DIMER, MAN, 9 rue René Viviani, BP 46223, 44262 Nantes cedex 2.

^c CEREMA, Direction territoriale Ouest, DLRCA, 23 avenue de l'Amiral Chauvin, BP 20069, 49136 Les Ponts-de-Cé cedex.

^d CEREMA, Direction territoriale Sud-ouest, rue Pierre Ramond, CS 60013, 33165 Saint-Médard-en-Jalles cedex.

^e IFSTTAR, Centre de Nantes, Route de Bouaye, CS4, 44344 Bouguenais cedex.

Remerciements

Le programme de travail objet du présent rapport a pu être concrétisé grâce à la contribution de nombreuses personnes à différents stades.

Il s'agit des personnes chargées de la validation et du suivi administratifs du contrat PolLinéaire : Sylvie Modeste (Inra, Avignon), Christine Meresse (Inra, Sophia), Stéphanie Izard (coordinatrice administrative du projet, Inra, Avignon) et Assia Benguernane (Ifsttar, Marne-la-Vallée).

A l'Ifsttar, il s'agit aussi de Gaëlle Lebot et Séverine Bienassis qui ont permis d'adapter les conventions de stages et certaines conditions de travail aux nécessités des études de terrain, ainsi que de Pierre Hankach pour son aide en rendu cartographique et d'Olivier Bonin pour la mise à disposition des bases de données BD Forêts V1 et V2.

Il s'agit au Cerema (Direction territoriale Sud-ouest) de Patrick Pacevicius, qui a réalisé les recherches cartographiques de la phase initiale du projet pour les régions Aquitaine, Midi-Pyrénées, Limousin et Poitou-Charentes (régions Bretagne et Pays-de-la-Loire traitées par Jean-François Bretaud).

Il s'agit des trois stagiaires : Héloïse Blanchard (stage de Master 2 « Biodiversité, Ecologie, Environnement », Université Joseph Fourier, Grenoble, mars-août 2015), David Martinière (stage de Master 2 « Expertise Faune Flore, inventaires et indicateurs de biodiversité », Université Pierre-et-Marie-Curie, Paris VI, mars-août 2015), et Rina François (stage volontaire, Licence 2 « Biologie – Ecologie », Université de Nantes, juin-juillet 2015).

Concernant les études sur les dépendances vertes routières, il s'agit des personnes qui, dans les directions interdépartementales des routes (DIR), nous ont mis en contact avec les responsables locaux de l'entretien routier : Jean-Pierre Moulin (DIR Ouest, Rennes) et Clément Bourcart (DIR Centre-Ouest, Limoges).

Il s'agit des responsables des centres d'entretien et d'intervention (CEI) des directions interdépartementales des routes : Didier Ferré (CEI de Haute-Goulaine, 44), Didier Gautier (CEI de Bain-de-Bretagne, 35), Patrick Breillad (CEI de Bressuire, 79), Robert Moiteaux (CEI de Héric, 44) et René Lalinec (CEI de Rostrenen, 35).

Concernant les études sur les dépendances vertes des lignes électriques à haute tension, il s'agit des personnes contacts dans les groupes d'exploitation transport (GET) de RTE (Réseau de Transport d'Electricité) : Thierry Amiot (GET de Bordeaux), Pascal Lascaux (GET de Limoges), ainsi que Jean Pierron et Edouard Sirven de l'agence RTE de Toulouse.

Il s'agit des personnes contactées dans le parc naturel régional Périgord-Limousin (La Coquille, 24) qui nous ont fourni des renseignements sur la qualité de milieux forestiers et prairiaux : Frédéric Dupuy, Irène Demont, Cédric Devilleger et Arnaud Six.

Il s'agit des identificateurs d'abeilles sauvages pour leur grande disponibilité : David Genoud (France), Matthieu Aubert (France), Eric Dufrêne (France) et Holger Dathe (Allemagne).

Nous remercions enfin Barbara Livoreil (FRB), Samir Hamdicherif (FRB) et Yannick Autret (CGDD) pour leur compréhension des difficultés que nous avons rencontrées du fait des aléas du programme de travail, ainsi que pour leur soutien constant dans nos recherches de solutions pour y remédier et permettre au projet de progresser.

Sommaire

Résumé	p. 8
Glossaire	p. 9
1 – Introduction	p. 11
2 – Contexte et objectifs	p. 12
2.1 – Contexte général	p. 12
2.2 – Objectifs visés	p. 16
3 – Déroulement général du projet	p. 19
4 – Recherche de sites d'étude	p. 28
4.1 – Recherche des sites d'étude Habitat-Source	p. 28
4.2 – Recherche des sites d'étude Habitat-Conduit	p. 30
5 – Travail de terrain	p. 33
5.1 – Panel des sites étudiés	p. 33
5.2 – Echantillonnage dans les sites d'étude Habitat-Source	p. 37
5.3 – Echantillonnage dans les sites d'étude Habitat-Conduit	p. 39
6 – Résultats	p. 42
6.1 – Analyse synthétique des sites d'étude Habitat-Source	p. 42
6.2 – Analyse taxonomique des sites d'étude Habitat-Conduit	p. 45
6.3 – Analyse fonctionnelle des sites d'étude Habitat-Conduit	p. 52
6.4 – Influence des facteurs environnementaux dans les sites d'étude Habitat-Conduit	p. 57
6.5 – Observations sur les habitats offerts par les dépendances vertes	p. 79
7 – Discussion	p. 89
7.1 – Habitat pour les abeilles et papillons dans les dépendances vertes	p. 89
7.2 – Fonctions Source et Conduit des dépendances vertes	p. 92
7.3 – Etat des populations d'abeilles dans la zone d'étude	p. 93
8 – Conclusion	p. 95
9 – Références	p. 97

Liste des figures

- Fig.**
- 3.1** Configuration type d'un site HS
 - 3.2** Configuration type d'un site HC
 - 3.3** Exemple de configuration HC en boucle
 - 3.4** Boîte de collection d'abeilles préparées pour les identifications à l'espèce
 - 4.1** Repérage cartographique de parcelles cultivées en colza (RPG 2012) à proximité d'une route du réseau national (RN 149, Nord-ouest de Poitiers, Vienne)
 - 4.2** Repérage cartographique de parcelles cultivées en colza (RPG 2012) à proximité d'une voie ferrée (Ligne Poitiers-Angoulême, Est de Couhé, Vienne)
 - 4.3** Intersection d'une ligne électrique HT et d'une voie ferrée (Saint-Antoine d'Auberoche, Dordogne)
 - 4.4** Localisation des sites d'étude HC potentiels dans les départements de Corrèze, Dordogne et Haute-Vienne
 - 5.1** Localisation des sites d'étude HS retenus
 - 5.2** Site d'étude HS retenu sur la RN 164 (Loudéac, Côtes d'Armor)
 - 5.3** Configuration de la zone d'étude des sites HS
 - 5.4** Distribution spatiale de l'ensemble des sites d'étude HC
 - 5.5** Site d'étude HC sur la ligne Bertric-Nontron (Rudeau-Ladosse, Dordogne)
 - 5.6** Capture d'une abeille sauvage sur une tache florale composée de primevères officinales (*Primula veris*) – Vallet, Loire-Atlantique
 - 5.7** Session de capture d'abeilles sauvages dans un champ de colza bordant une dépendance verte
 - 5.8** Exemple de tranchée forestière étudiée (ligne Nontron-Thiviers, Sceau-Saint-Angel, Dordogne)
 - 5.9** Exemple de milieu de référence : une prairie de fauche (Haute-Vienne)
 - 5.10** Exemple de milieu de référence : une lande à bruyère (Haute-Vienne)
 - 5.11** Exemple de milieu de référence : une pelouse sèche (Dordogne)
 - 5.12** Capture dans un milieu de référence (Haute-Vienne)
 - 5.13** Diagramme général de la méthode d'étude des sites HS et HC
 - 6.1** *Andrena cineraria* butinant le colza (Bretignolles, Deux-Sèvres)
 - 6.2** Richesse spécifique des papillons de jour (moyenne \pm erreur standard) par type de site (TF et R)
 - 6.3** *Euphydryas aurinia* (Damier de la succise) observé sur le site D106_T2 (Rudeau-Ladosse, Dordogne)
 - 6.4** Abondance des abeilles (moyenne \pm erreur standard) par type de site
 - 6.5** Richesse spécifique des abeilles (moyenne \pm erreur standard) par type de site
 - 6.6** *Bombus confusus* capturé sur le site HV44_T4 (Meuzac, Haute-Vienne)
 - 6.7** Distribution de *Bombus confusus* sur la période 1970-2000 (points verts)
 - 6.8** Abondance des abeilles parasites (moyenne \pm erreur standard) par type de site
 - 6.9** Richesse spécifique des abeilles parasites (moyenne \pm erreur standard) par type de site
 - 6.10** Dendrogramme des indices de dissimilarité, sites du groupe Nord
 - 6.11** Dendrogramme des indices de dissimilarité, sites du groupe Sud
 - 6.12** Dendrogramme des indices de dissimilarité, sites du groupe Est
 - 6.13** Dendrogramme des indices de dissimilarité, sites du groupe Ouest
 - 6.14** Vue du site D105_T3

- 6.15 Vue du site D92_T1
- 6.16 Vue du site D94_T3
- 6.17 Richesse spécifique des abeilles en fonction de la richesse spécifique des papillons (tous sites HC)
- 6.18 Richesse spécifique des abeilles en fonction de la richesse spécifique des papillons (sites R)
- 6.19 Richesse spécifique des abeilles en fonction de la richesse spécifique des papillons. Sites TF, groupe Sud (S)
- 6.20 Richesse spécifique des abeilles en fonction de la richesse spécifique des papillons. Sites TF des groupes (N) Nord, Est (E) et Ouest (W)
- 6.21 Richesse spécifique des abeilles en fonction de la latitude des sites
- 6.22 Richesse spécifique des papillons en fonction de la latitude des sites
- 6.23 Richesse spécifique des abeilles en fonction de l'altitude des sites
- 6.24 Richesse spécifique des papillons en fonction de l'altitude sites
- 6.25 Richesse spécifique des abeilles en fonction de la température ambiante
- 6.26 Richesse spécifique des papillons en fonction de la température ambiante
- 6.27 Richesse spécifique des abeilles en fonction de la luminosité
- 6.28 Richesse spécifique des papillons en fonction de la luminosité
- 6.29 Richesse spécifique des abeilles en fonction de la richesse floristique
- 6.30 Richesse spécifique des papillons en fonction de la richesse floristique
- 6.31 Richesse spécifique des abeilles en fonction de la couverture par les plantes en fleur
- 6.32 Richesse spécifique des papillons en fonction de la couverture par les plantes en fleur
- 6.33 Richesse spécifique des abeilles en fonction de l'indice Sol nu
- 6.34 Richesse spécifique des papillons en fonction de l'indice Sol nu
- 6.35 Projection des sites HC selon les axes 1 et 2 de l'ACP. Variables environnementales considérées : Richesse floristique, Recouvrement, Sol nu, Fougères, Ronces et Bois mort
- 6.36 Projection sur le plan F1-F2 de co-inertie des variables environnementales associées aux communautés de papillons
- 6.37 Projection sur le plan F1-F2 de co-inertie des variables environnementales associées aux communautés d'abeilles
- 6.38 Projection des espèces de papillons sur le plan F1-F2 de co-inertie
- 6.39 Projection des espèces d'abeilles sur le plan F1-F2 de co-inertie. Espèces les plus abondantes des sites R et TF, espèces exclusives des sites TF, espèces menacées et quasi-menacées
- 6.40 Projection des espèces d'abeilles sur le plan F1-F2 de co-inertie. Espèces parasites et hôtes
- 6.41 Projection des sites HC sur le plan F1-F2 de l'analyse de co-inertie entre variables environnementales et présence des papillons (54 sites). Positionnement des sites de référence
- 6.42 Projection des sites HC sur le plan F1-F2 de l'analyse de co-inertie entre variables environnementales et abondance des abeilles (56 sites). Positionnement des sites de référence
- 6.43 Projection des sites HC sur le plan F1-F2 de l'analyse de co-inertie entre variables environnementales et présence des papillons (54 sites). Positionnement des sites de tranchées forestières
- 6.44 Projection des sites HC sur le plan F1-F2 de l'analyse de co-inertie entre variables environnementales et abondance des abeilles (56 sites). Positionnement des sites de tranchées forestières
- 6.45 Talus planté dans la DVR de la RN 149/249 (Bretignolles, Deux-Sèvres)
- 6.46 Une tranchée forestière colonisée par la fougère aigle (*Pteridium aquilinum*)
- 6.47 Carte géographique (*Araschnia levana*) sur un massif de ronces dans une tranchée forestière
- 6.48 Branchages secs bien exposés laissés en lisière de tranchée forestière
- 6.49 Surface de sol nu autour d'un pied de pylône
- 6.50a Photo aérienne de l'occupation du sol dans les environs de Meuzac (Haute-Vienne) en 1964

- 6.50b** Photo aérienne de l'occupation du sol dans les environs de Meuzac (Haute-Vienne) en 1974
- 6.51a** Photo aérienne de l'occupation du sol dans les environs de Meuzac (Haute-Vienne) en 1964
- 6.51b** Photo aérienne de l'occupation du sol dans les environs de Meuzac (Haute-Vienne) en 2010
- 6.52** Pelouse sèche (site D105_T4) préservée à l'endroit d'une DVE (Rudeau-Ladosse, Dordogne)

Liste des tableaux

- Tab.**
- 5.a** Localisation, date et conditions météorologiques des études de sites HS
 - 5.b** Localisations et dates d'étude des sites HC
 - 5.c** Temporalité de l'ensemble des échantillonnages et efforts d'échantillonnage
 - 6.a** Principaux résultats des captures d'abeilles dans les sites d'étude HS
 - 6.b** Résultats des observations de papillons de jour dans les sites d'étude HS
 - 6.c** Catégories de la liste rouge UICN
 - 6.d** Espèces d'abeilles menacées et quasi-menacées collectées dans les listes TF et R
 - 6.e** Espèces d'abeilles aux données insuffisantes (statut *DD*) collectées dans les sites TF et R
 - 6.f** Abondance et richesse spécifique des abeilles parasites des sites TF et R
 - 6.g** Espèces d'abeilles parasites collectées dans les sites TF et R
 - 6.h** Sites d'étude HC de faible concordance entre variables environnementales et communautés de papillons et/ou d'abeilles
 - 6.i** Principales caractéristiques de gestion des DVR des sections routières
 - 6.j** Principales caractéristiques de la végétation des DVR

Résumé

Le projet Pollinéaire s'inscrit dans le contexte actuel de déclin des insectes pollinisateurs et de ses conséquences sur la pollinisation des plantes sauvages et cultivées. Les principales raisons de ce déclin sont l'intensification des pratiques agricoles ainsi que la perte et la fragmentation des habitats, dont les infrastructures linéaires de transport (ILT) sont une des causes importantes. Cependant, les dépendances vertes (DV) des ILT constituent des espaces relativement peu perturbés par les activités humaines, souvent assimilables à des milieux prairiaux et étendus à tous les territoires traversés. Pollinéaire visait à évaluer, expliquer, voire faire des propositions opérationnelles pour développer le potentiel des DV des ILT en tant qu'habitat et source de pollinisateurs sauvages (hyménoptères apiformes ou « abeilles sauvages » et lépidoptères rhopalocères ou « papillons de jour »). Les questions traitées étaient :

- l'analyse du potentiel des DV en tant qu'habitat pour les pollinisateurs sauvages (abeilles sauvages et papillons de jour) – étude de la fonction Habitat;
- l'analyse de la capacité des DV à jouer le rôle de source de pollinisateurs pour la mosaïque paysagère environnante – étude de la fonction Source;
- l'analyse de la connectivité permise aux insectes au sein des DV- étude de la fonction Conduit.

Deux types de sites d'étude ont été définis pour apporter des réponses à ces questions : d'une part des sites d'étude Habitat-Source (présence des insectes dans la DV et communication transversale avec la mosaïque paysagère), d'autre part des sites d'étude Habitat-Conduit (présence des insectes dans la DV et communication longitudinale dans la DV).

Les ILT considérées pour fournir ces cas d'études ont été celles du réseau (auto)routier non concédé, du réseau ferré, des voies navigables et du réseau électrique (haute et moyenne tension). L'aire d'investigation a couvert les régions Bretagne, Pays-de-Loire, Poitou-Charentes, Limousin, Aquitaine, Midi-Pyrénées.

Afin de mettre en évidence les échanges transversaux, les sites d'étude Habitat-Source (HS) devaient contenir une ressource alimentaire attractive en limite d'emprise. Les champs de colza (*Brassica napus*) ont été choisis. Afin d'éviter la dispersion latérale des insectes, les sites d'étude Habitat-Conduit (HC) devaient être bordés de milieux non attractifs. Les massifs forestiers ont été choisis, constituant des dépendances vertes en tranchées forestières.

Les sites HS sélectionnés ont été des DV du réseau routier non concédés situées en Bretagne, Pays-de-Loire et Poitou (6 sites étudiés). Les sites HC sélectionnés ont été des DV du réseau électrique haute tension situées en Limousin et Aquitaine (31 sites étudiés + 25 sites de référence semi-naturels : prairies, landes, pelouses).

Une analyse taxonomique a été conduite sur les sites HS et HC et des observations sont rassemblées sur la qualité des habitats offerts par les DV routières et de LHT en tranchées forestières. Les sites HC permettent d'analyser les ressemblances/dissémbances entre leurs communautés d'insectes et l'influence des variables environnementales liées à l'habitat offert par les tranchées forestières en particulier. Des conclusions en sont tirées quant aux relations pouvant s'établir entre sites distants au sein des tranchées forestières et aux mesures d'entretien qui permettraient de valoriser ces habitats.

Glossaire

ACP	Analyse en composantes principales.
AFC	Analyse factorielle des correspondances.
C	Champ de colza.
CEI	Centre d'entretien et d'intervention des DIR.
CO	Comité d'orientation du programme Ittecop.
CS	Conseil scientifique du programme Ittecop.
D	Dordogne (indice de codification des sites dans le département de Dordogne).
DD	<i>Data deficient</i> (un des statuts UICN de caractérisation du risque d'extinction des espèces).
DIR	Direction interdépartementale des routes (service déconcentré de l'Etat).
DVE	Dépendance verte du réseau électrique.
DVR	Dépendance verte routière.
GET	Groupe d'exploitation et transport de RTE.
HC	Habitat et Conduit (type de configuration de sites). Utilisé aussi pour nommer l'ensemble des sites d'étude correspondant à cette partie du projet, constitués d'une part des sites en tranchées forestières (TF) et des sites de référence (R).
HS	Habitat et Source (type de configuration de sites). Utilisé aussi pour nommer l'ensemble des sites d'étude correspondant à cette partie du projet, constitués d'une part des sites de dépendances vertes routières (DVR) et des champs de colza (C) voisins.
HT	Haute tension (lignes électriques).
HV	Haute-Vienne (indice de codification des sites dans le département de Haute-Vienne).
ILT	Infrastructure linéaire de transport.
LC	<i>Least concern</i> (un des statuts UICN de caractérisation du risque d'extinction des espèces).
LHT	Ligne électrique à haute tension.
MNA	Milieu non attractif (pour les abeilles).
PNA	Plan national d'actions « France, terre de pollinisateurs » pour la préservation des abeilles et des insectes pollinisateurs sauvages (2016-2020).
R	Référence (indice de codification des sites de référence).
RPG	Registre parcellaire graphique.
RTE	Réseau de transport d'électricité (établissement).
Sa	Richesse spécifique des abeilles.

- Sp** Richesse spécifique des papillons.
- TF** Tranchée forestière (indice de codification des sites en tranchée forestière).
- UICN** Union internationale pour la conservation de la nature.
- VU** *Vulnerable* (un des statuts UICN de caractérisation du risque d'extinction des espèces).

1

Introduction

Ce document est le rapport final du projet de recherche Pollinéaire (Potentiel des dépendances vertes pour la préservation et la dispersion des insectes pollinisateurs sauvages). Le projet Pollinéaire a été réalisé dans le cadre de l'appel à projets de recherche 2014 du programme ITTECOP (Infrastructures de Transports Terrestres, Ecosystèmes et Paysages), financé par le Ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES) et l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME).

Le projet Pollinéaire a débuté en octobre 2014. Il a été réalisé en partenariat entre l'Inra (Institut national de la recherche agronomique), le Cerema (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement) et l'Ifsttar (Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux).

Dans un premier temps (Section 2) le contexte et les objectifs initiaux du projet sont indiqués. Les principaux aspects du déroulement effectif du projet sont ensuite présentés (Section 3). Ce résumé du déroulement général du projet permet notamment d'expliquer les inévitables adaptations du programme de travail aux réalités de terrain. Un projet dans lequel la collecte des données de terrain n'est réalisable que sur une unique année est vulnérable à divers aléas: adéquation des sites identifiés aux objectifs du projet, réponse des gestionnaires de réseaux à nos demandes d'informations et/ou d'accès, conditions météorologiques favorables aux échantillonnages d'insectes pollinisateurs et aux floraisons, choix à faire dans un environnement changeant inéluctablement (avancement de la saison) et aléatoirement (aléas météorologiques). Afin d'indiquer précisément la nature du résultat obtenu (qui s'inscrit bien dans l'optique générale du projet), un sous-titre plus spécifique lui a été adjoint (Etude des communautés d'abeilles et de papillons dans des emprises routières et de réseau électrique et dans leur environnement proche). Sont ensuite présentées de façon plus détaillée les phases de recherche de sites d'étude (Section 4) et les méthodes de terrain adoptées (Section 5). La Section 6 (Résultats) présente et discute les résultats obtenus des sites destinés à l'étude des fonctions Habitat et Source (sites HS), ceux des sites destinés à l'étude des fonctions Habitat et Conduit (sites HC), puis des observations sur les habitats offerts par les dépendances vertes visitées. La Section 7 (Discussion) porte sur les principaux enseignements tirés du projet. Enfin, les conclusions du projet sont exposées en Section 8. Les annexes sont présentées dans un second document. Elles contiennent d'une part les tableaux de données et certains documents de travail (Documents techniques), et d'autre part les diverses actions de communication sur le projet depuis son lancement (Documents de valorisation).

2

Contexte et objectifs

2.1 Contexte général

2.1.1 Constat écologique et socio-économique

De même que pour de nombreuses autres composantes de la biodiversité mondiale [Newbold et al., 2015], plusieurs études récentes mettent en évidence un déclin des populations d'insectes pollinisateurs dans différentes régions du globe [Biesmeijer et al., 2006 ; Grixti et al., 2009 ; Burkle et al., 2013]. Au-delà de la dimension patrimoniale du risque de disparition d'espèces pollinisatrices, ce constat soulève l'inquiétude quant aux conséquences engendrées pour la pollinisation de nombreuses plantes sauvages et cultivées [Steffan-Dewenter et al., 2005]. En effet, la grande majorité (87%) des plantes à fleurs sont pollinisées par des animaux [Ollerton et al., 2011] et 65% des espèces cultivées pour l'alimentation humaine dépendent de la pollinisation animale [Klein et al., 2007]. Ce service écosystémique rendu par les espèces pollinisatrices a été évalué en 2009 à 153 milliards d'euros à l'échelle mondiale [Gallai et al., 2009].

Les insectes pollinisateurs considérés dans *Pollinéaire*

Le terme « insectes pollinisateurs » recouvre une grande diversité de taxons, appartenant principalement aux ordres des coléoptères, lépidoptères, diptères, hyménoptères [Inouye, 2013]. Ce terme est parfois abusivement employé pour désigner ce qui serait plutôt des insectes floricoles ou « visiteurs floraux », mais dont on ignore le rôle effectif en termes de pollinisation (c'est-à-dire de transfert efficace de pollen aboutissant à la reproduction).

Dans *Pollinéaire*, nous nous sommes intéressés à deux groupes d'insectes pollinisateurs : les hyménoptères anthophiles (désignés dans la suite par le terme général « **abeilles sauvages** »¹) et les lépidoptères rhopalocères (désignés par la suite par « **papillons de jour** »²). Ces deux groupes rassemblent des espèces phytophages associées aux milieux ouverts fleuris et présentant un continuum en termes de traits écologiques, allant d'espèces très spécialistes à des espèces généralistes. Ces deux groupes sont fréquemment étudiés conjointement dans les études sur les relations entre les insectes pollinisateurs et leur environnement (ex. Kruess & Tschardt, 2002 ; Öckinger & Smith, 2007 ; Ekroos et al., 2008 ; Sjödin et al., 2008 ; Kuussaari et al., 2011 ; Scohier et al., 2013). Ces deux groupes présentent aussi des différences importantes résumées ci-dessous.

- Les **abeilles** (Anthophila) sont considérées comme les principaux pollinisateurs à l'échelle mondiale [Winfrey et al., 2011]. En France, on dénombre 949 espèces d'abeilles

¹ Voire par commodité simplement « abeilles » lorsqu'il n'y aura pas d'ambiguïté sur le fait que l'on ne parle que d'abeilles sauvages.

² Voire par commodité simplement « papillons » lorsqu'il n'y aura pas d'ambiguïté sur le fait que l'on ne parle que de papillons de jour.

[Rasmont et al., 2017], soit *Apis mellifera* (l'abeille mellifère, espèce unique) et 948 espèces d'abeilles sauvages. Malgré leur rôle important, ces dernières demeurent pour la plupart peu connues : les connaissances sont fragmentaires, tant sur leur biologie que sur la distribution des espèces [Patiny et al., 2009]. Parmi les abeilles sauvages, on distingue les espèces sociales (telles que les bourdons) et les espèces solitaires (qui représentent plus de 80 % des espèces en France).

Le rôle pollinisateur primordial des abeilles est dû à leur morphologie (poils branchus), à leur comportement de butinage (fidélité à une espèce végétale lors d'un voyage de butinage) et au fait qu'elles se nourrissent exclusivement de nectar et de pollen à tous les stades de leur développement (larves et adultes), les adultes acheminant cette nourriture aux larves qui se développent dans des nids. Selon les espèces, les milieux ou micro-habitats utilisés pour la nidification sont très variés et l'on distingue habituellement les espèces terricoles (qui creusent des terriers dans le sol) qui dominent très largement dans les régions tempérées, et les espèces rubicoles qui utilisent des cavités préexistantes de différentes natures (ex. dans le bois, des tiges creuses de certaines plantes) ou des trous dans la roche ou des coquilles d'escargot vides (hélicicoles). Il existe également des espèces d'abeilles parasites dites « coucou » qui pondent dans le nid d'autres espèces.

- Chez les **papillons**, l'adulte s'alimente sur les fleurs, mais la chenille se nourrit dans la majorité des cas des parties foliaires des plantes. Il n'y a donc pas de relation d'approvisionnement entre adultes et larves comme chez les abeilles. Les papillons de jour (environ 250 espèces en France) sont mieux connus que les abeilles et sont plus facilement identifiables (identification possible sur le terrain au contraire des abeilles qu'il est quasiment obligatoire de prélever pour une identification au niveau taxonomique de l'espèce). Ils bénéficient de statuts de conservation (liste rouge des papillons de jour de France métropolitaine), de mesures de protection (35 espèces de lépidoptères protégées en France) et d'un plan national d'actions [Dupont, 2001] pour les quatre espèces du genre *Maculinea*.

En 2016, face à la situation préoccupante des populations d'insectes pollinisateurs en France, un plan national d'actions pour la préservation des abeilles et des insectes pollinisateurs sauvages a été lancé par le Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, le PNA « France, terre de pollinisateurs ».

Les inquiétudes quant à la situation actuelle des populations d'insectes pollinisateurs et à son évolution sont d'autant plus grandes que la diversité des pollinisateurs est requise pour assurer une pollinisation de qualité, c'est-à-dire permettant de maintenir le rendement des cultures, la qualité des productions [Klein et al., 2007]. Ainsi, l'augmentation du nombre de colonies d'abeilles mellifères pour assurer ce service (par exemple la multiplication des ruches peuplées à proximité des cultures), elles-mêmes confrontées à des problèmes de mortalités importants [Albouy & Le Conte, 2014], n'est donc pas la solution : elle ne peut pas compenser la perte des pollinisateurs sauvages [Garibaldi et al., 2013 & 2016]. En 2010 par exemple, en France (comme en Allemagne, Suisse, Pologne ou Ukraine par exemple), l'abeille mellifère n'était plus en mesure d'assurer que de 25 à 50% du service de pollinisation selon les cultures, la situation étant encore pire en Grande-Bretagne, Finlande et dans les pays baltes [Breeze et al., 2014]. Des programmes de recherche ont été lancés ces dernières années visant à étudier les insectes pollinisateurs sauvages et leur activité pollinisatrice (ex. projets européens ALARM³ et STEP⁴) et à envisager des mesures concrètes de préservation (ex. mesures agroenvironnementales, Scheper et al., 2013).

³ http://cordis.europa.eu/news/rcn/27171_fr.html

⁴ <http://www.step-project.net/>

2.1.2 Les principales causes du déclin des populations d'insectes pollinisateurs

La destruction des habitats et leur fragmentation, de même que l'intensification des pratiques agricoles et l'emploi massif de produits phytosanitaires, sont les principaux facteurs à l'origine du déclin des insectes pollinisateurs [Winfree et al., 2009 ; Potts et al., 2010]. Les habitats favorables aux abeilles sauvages et aux papillons de jour sont principalement les milieux ouverts fleuris. Dans le cas des abeilles, ils doivent pouvoir fournir à la fois des ressources florales et des sites de nidification [Westrich, 1996], dans un rayon compatible avec les capacités de déplacement des espèces : de quelques centaines de mètres chez les petites espèces à quelques kilomètres chez les plus grosses, comme les bourdons [Gathmann & Tschardt, 2002 ; Greenleaf et al., 2007 ; Pasquet et al., 2008 ; Chifflet et al., 2011]. Dans le cas des papillons, les habitats doivent fournir les plantes-hôtes des larves ainsi que les espèces butinées par les adultes. La surface d'habitat favorable joue un rôle important pour le maintien des populations pour les papillons [Hambäck et al., 2007] comme pour les abeilles [Krauss et al., 2009]. L'artificialisation des milieux (urbanisation et expansion agricole) se fait souvent au détriment de ces habitats favorables. L'agriculture intensive est source d'intrants (herbicides, fertilisants) qui peuvent avoir des conséquences sur les ressources florales naturelles, voire directement sur les insectes pollinisateurs eux-mêmes (insecticides, fongicides) (ex. Holzschuh et al., 2007 ; Henry et al., 2012 ; Le Féon et al., 2010, 2013). Les parcelles cultivées peuvent fournir des ressources (par exemple les cultures à floraison massive comme le colza, Westphal et al., 2003). Cependant, elles ne suffisent généralement pas au maintien des espèces dans un paysage [Mandelik et al., 2012], car les parcelles en monoculture intensive sont trop pauvres en diversité floristique [Holzschuh et al., 2007], et la perturbation du sol induite par le labour empêche la nidification des abeilles sauvages [Shuler et al., 2005 ; Morandin et al., 2007]. Plusieurs études ont montré que garder des habitats semi-naturels (zones non cultivées comme les prairies, les bois, les haies, les bords de champs et de route) dans les paysages agricoles permet le maintien des insectes pollinisateurs pour les plantes cultivées, l'abondance et la richesse spécifique (nombre d'espèces) de ces derniers décroissant au fur et à mesure que l'on s'éloigne des habitats semi-naturels (cf. par exemple les synthèses de Ricketts et al., 2008 et Blitzer et al., 2012).

2.1.3 Caractéristiques des dépendances vertes d'ILT et questions de recherche

Dans le contexte d'artificialisation croissante des paysages que nous connaissons aujourd'hui [Foley et al., 2005], les dépendances vertes des infrastructures linéaires de transport (ILT) telles que routes, autoroutes, voies ferrées, voies navigables, réseaux électriques, peuvent apparaître comme des corridors écologiques, des milieux relativement peu impactés par les activités humaines [DGITM, 2010 ; RBA et al., 2012 ; Wagner et al., 2014 ; De Voghel, 2016]. Elles peuvent la plupart du temps être assimilées à des milieux prairiaux (habitats herbacés ou faiblement boisés) et de ce fait peuvent être susceptibles de constituer des habitats pour les abeilles sauvages et les papillons de jour. Des types de perturbations rencontrés dans les prairies temporaires ou permanentes de la mosaïque agricole courante (telles que le travail du sol (labour), la fertilisation ou le pâturage) sont généralement absents - ou atténués - dans les emprises des ILT. Cependant, la fauche, l'usage d'herbicides, les pollutions et la mortalité par collision liées au trafic routier peuvent être des facteurs réduisant l'intérêt des emprises pour les insectes pollinisateurs.

La question du potentiel des dépendances vertes d'ILT, en tant qu'espaces permettant le maintien de la biodiversité dans des paysages anthropisés a donc pris de l'importance ces dernières années. Dans des territoires traversés par les ILT (elles-mêmes vectrices de leurs propres perturbations et impacts sur les écosystèmes – cf. par exemple Forman et al., 2003 ; Fargier, 2013 ; Mallard, 2014), la question se pose de la possibilité de mettre à profit les vastes espaces que représentent ces dépendances vertes à l'échelle d'un territoire (par exemple en France pour les 12 000 km de réseau national non concédé, elles couvrent 20 000 hectares) pour des espèces en déclin comme les insectes pollinisateurs sauvages (avec les retombées socio-économiques que cela induit, comme évoqué précédemment). Il s'agit d'analyser dans quelle mesure les dépendances vertes peuvent participer au maintien des espèces végétales et animales et des services

écosystémiques associés [Willis et al., 2012] et comment leur rôle favorable peut être accru par des modes de gestion/entretien adéquats [De Redon de Colombier, 2008 ; Le Viol et al., 2009].

La fonction d'habitat des dépendances vertes pour les papillons a été déjà étudiée et les résultats indiquent qu'une gestion adéquate peut faire de ces zones des habitats pour les espèces communes, mais aussi certaines espèces rares (ex. Munguira & Thomas, 1992 ; Ries et al., 2001 ; Valtonen et al., 2006 ; Saarinen et al., 2005). En outre, des résultats indiquent que les emprises les plus favorables aux papillons sont celles pour lesquelles la mortalité des papillons par collision avec les véhicules est la moins élevée [Skórka et al., 2013]. Les études de ce type sur les abeilles sont beaucoup plus rares. Aux Etats-Unis, Hopwood (2008) a montré que l'abondance et la richesse spécifique des abeilles dans les emprises sont positivement corrélées à l'abondance et à la richesse spécifique des fleurs et avec la présence de sol nu permettant la nidification des espèces terricoles. En Australie, Lentini et al. (2012) ont observé que les structures linéaires telles que les emprises routières participaient à la constitution du pool régional d'espèces d'abeilles. Au Danemark, Henriksen & Langer (2013) abordent la question sous l'aspect de la fourniture de ressources alimentaires en analysant la qualité des ressources florales offertes aux abeilles sauvages par les dépendances vertes.

Par ailleurs, plusieurs travaux (cf. les synthèses de Ricketts et al., 2008 et Blitzer et al., 2012) ont montré que le maintien dans les paysages agricoles d'un réseau d'habitats semi-naturels assure la présence d'insectes pollinisateurs pour les plantes cultivées environnantes. Les dépendances vertes peuvent donc être appréhendées comme de potentiels réservoirs, ou sources, de pollinisateurs pour les cultures environnantes.

2.1.4 Situation en France au moment de l'appel à projets Ittecop 2014

Depuis quelques années, pour des raisons économiques et écologiques, les modes d'entretien des dépendances vertes reposent de plus en plus sur des opérations mécaniques (plutôt que chimiques), elles-mêmes de moins en moins fréquentes et portant sur des surfaces plus réduites (ex. fauche précoce uniquement en bordure immédiate des voies pour des raisons de sécurité comme la visibilité de la route, de la signalisation et la lisibilité de la route - cf. DGITM, 2010 ; SETRA, 2007, 2009, 2013 ; François, 2014). Ce mode d'entretien extensif est proche de celui des prairies naturelles [Valtonen et al., 2006] et permet à la flore et à la faune locales de trouver des zones de refuge [De Redon de Colombier, 2008]. Compte tenu de la diversité biogéographique qui caractérise le territoire français, les dépendances vertes à travers les régions offrent un large panel d'habitats et permettent l'implantation d'une grande variété d'espèces [Le Bris, 2011]. Elles peuvent donc constituer un réseau pour la conservation d'habitats et d'espèces, qui pourrait être connecté et entretenu de façon à contribuer au développement et au fonctionnement écologique des trames vertes et bleues environnantes [Pianfetti & François, 2012].

En France, les gestionnaires d'ILT, dont l'Etat pour ce qui concerne le réseau routier et autoroutier non concédé, travaillent depuis quelques années, avec l'appui du Réseau Scientifique et Technique du MEDDE (notamment le Cerema aujourd'hui) et du ministère en charge de l'agriculture, à l'amélioration des connaissances relatives aux fonctionnalités écologiques des dépendances vertes, et à la mise en œuvre de pratiques de gestion extensive [SETRA, 2004, 2007, 2009, 2013 ; MAAPRAT, 2012 ; MEDDE, 2013a ; Pineau & Berthier, 2013]. Bien que moins nombreuses, des initiatives similaires ont vu le jour pour le réseau ferré [Pujols, 2010]. Toutes ces initiatives répondent aux objectifs d'une politique générale de renforcement de l'intégration (requalification) environnementale des réseaux [MEDDE, 2013b], mais elles n'ont pas fait l'objet, à ce jour, d'une évaluation de leur efficacité sur les fonctionnalités écologiques des dépendances vertes, et encore moins des services écosystémiques qu'elles pourraient rendre, notamment grâce aux pollinisateurs sauvages qu'elles abritent.

Concernant les insectes pollinisateurs, les initiatives en France ont quasi-exclusivement concerné l'abeille mellifère (cf. « Fleurir les bords de route pour les abeilles », DGITM, 2010 ; RBA et al., 2012 ; Ouest-

France, 2012⁵). Elles sont plus rares vis-à-vis des insectes pollinisateurs sauvages, moins connus du point de vue scientifique ainsi que du grand public, malgré les bénéfices que l'on pourrait *a priori* en escompter (1) sur le plan de la préservation de la biodiversité (des pollinisateurs eux-mêmes, et des plantes entomogames sauvages et cultivées), (2) sur le plan économique pour la pollinisation des cultures et (3) du fait d'une mise en œuvre relativement plus simple et sûre des études et expérimentations dans un environnement routier ou ferroviaire à risque (pas de nécessité d'entretien de colonies, entretien réduit de l'habitat).

2.2 Objectifs visés

Considérant ce contexte et les quelques informations préexistantes sur les insectes pollinisateurs observés dans des dépendances vertes [RBA et al., 2012], il a semblé opportun d'essayer d'accroître la connaissance sur l'état des populations de pollinisateurs sauvages dans les emprises d'ILT et, dans une perspective de conservation et de gestion environnementale, d'identifier les facteurs influençant la présence et l'état de ces populations. Ces facteurs peuvent être internes aux emprises (substrat et végétation propices à la nidification ; surfaces/largeurs et histoire des emprises ; espèces végétales nourricières ; pression exercée par les pratiques d'entretien...), ou dus à des pressions extérieures, qu'elles soient négatives (pollutions environnantes, nuisances, perturbations...) ou positives (quantité de ressources alimentaires dans l'environnement...). A titre d'exemple, en agriculture conventionnelle les parcelles offrant moins de ressources florales que les parcelles de l'agriculture biologique, elles présentent aussi une richesse spécifique d'abeilles sauvages significativement plus faible [Holzschuh et al., 2007].

S'interroger sur la pertinence et la possibilité de favoriser l'installation et le développement d'insectes pollinisateurs sauvages dans les emprises des ILT répond donc à un double objectif du point de vue des fonctions qu'elles peuvent remplir [Forman et al., 1995; Burel & Baudry, 1999; SETRA, 2011; MEDDE, 2013a] :

- analyser leur potentiel en termes d'habitat (notamment pour des espèces rares) ;
- analyser leur potentiel en termes de source, en particulier pour ce qui est des espèces dont les distances de vol sont susceptibles d'en faire des pollinisateurs actifs à l'extérieur des emprises (ex. de quelques centaines de mètres pour les abeilles solitaires à quelques kilomètres pour les bourdons – cf. Gathmann & Tschardt, 2002 ; Steffan-Dewenter et al., 2002 ; Pasquet et al., 2008).

Par rapport au second point, il est important de tenter d'analyser l'influence de la structure (degré de maillage de la trame verte) et de la nature (végétation occupant le parcellaire) de la mosaïque paysagère environnante vis-à-vis du déploiement des pollinisateurs sauvages dans le paysage avoisinant les emprises sources [Le Féon et al., 2013].

Compte tenu de la nature des informations escomptées grâce au projet Pollinéaire, les résultats attendus du projet concernaient :

- d'une part, l'acquisition de connaissances quant à l'état des populations de pollinisateurs sauvages et la compréhension des facteurs influant sur cet état ;
- d'autre part, la valorisation opérationnelle qui pouvait être espérée de ces connaissances en termes d'amélioration de la gestion environnementale des dépendances vertes.

2.2.1 Acquisition de connaissances

• Du point de vue de l'étude de la **fonction Habitat** des dépendances vertes pour les insectes pollinisateurs sauvages, les résultats attendus du projet Pollinéaire (Convention Inra-FRB) étaient :

⁵ www.ouest-france.fr/sept-ruches-installees-sur-le-bord-des-routes-sarthoises-470311

- acquérir une connaissance de l'état (diversité, abondance) des populations d'insectes pollinisateurs sauvages (abeilles sauvages et papillons de jour) dans des dépendances vertes d'ILT, en considérant différents secteurs biogéographiques ;
 - identifier et analyser l'importance des facteurs internes (ex. caractéristiques des habitats, pratiques d'entretien) et/ou externes (interférences négatives ou positives) influant sur l'état des populations observées.
- Du point de vue de la **fonction Source** des dépendances vertes, les résultats attendus étaient quant à eux :
- acquérir des connaissances sur la dispersion des insectes pollinisateurs sauvages dans divers types de mosaïque paysagère et sa relation aux points-sources localisés dans les emprises (relations fonctionnelles entre dépendances vertes et paysage environnant);
 - identifier et analyser les facteurs internes et externes aux emprises, influant sur la dispersion des – ou de certains – insectes pollinisateurs sauvages observés dans les zones d'étude (nature des espèces végétales sauvages et cultivées constitutives de la mosaïque paysagère ; maillage ; interactions positives ou négatives diverses...).

Cet ensemble de données (données abeilles sauvages et papillons de jour, facteurs spatio-temporels) étaient destinés à permettre de préciser les liens entre facteurs environnementaux, et présence et distribution des insectes pollinisateurs dans l'emprise et dans la mosaïque paysagère environnante.

● Le projet PolLinéaire couvre dans sa phase d'investigation initiale un large périmètre « atlantique » (régions Bretagne, Pays-de-la-Loire, Poitou-Charentes, Limousin, Aquitaine et Midi-Pyrénées). La connaissance actuelle sur les espèces d'abeilles sauvages présentes dans ce périmètre est inégale, voire lacunaire par endroits. Conduire des investigations dans les dépendances vertes d'infrastructures et dans des milieux de référence dans ce périmètre était donc aussi une occasion de compléter la connaissance générale sur la distribution des espèces d'abeilles sauvages en France.

2.2.2 Prise en compte de la fonction Conduit des dépendances vertes

Le rôle de corridor écologique des dépendances vertes des ILT repose sur les fonctions de Filtre, Puits, Conduit, Habitat et Source, qu'elles peuvent remplir [Burel & Baudry, 1999]. La particularité du projet PolLinéaire est de mettre l'accent sur les fonctions Habitat et Source vis-à-vis des insectes pollinisateurs sauvages, répondant ainsi d'une part à un objectif de préservation d'espèces en déclin (rejoignant les enjeux du PNA « France, terre de pollinisateurs »), et d'autre part à un objectif de sauvegarde du service écosystémique de pollinisation (rejoignant les objectifs du programme national EFES « Evaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques »⁶).

Le comité scientifique et le comité opérationnel de l'AAP Ittecop 2014 ont souhaité que la question de la connectivité écologique permise par les emprises (soit la fonction Conduit permise par les taches de végétation que constituent les dépendances vertes) soit adjointe aux études de sites de PolLinéaire. Associer l'étude de la fonction Conduit à celle de la fonction Habitat, alors qu'elles reposent sur des directions de propagation orthogonales (dans l'axe de l'ILT vs perpendiculairement) a introduit une contrainte méthodologique forte dans la recherche de sites (conjonctions de réseaux plus difficiles à obtenir dans des environnements propices à la présence de populations d'insectes pollinisateurs sauvages).

⁶ <http://www.developpement-durable.gouv.fr/evaluation-francaise-des-ecosystemes-et-des-services-ecosystemiques>

Les recherches de sites appropriés pour la réalisation du projet Pollinéaire ont été orientées de sorte à pouvoir répondre aux objectifs relatifs aux études des fonctions Habitat, Source et Conduit. Ces aspects sont présentés dans les sections 3 et 4 du rapport. La possibilité de réaliser les études sur les sites potentiels s'est confrontée aux contingences opérationnelles, telles que les possibilités d'accès aux emprises des ILT et les conditions météorologiques défavorables à l'observation des insectes (cf. Section 5).

3

Déroulement général du projet

● 1 – Phase de lancement de Pollinéaire

Le projet Pollinéaire a débuté en octobre 2014. Il a donné lieu à une présentation orale lors du séminaire de lancement du programme Ittecop 2014 (Paris-La Défense, 3 octobre 2014). La sélection du projet nous ayant été notifiée avant la clôture des propositions de communications pour la conférence IENE 2014, un poster présentant Pollinéaire a pu y être produit (Malmö, 16-19 septembre 2014 - cf. **Annexe V.1**). L'offre de stage de Master 2 (mars à août 2015) incluse dans le projet a été diffusée en septembre 2014 via le réseau Ecodiff⁷.

● 2 – Démarche générale

Un élément essentiel de la réussite du projet Pollinéaire était la possibilité d'identifier, d'accéder à, et d'étudier des sites permettant de collecter les données nécessaires à l'évaluation des fonctions Habitat, Source et Conduit pour les papillons de jour et abeilles sauvages. Pour ce faire, la première étape a été de définir des configurations d'ILT adaptées. Les fonctions Source et Conduit, reposant sur des directions de déplacement orthogonales, pouvaient difficilement être étudiées sur un même site. Dès l'origine du projet, deux types de configuration de sites sont apparus nécessaires afin de répondre d'une part aux nécessités d'étude de la fonction Source, et d'autre part à celles de la fonction Conduit. La deuxième étape du programme de travail a été d'identifier sur carte, des sites répondant à ces configurations dans le périmètre géographique de Pollinéaire. L'étape suivante a été de pouvoir valider sur place l'intérêt des sites et la faisabilité des études de terrain (ex. accessibilité, sécurité). La dernière étape a été de pouvoir disposer pour les études de terrain, de conditions propices (non défavorables) à la présence des papillons de jour et abeilles sauvages. Ces différents aspects sont abordés dans le rapport.

● 3 – Configuration type des sites recherchés pour l'étude de la fonction Source

Afin de pouvoir juger de la capacité des dépendances vertes à fournir des pollinisateurs sauvages au paysage environnant (phénomène de *spillover* ou « débordement » [Blitzer et al., 2012]), la configuration type nécessaire à l'étude de la fonction Source devait comporter une culture attractive pour les pollinisateurs se situant à proximité immédiate (parcelle limitrophe) d'une dépendance verte. Cette dernière devait s'étendre suffisamment loin au-delà de la limite de la parcelle attractive pour permettre d'évaluer l'effet de la proximité de la parcelle attractive sur les populations observées (notamment nidifiant) dans la dépendance verte. De ce fait, afin de ne pas créer d'interférence, sur cette distance (tronçon), il ne devait se trouver aucune autre culture attractive limitrophe. Cette configuration est représentée par la **figure 3.1**. Elle avait pour objectif

⁷ <https://www.sfecologie.org/ecodiff/>

d'étudier simultanément les fonctions Habitat dans la dépendance verte et Source pour la flore avoisinante (configuration HS).

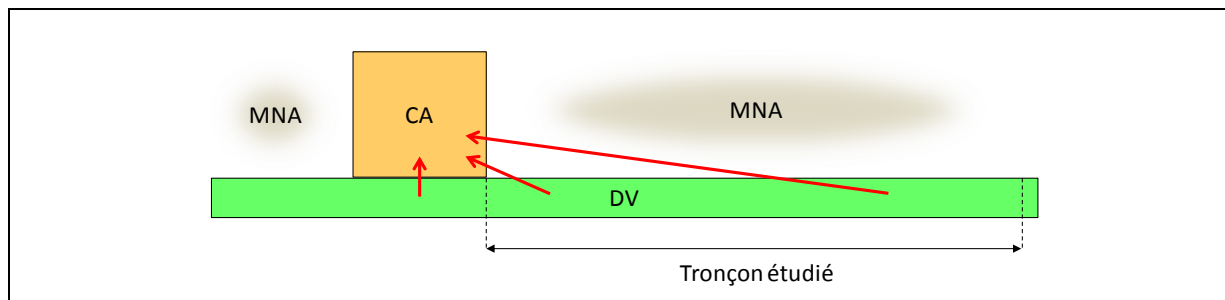


Fig. 3.1 – Configuration type d'un site HS

DV : dépendance verte ; CA : culture attractive ; MNA : milieu non attractif ; Flèches rouges : possibilités de déplacements d'abeilles envisagées

● 4 – Configuration type des sites recherchés pour l'étude de la fonction Conduit

Afin de pouvoir juger de la capacité des dépendances vertes à assurer la circulation des pollinisateurs en leur sein, la configuration type nécessaire à l'étude de la fonction Conduit devait se composer de l'interconnexion de dépendances vertes se situant idéalement (afin de ne pas complexifier l'interprétation par l'interférence de la fonction Source) dans un environnement paysager ne favorisant pas la dispersion latérale des pollinisateurs (milieu non attractif). Les segments d'ILT interconnectés devaient présenter une longueur minimum et un angle minimum entre eux afin d'être certain que les échanges entre eux ne puissent se faire qu'à travers l'intersection entre dépendances vertes. Cette configuration est représentée par la **figure 3.2**. Elle avait aussi pour objectif d'étudier la fonction Habitat dans les dépendances interconnectées (configuration HC).

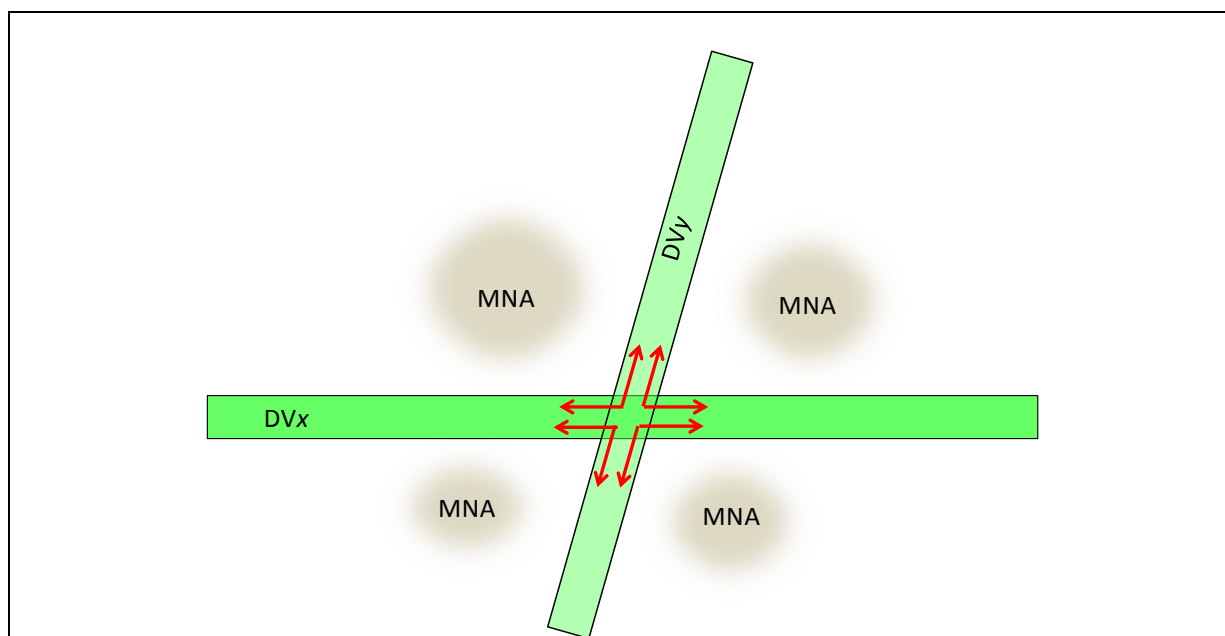


Fig. 3.2 – Configuration type d'un site HC

DVx, DVy : dépendances vertes de divers types d'ILT ; MNA : milieu non attractif ; Flèches rouges : possibilités de déplacements d'abeilles envisagées

Les contextes paysagers dans lesquels les ILT traversent des massifs forestiers offrent des conditions *a priori* particulièrement favorables à l'obtention de configurations HC. Les boisements étant des milieux non attractifs pour les abeilles et papillons de jour, seul le milieu ouvert offert par les dépendances vertes peut y constituer la voie de circulation pour ces insectes. Par ailleurs, par rapport aux dépendances vertes d'infrastructures dédiées aux déplacements, les dépendances vertes de LHT offrent des conditions de quiétude et de surface d'habitat disponible *a priori* particulièrement intéressantes pour leur adoption par les abeilles sauvages et papillons de jour. Le maintien d'un milieu ouvert à l'endroit des LHT, associé en même temps à une pression d'entretien des DV moins forte que pour les autres ILT, fait des LHT en milieu forestier une composante potentielle importante de la configuration HC.

La **figure 3.2** montre la configuration HC de base. Dans un espace compatible avec les distances de vol des abeilles et papillons (unité de site), des intersections multiples entre DV peuvent exister. En respectant le principe du milieu environnant non attractif (MNA), des sites dans lesquels les DV peuvent constituer les uniques voies de circulation ont donc aussi été recherchés pour des configurations présentant 3, voire 4 intersections de DV (configuration HC en boucle - cf. **Figure 3.3**). Dans l'éventualité d'une telle configuration exploitable dans le cadre du projet, grâce à l'unité de sites des comparaisons pouvaient être envisagées entre les diverses interconnexions, notamment en fonction des types d'ILT concernées et des modes d'entretien de leurs dépendances vertes.

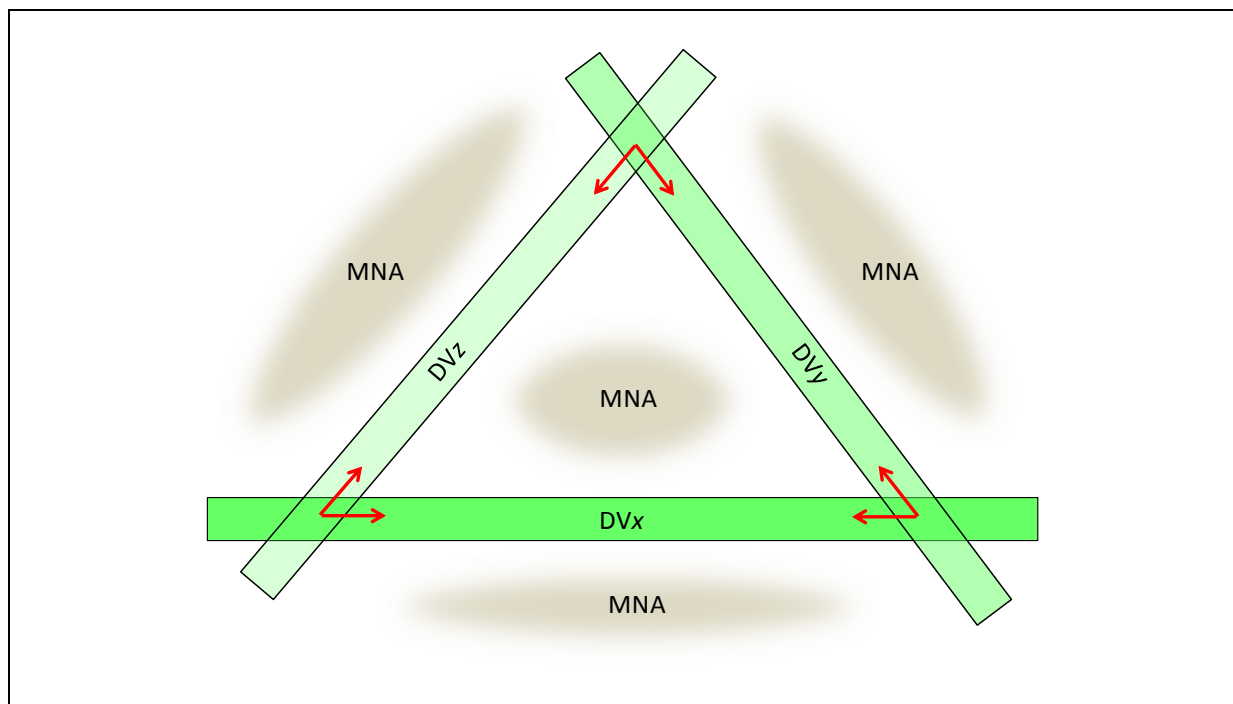


Fig. 3.3 – Exemple de configuration HC en boucle

DVx, DVy, DVz : dépendances vertes de divers types d'ILT ; MNA : milieu non attractif ; Flèches rouges : possibilités de déplacements d'abeilles envisagées

● 5 – Champs de prospection et phasage des études sur sites

L'étape de recherche de sites d'étude répondant à ces deux configurations a été conduite dans les six régions de la bordure ouest de la France : Bretagne, Pays-de-la-Loire, Poitou-Charentes, Limousin, Aquitaine, Midi-Pyrénées.

Concernant les sites HS, les recherches ont été conduites dans les zones de cultures les plus fortement dépendantes des pollinisateurs (ex. certaines cultures d'oléagineux, fruitières, de légumes). Considérant une

caractéristique importante pour la conduite des études de terrain, à savoir sa relativement longue période de floraison, *in fine* c'est le colza (*Brassica napus*) qui a été retenu comme espèce attractive à rechercher pour les études des sites HS.

Concernant les sites HC, il n'y avait pas dans la recherche cartographique de critère strict quant à la nature des espaces bordant les ILT. Mais dans l'optique d'une circulation privilégiée des pollinisateurs dans l'axe des dépendances vertes, des milieux environnants fermés tels que des massifs forestiers constituaient des contextes plus favorables à l'étude de la fonction Conduit et à l'analyse de la connectivité entre dépendances vertes à l'endroit de l'intersection entre ILT.

Pour les sites HC comme pour les sites HS, les ILT qui ont fait l'objet de recherche cartographique ont été le réseau (auto)routier non concédé, le réseau ferré, les voies navigables, les lignes électriques de moyenne à très haute tension.

Compte tenu de la période relativement précoce de floraison du colza, il a été décidé que le planning des travaux de terrain serait dédié dans sa première phase à l'étude des sites HS (printemps 2015). Ceci permettait, en seconde phase des travaux de terrain (période estivale), de se consacrer à l'étude des sites HC, sans contrainte de temps particulière (le stade de développement floristique dans les dépendances vertes serait pris en compte comme une donnée parmi d'autres).

● 6 – Ressources cartographiques utilisées pour identifier des sites d'étude potentiels

Plusieurs bases de données cartographiques ont été utilisées pour identifier des sites susceptibles de répondre aux critères des configurations HS et HC.

La base BD Topo⁸ a servi à connaître les réseaux routiers, les réseaux ferrés, les voies navigables et les réseaux électriques de moyenne à très haute tension.

La base RPG (Registre Parcellaire Graphique) 2012⁹ a été utilisée pour connaître le parcellaire et les cultures pratiquées en 2012 (mise à jour la plus récente). Pour les cultures soumises à rotation telles que les oléagineux (colza, tournesol...), les données 2012 ne pouvaient être qu'indicatives de la pratique plus ou moins répandue de ces cultures dans un secteur donné.

Les bases BD Forêt¹⁰ version 1 et version 2 (mise à jour 2014 disponible pour une partie des départements seulement) ont été utilisées pour connaître les boisements. A la date de réalisation de Pollinéaire, 15 départements du périmètre d'étude de Pollinéaire étaient en version 2. Pour les 14 autres, les dates des photographies aériennes utilisées étaient 2003 (départements 17, 22, 35), 2002 (16), 2001 (09), 2000 (23, 24, 87), 1999 (19, 46), 1998 (32, 82), 1997 (47), 1996 (31).

La base Géoportail¹¹ a été utilisée spécifiquement sur les départements 19, 23, 24, 46 et 87, pour l'identification de sites susceptibles de présenter des tranchées forestières pour le passage des lignes électriques à haute et très-haute tension (cf. **Section 4.2**). Dans la base BD Forêt, ces départements, ciblés car ils présentaient les plus importants massifs forestiers du périmètre d'étude, ne disposaient que de données de 1999 et 2000 (cf. ci-dessus).

Le travail cartographique a permis d'identifier plusieurs sites potentiels de configuration HS dans les régions Bretagne, Pays-de-la-Loire et Poitou-Charentes, en lien avec les réseaux routiers et ferrés (cf. Section 4). Sur l'ensemble du périmètre géographique du projet, le travail cartographique d'identification de sites

⁸ <http://professionnels.ign.fr/bdtopo>

⁹ <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/registre-parcellaire-graphique-2012-contours-des-ilots-cultureux-et-leur-groupe-de-cultures-majorita/>

¹⁰ <http://professionnels.ign.fr/bdforet>

¹¹ <https://www.geoportail.gouv.fr/>

potentiels de configuration HC répondant aux critères attendus a été beaucoup moins concluant. Les sites situés dans des régions boisées présentaient la capacité de créer de fait un conduit (tranchée forestière). Ceux présentant une intersection avec une dépendance verte d'un autre type d'ILT permettaient de répondre à une demande du CS et du CO d'Ittecop d'étudier la connectivité entre ILT. Cependant, dans de telles configurations, les dépendances vertes « sécantes » susceptibles de constituer des habitats acceptables et des conduits potentiels (pouvant par ailleurs être étudiés dans des conditions de sécurité suffisantes), se sont avérés très rares.

● 7 – Sites retenus pour les études de terrain

Compte tenu des informations complémentaires fournies par les gestionnaires des réseaux et des autorisations d'accès obtenues, le programme d'étude des sites HS a été orienté sur les dépendances vertes du réseau routier non concédé. Les reconnaissances de terrain pour vérifier la présence des cultures de colza sur les sites identifiés ont été conduites de début février à début avril 2015. Les reconnaissances des dépendances vertes routières (DVR) ont été faites en lien avec les responsables des centres d'entretien et d'intervention (CEI) concernés. Dans le nord-ouest de la France, le printemps 2015 a été marqué par de nombreux jours aux conditions météorologiques particulièrement mauvaises (froid, précipitations, vent)^{12,13,14} ayant fortement perturbé le planning de la campagne de terrain (journées non propices au vol des insectes). Ceci a fortement réduit le nombre de fenêtres météorologiques favorables à l'activité des abeilles et des papillons, ce qui a empêché d'étudier autant de sites que prévu et *a fortiori* de les étudier à différentes dates. A partir du 27 avril, il ne s'est plus présenté de jour favorable, et ce, jusqu'au 11 mai (tentative d'étude supplémentaire sur l'axe Nantes-Rennes) et au 12 mai (tentative sur l'axe Nantes-Poitiers), où nous avons constaté la fin de la floraison du colza.

Par conséquent, dès la mi-mai 2015, le programme de travail de *Pollinéaire* a dû être consacré à la seconde question du projet. Compte tenu du faible nombre de sites HC potentiels identifiés dans la phase initiale de recherche cartographique (octobre 2014 – janvier 2015), une seconde phase de recherche cartographique a donc dû être lancée afin d'identifier des sites propices aux études de terrain. Pour la raison expliquée plus haut (cf. ● 6), cette recherche a été axée prioritairement sur les sites en « tranchées forestières ». Elle a donc logiquement été conduite dans la zone la plus boisée du périmètre de *Pollinéaire*, soit les cinq départements de Corrèze, Creuse, Dordogne, Haute-Vienne et Lot. Compte tenu de l'ancienneté des données de la BD Forêts sur ces départements (1999-2000), c'est la base Géoportail qui a été utilisée pour cette nouvelle recherche.

Grâce à la réactivité des gestionnaires des groupes d'exploitation et transport (GET) de RTE de Floirac et de Limoges à nos demandes d'information et d'accès aux sites des lignes électriques pour vérification, il a été possible dès le 22 mai 2015 de valider des zones d'études intéressantes sous des lignes électriques à haute tension dans les départements de Dordogne et Haute-Vienne. Considérant d'une part la disparité, la dispersion et souvent la pauvreté des rares sites inter-ILT potentiellement identifiés dans la phase précédente, et d'autre part les perspectives de collecte importante d'information sur ces types de sites (cf. Section 4), il a été demandé au CS et au CO d'Ittecop de pouvoir y consacrer la totalité du travail de terrain restant. Avec leur accord, les études de terrain se sont donc déroulées du 1^{er} juin au 9 juillet 2015, sur 56 sites.

¹² <http://www.historique-meteo.net/france/bretagne/2015/>

¹³ <http://www.historique-meteo.net/france/pays-de-la-loire/nantes/2015/>

¹⁴ <http://www.historique-meteo.net/france/poitou-charentes/poitiers/2015/>

● 8 – Choix méthodologique pour l'étude des fonctions Source et Conduit

L'étude de la fonction Source des dépendances vertes (sites HS), de même que l'étude de la fonction Conduit au sein des dépendances vertes (sites HC), peuvent être abordées au moyen de la technique de marquage/recapture d'individus. Cette technique avait été évoquée dans la préparation du projet comme l'une des possibilités envisageables. Comme il était indiqué dans le projet scientifique, avec cette technique, les insectes capturés une première fois sont marqués (au stylo, à la peinture), relâchés puis recherchés dans le paysage à différentes distances et sur différents pas de temps [Gathmann & Tscharrtkke 2002, Zurbuchen et al., 2010]. Cela permet par exemple d'analyser : (1) les déplacements entre sites de nidification et sites d'alimentation (butinage) chez les abeilles ; (2) la fidélité à un site de butinage chez les abeilles et les papillons (comme pour la configuration HS – cf. **Figure 3.1**) ; (3) les déplacements entre les différentes dépendances d'un même type ou de types différents (cf. contextes de conjonction de dépendances, comme envisagé pour des configurations HC – cf. **Figures 3.2 et 3.3**) ».

Pour mettre en œuvre cette technique avec les abeilles sauvages, deux approches sont possibles. La plus « naturelle » consiste à marquer des abeilles que l'on capture sur le site d'étude, sur des patches de fleurs (exemple : Bhattacharya et al., 2003) ou sur des sites de nidification (exemple : Straka et al., 2014). La seconde consiste à se procurer des abeilles à marquer, par exemple Zurbuchen et al. (2010) recueillent des nids d'abeilles cavicoles en différentes localités de Suisse et les apportent sur le site sur lequel ils veulent étudier les mouvements de ces espèces dans le paysage. Cette approche implique d'anticiper l'étude l'année n-1 pour installer des nichoirs à des endroits où l'on sait que les espèces visées sont présentes. La seconde approche n'était pas possible dans le cadre de Pollinéaire : première étude sur le sujet dans les dépendances vertes, aucun site connu à l'avance.

Compte tenu de l'absence de connaissance préalable sur les abeilles sauvages et papillons pouvant peupler les dépendances vertes et du nombre important de facteurs pouvant interférer sur la situation dans un site donné (présence effective d'abeilles et papillons ; échanges effectifs avec les milieux environnants), par mesure de précaution, plusieurs sites d'étude HS ont été recherchés (cf. Section 4).

Les premiers constats sur les sites HS ont révélé la présence de très peu d'abeilles et papillons, dans les dépendances vertes (routières) comme dans les champs de colza limitrophes : donc peu d'abeilles à marquer et *a fortiori* à recapter (sites HS1 à HS5). Le taux de recapture décroissant avec la distance au nid et avec la taille du domaine d'étude, la technique du marquage aurait nécessité de pouvoir marquer de nombreuses abeilles pour espérer en recapter dans le champ de colza ou en un autre point de la dépendance verte. La proximité immédiate entre le champ de colza et la dépendance verte sur une partie de son linéaire constituait un atout pour la mise en œuvre de cette technique pour, à minima, analyser l'existence d'échanges à l'interface dépendance verte/champ. Pour pouvoir être exploitée de façon optimale, la technique du marquage nécessite aussi de pouvoir bénéficier de plusieurs jours d'observations afin d'augmenter le taux de recapture et la possibilité d'observation de plusieurs déplacements de mêmes individus. La proximité de tous les sites HS par rapport au site de l'Ifsttar et la taille de l'équipe terrain constituée, auraient permis d'assurer ce type de suivi, dès lors qu'un ou deux sites HS auraient présenté des dépendances vertes suffisamment riches en abeilles. Or, même le dernier site (HS6) a montré un nombre d'abeilles insuffisamment élevé, avec de plus le terme de la floraison du colza très proche.

Les sites HC (autre région, autres dates, autre type de dépendance verte) ont montré eux une grande abondance d'abeilles et papillons. La technique du marquage/recapture n'y a pas été envisagée car elle aurait impliqué de séjourner sur un nombre limité de sites, sites par ailleurs relativement plus difficiles à suivre que les sites HS, du fait des distances entre sites localisés en tranchées forestières (TF) et sites de référence (R). Compte tenu du nombre important de sites TF identifiés (et de l'absence totale de connaissances préalables sur les populations d'abeilles et de papillons dans ces milieux), il a été jugé plus pertinent pour le projet de donner la priorité à la mise à profit du plus grand nombre possible d'entre eux, une analyse statistique du degré de similitude entre communautés constituant aussi une façon d'approcher la connectivité au sein des tranchées

forestières (fonction Conduit), de même qu'avec les milieux de référence voisins, et cette approche statistique permettant en même temps d'expliquer la dépendance des communautés observées aux facteurs d'habitat.

Les méthodes mise en œuvre sur chaque type de site sont présentées de façon détaillée en section 5.

● 9 – Organisation de la collaboration entre partenaires

A l'origine du projet, pour la plupart les participants ne connaissaient pas ceux des autres établissements partenaires, et même s'ils se connaissaient déjà, ils n'avaient encore jamais collaborés à des projets communs.

Après la sélection du projet et avant son lancement formel, l'opportunité de présentation d'un poster dans le cadre d'IENE 2014 a été l'occasion d'un premier travail en commun à distance (cf. ● 1). Le poster a été présenté par E. Guinard (Cerema Sud-ouest). Un porte-documents partagé « PolLinéaire » a été mis à disposition le 4 septembre 2014 par le service des ressources informatiques de l'Ifsttar pour les échanges (et élaborations) de documents entre tous les membres de l'équipe. Ce porte-document a servi à échanger des ressources communes (articles, rapports, données, illustrations...), les classer (ex. contrats, conventions...) et à travailler ensemble sur des documents (comptes-rendus, posters, offres de stages...). Un premier regroupement de la quasi-totalité de l'équipe a pu avoir lieu à l'occasion du séminaire Ittecop 2014 (3 octobre 2014).

En septembre 2014 l'offre de stage de Master 2 prévu dans le cadre du programme de travail (de mars à août 2015) a été élaborée en concertation avec tous les membres de l'équipe. Les candidatures retenues par V. Le Féon et D. François, chargés de la procédure de sélection, ont été soumises à l'avis de l'ensemble des membres de l'équipe (octobre-novembre 2014).

Sur la base des configurations types (cf. **Figures 3.1, 3.2 et 3.3** notamment), le travail de recherche de sites à partir de bases de données cartographiques a commencé en octobre 2014. La base de données BD Forêts (V1 et V2) a été fournie par l'Ifsttar en octobre 2014 (O. Bonin, correspondant IGN) et mise à disposition du Cerema Ouest et du Cerema Sud-ouest pour les besoins spécifiques du projet pour les recherches de sites sur les départements les concernants. La mise au point des procédures de requêtes a été élaborée par J.-F. Bretaud en concertation avec V. Le Féon et D. François (plusieurs réunions de travail), avec application (toutes ILT) à l'échelle du périmètre du Cerema Ouest. Les procédures adoptées étaient ensuite transmises au Cerema Sud-ouest pour application par son sigiste (P. Pacevicius) dans son périmètre. Cette recherche cartographique s'est poursuivie jusqu'en février 2015.

La réunion plénière de lancement du projet (démarrage officiel le 1^{er} janvier 2015) a eu lieu les 20 et 21 janvier 2015 à Nantes dans les locaux du Cerema (aspects administratifs et financiers, planning des tâches, méthodologie terrain et typologie des sites d'étude...). Une convention a été établie en janvier 2015 entre l'Inra et l'Ifsttar pour l'accueil de V. Le Féon (Inra) du 1^{er} février 2015 au 30 avril 2016 (15 mois) afin de faciliter le travail avec D. François et de se rapprocher du périmètre d'étude du projet (façade atlantique).

Le colza étant la culture cible choisie pour les sites HS à l'issue de la réunion de lancement du projet, les vérifications sur sites pour validation des mises en culture ont été réalisées conjointement entre le Cerema (J.-F. Bretaud et C. Pineau), l'Inra (V. Le Féon) et l'Ifsttar (D. François) en février 2015. Les contacts avec les CEI concernés ont été établis par l'intermédiaire du Cerema (C. Pineau).

Les deux stages de master 2 (H. Blanchard de l'Université de Grenoble et D. Martinière de l'UPMC) ont fait l'objet d'une convention Ifsttar, avec co-encadrement Inra (V. Le Féon) et Ifsttar (D. François). La formation des stagiaires aux techniques entomologiques a été assurée par V. Le Féon (mars 2015) : reconnaissance des familles d'abeilles sauvages (Andréniés, Apidés, Collétiés, Halictidés, Mégachilidés, Méllitidés) et préparation des individus en vue de leur identification à l'espèce.

Les études sur tous les sites HS (avril 2015) ont été réalisées par V. Le Féon, H. Blanchard et D. Martinière, plus la contribution ponctuelle de D. François (sites HS5 et HS6) et C. Pineau (site HS6).

La seconde phase de recherche cartographique détaillée, spécifique aux emprises de lignes électriques à haute tension en tranchées forestières a été réalisée par V. Le Féon, H. Blanchard et D. Martinière. Les contacts avec les groupes exploitation transport (GET) concernés ont été établis par l'intermédiaire d'E. Droeven (RTE) en mai 2015.

Les études sur tous les sites HC dans les départements de Haute-Vienne et de Dordogne (du 2 juin au 9 juillet 2015) ont été réalisées par V. Le Féon, H. Blanchard et D. Martinière, plus la contribution de D. François (du 17 juin au 9 juillet 2015) et d'E. Guinard (3 juillet 2015). Afin de pouvoir assurer une présence plus continue de l'équipe de terrain en Haute-Vienne et Dordogne, une stagiaire bénévole de Licence de biologie de l'Université de Nantes a été recrutée (R. François, convention Ifsttar, 15 juin au 21 juillet 2015) pour se charger de la préparation des abeilles collectées (formation assurée par V. Le Féon) en vue de leur envoi aux identificateurs.



Fig. 3.4 – Boîte de collection d'abeilles préparées pour les identifications à l'espèce
©Violette Le Féon

Selon la même procédure que pour IENE 2014, un poster a été élaboré pour le séminaire Ittecop 2015 (Sophia-Antipolis). Les participants au séminaire ont été V. Le Féon, B. Vaissière et D. François. Le déplacement a donné l'occasion d'une visite de l'UR Abeilles et Environnement de l'Inra d'Avignon (30 septembre 2015).

Dans le cadre de la diffusion de l'information sur la problématique actuelle des pollinisateurs et sur le partenariat en cours à l'occasion du projet Pollinéraire, un séminaire ouvert au public « Eléments de gestion pour le maintien du service de pollinisation par les abeilles mellifères et sauvages : des enjeux agro-écologiques à la part de l'aménagement, des transports et des citoyens » a été organisé par V. Le Féon et D. François le 14 janvier 2016 (Ifsttar, centre de Nantes, 25 participants). Un doctorant de l'UR Abeilles et Environnement (S. Chabert) a été invité à y présenter une conférence.

Dans le même esprit, dans le cadre des Journées techniques routes (JTR) de l'Ifsttar (Nantes, Cité des congrès) un atelier « Infrastructures de transport et biodiversité » a été organisé par D. François le 11 février 2016 (40 participants). Le projet Pollinéraire y a été présenté par V. Le Féon.

Les deux résumés soumis pour le congrès IENE 2016 de même que le poster, ont été élaborés de la même façon que pour les événements précédents (IENE 2014, Ittecop 2015). Presque tous les membres de l'équipe ont participé au congrès (J.-F. Bretaud, C. Pineau, E. Guinard, B. Vaissière, D. François). Il a été choisi par l'ensemble de l'équipe de tenir la réunion finale du projet (bilan des actions, résultats, préparation du rapport final) à l'occasion de ce congrès (Lyon, 1^{er} septembre 2016).

● 10 – Communication sur le projet et valorisation

En octobre 2015 dans le cadre des Journées Ittecop (Sophia-Antipolis, 1-2 octobre 2015), un état d'avancement de Pollinéaire a été présenté à travers une communication et un poster (cf. **Annexe V.2**). De même, le projet a été présenté dans le cadre d'un atelier « Infrastructures de transport et biodiversité » organisé à l'occasion des Journées Techniques Routes de l'Ifsttar (JTR 2016, Nantes, 11 février).

En février 2016, le projet Pollinéaire est cité dans le Plan national d'actions (PNA) « France, terre de pollinisateurs » (p. 55) au titre des « espaces liés aux infrastructures linéaires » dans la section 6.2 relative aux « bonnes pratiques d'aménagement du territoire ». Pollinéaire a fait l'objet d'un nouveau poster dans le cadre de la conférence IENE à Lyon (30 août – 2 septembre). Celui-ci présentait la méthode générale d'évaluation des fonctions Source et Habitat dans le cadre des dépendances vertes routières et de réseaux électriques respectivement. Il a aussi fait l'objet d'une communication sur le travail effectué dans les emprises des lignes à haute tension (*The habitat value of power line rights-of-way for pollinators (bees and butterflies) in agricultural landscapes*). Il en a été de même pour la conférence internationale Sfécologie à Marseille (*The habitat value of power line rights-of-way for wild bees in rural woody landscapes*).

En 2017, des éléments relatifs au projet Pollinéaire ont été intégrés aux communications présentées par Yannick Autret (MTES) sur le programme Ittecop dans le cadre des conférences internationales IAIA 2017 (*International Association for Impact Assessment*, Montréal, Canada, 4-7 avril) et ICOET 2017 (*International Conference on Ecology and Transportation*, Salt Lake City, Etats-Unis, 14-18 mai). La Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité a invité à présenter le projet à son Conseil d'orientation stratégique (Paris, 20 juin). Dans le cadre des Journées Ittecop (Paris-La Défense, 19-20 octobre), les résultats finaux de Pollinéaire ont été présentés à travers une communication, un poster (cf. **Annexe V.6**). Une vidéo (6'30") y a été réalisée et mise en ligne sur le site Ittecop¹⁵.

En 2018, l'inventaire des données abeilles de Pollinéaire est rendu public sur demande de mise à disposition à partir du site web Ittecop¹⁶. Ces données peuvent alimenter les inventaires régionaux, nationaux et européens. Enfin, dans le cadre du congrès IENE (11-14 septembre, Eindhoven, Pays-Bas), la communication *Usefulness of power line right-of-way for wild bees and butterflies in agroforestry landscapes* a été retenue pour faire l'objet d'un *Lightning Talk*. Les résultats obtenus dans les emprises des lignes électriques à haute tension en tranchées forestières concernant les communautés d'abeilles et de papillons (cf. Sections 6.2 à 6.4) permettent d'envisager leur publication dans une revue scientifique internationale de rang A car elle apportera une contribution notable aux préoccupations et observations récentes sur ce sujet précis [Wojcik & Buchmann, 2012 ; Wojcik et al., 2016 ; Hill & Bartomeus, 2017]. Elle pourra aussi être un apport aux très rares études sur les déplacements transversaux et longitudinaux des insectes à partir des, et dans les, dépendances vertes d'ILT [Villemey et al., 2018¹⁷].

¹⁵ <http://www.ittecop.fr/index.php/recherches-cat/47-recherches-2014/130-pollinaire>

¹⁶ <http://www.ittecop.fr/2-divers/non-categorise/354-inventaire-donnees-abeilles-pollinaire.html?highlight=WyJwb2xsaW5lYWlyZSjd>

¹⁷ Article issu de la revue systématique COHNECS-IT réalisée dans le cadre du programme Ittecop 2014.

4

Recherche de sites d'étude

4.1 Recherche des sites d'étude Habitat-Source

4.1.1 Analyse cartographique

Pour l'identification de sites correspondant à la configuration HS, la recherche cartographique a consisté à croiser la base BD Topo (réseaux routier, ferré, navigable et électrique) avec la base RPG 2012 pour les cultures de certains oléagineux (tournesol, colza), de fruitiers et de certains légumes.

Concernant les cultures, la trop grande abondance de surface attractive dans un paysage donné, constituait un écueil à éviter par rapport à l'objectif de l'étude. Une mosaïque paysagère trop uniformément couverte en cultures attractives n'offrant pas la possibilité de mesurer un quelconque effet de la distance entre la source (la dépendance verte) et les plantes pollinisées hors emprise (en l'occurrence des cultures). Il était cependant aussi nécessaire qu'à l'échelle de l'ensemble du périmètre d'investigation de PolLinéraire, la culture soit suffisamment présente pour permettre l'étude d'un nombre significatif de sites.

Le colza répondait à ces critères, dès lors que l'on évitait les zones de grandes cultures (ex. marais poitevin). Il offrait de surcroît une période de floraison relativement longue, et une précocité avantageuse pour tirer au mieux parti de la période favorable aux études de terrain (période de vol des abeilles et papillons).

Les requêtes cartographiques ont permis de faire apparaître en particulier des zones d'étude potentielles liées à des dépendances vertes de routes du réseau national et du réseau ferré.

Les dépendances vertes potentiellement intéressantes se situaient le long des routes nationales n° 12 (axe Rennes-Morlaix), n° 24 (axe Rennes-Lorient), n° 137 (axe Nantes-Rennes), n° 147 (axe Poitiers-Limoges, secteur de Lussac-les-Châteaux), n° 149 (axe Nantes-Cholet, secteur de Vallet), n° 164 (axe Rennes-Carhaix, secteurs de Loudéac et Rostrenen), n° 165 (axe Brest-La Roche-Bernard), n° 249 (axe Cholet-Poitiers, secteurs de Bressuire et Vouillé). Les dépendances vertes de voies ferrées potentiellement intéressantes se situaient dans les environs de Vitré (35), Dinan (35), Lusignan (86), Niort (79), Couhé (86), Ruffec (16) et Angoulême (16).

Les **figures 4.1** et **4.2** présentent des illustrations des résultats des requêtes relatives respectivement au réseau routier national et au réseau ferré.

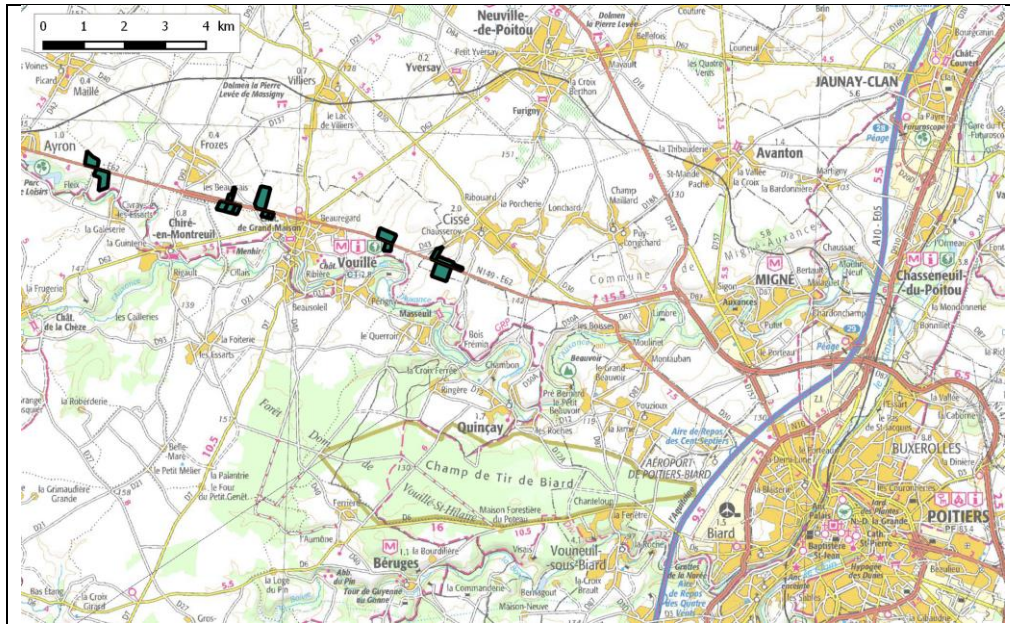


Fig. 4.1 – Repérage cartographique de parcelles cultivées en colza (RPG 2012) à proximité d’une route du réseau routier national (RN 149/249, Nord-ouest de Poitiers, Vienne)

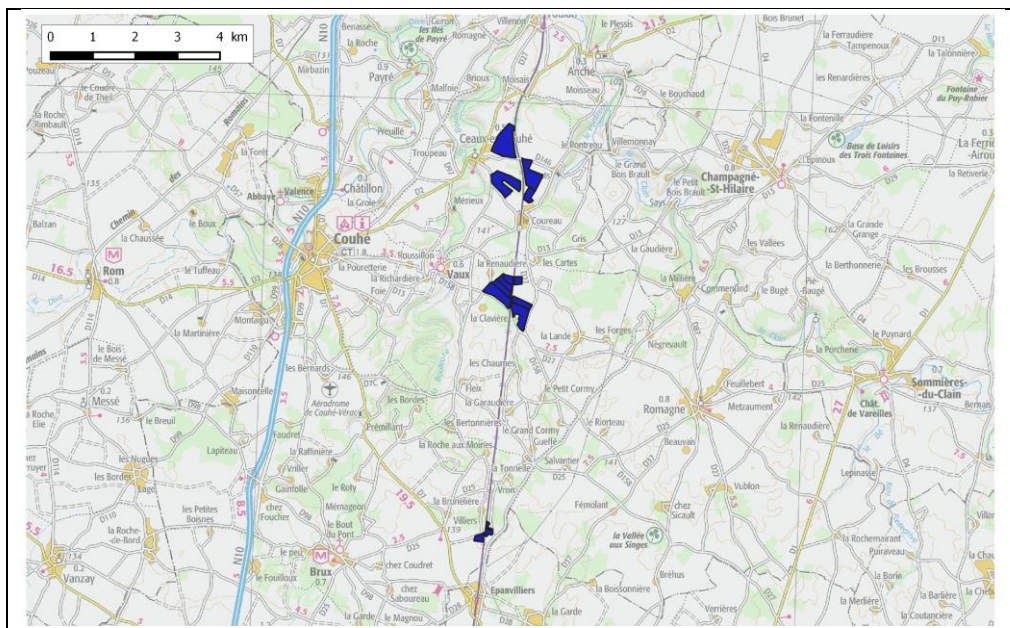


Fig. 4.2 – Repérage cartographique de parcelles cultivées en colza (RPG 2012) à proximité d’une voie ferrée (Ligne Poitiers-Angoulême, Est de Couhé, Vienne)

Sur la base de ces identifications cartographiques, les gestionnaires de réseaux ont été sollicités durant le mois de février 2015 afin de nous permettre de confirmer l’intérêt de ces sites (informations sur l’état réel des dépendances vertes et/ou autorisations d’accès pour procéder par nous-mêmes aux vérifications sur place). Ces demandes ont été adressées pour le réseau routier aux directions interdépartementales des routes (DIR) Ouest (pour des sites potentiels identifiés en Bretagne et Pays-de-la-Loire) et Centre-Ouest (pour des sites potentiels en Poitou-Charentes). Pour les dépendances *a priori* intéressantes du réseau ferré dans les régions Bretagne et Poitou-Charentes, les demandes ont été adressées à SNCF Infra.

4.1.2 Vérification sur place et validation

Compte tenu de la rotation des plans d'assolement, il était nécessaire de s'assurer de la présence de cultures de colza en 2015 dans les sites potentiels identifiés. Concernant ceux situés aux abords des routes du réseau national, la vérification a été réalisée par nous-mêmes à partir du mois de février : RN 12, RN 24, RN 164, RN 165, RN 166, RN 137, RN 149/249. Les parcelles cultivées en colza n'étaient pas forcément les mêmes que celles cartographiées dans le RPG 2012. La possibilité pour ces sites de constituer néanmoins des cas d'étude conformes aux attendus des sites HS (cf. **Figure 3.1**) a été jugée sur place (existence d'une parcelle de colza avoisinant la dépendance verte ; existence d'un linéaire d'au moins 1000 mètres sans autre culture attractive). La largeur des dépendances vertes devait être suffisante (au moins 3 mètres) pour offrir les conditions d'un habitat potentiel et la sécurité nécessaire pour les interventions.

Il était impératif de prévenir tout risque de perturbation des observations quant à l'attrait de la culture pour les abeilles sauvages par l'éventuelle concurrence avec l'abeille mellifère [Geslin et al., 2017 ; Magrach et al., 2017]. Tous les sites d'étude HS ont donc été recherchés en veillant à éviter la présence de ruches dans l'environnement proche des tronçons d'étude potentiels (absence impérative dans la DVR, présence la plus éloignée possible au sein de la zone d'étude paysagère (cf. **Figure 5.3**).

Pour les sections routières qui présentaient effectivement un intérêt pour l'étude, nous avons été mis en contact par les DIR avec les responsables des centres d'entretien et d'intervention (CEI) des secteurs concernés : Rostrenen (RN 164), Bain-de-Bretagne (RN 137), Héric (RN 137), Haute-Goulaine (RN 249, partie ouest) et Bressuire (RN 249, partie est) afin de les informer de nos intentions d'études sur site et de collecter les renseignements utiles sur leurs pratiques d'entretien des dépendances vertes.

Compte tenu des réponses à nos demandes aux gestionnaires de réseaux contactés, nous avons investi du temps de vérification de la nature des cultures et de leur positionnement exact, uniquement au bord des routes nationales. C'est donc un ensemble de sites en bordure de ces routes qui a permis de composer le panel de dépendances vertes pour l'étude des fonctions Habitat et Source.

4.2 Recherche des sites d'étude Habitat-Conduit

4.2.1 Analyse cartographique

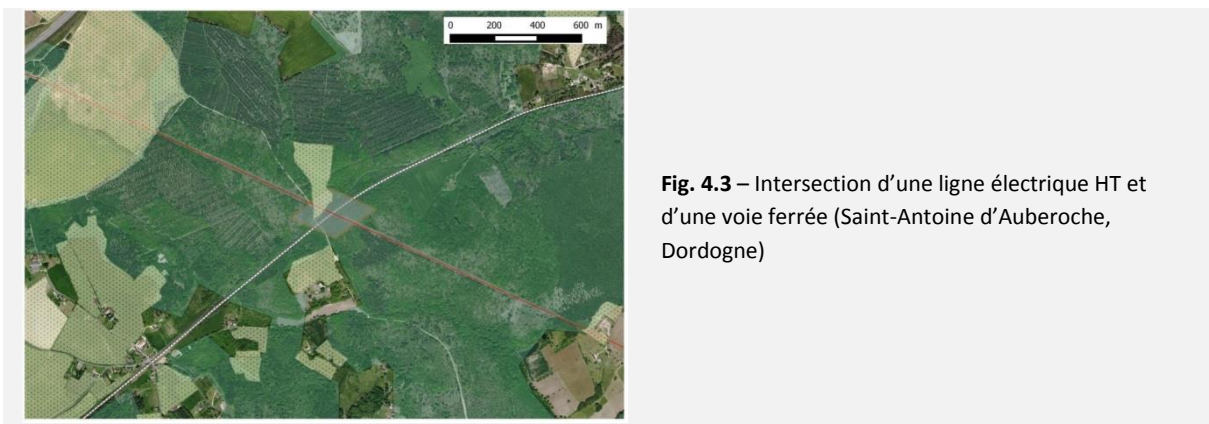
Pour l'identification de sites correspondant à la configuration HC, la recherche cartographique a consisté à superposer (grâce à la base BD Topo) les différents réseaux, routier, ferré, navigable et électrique et à rechercher leurs intersections. Ce genre de configuration est plus fréquent près des agglomérations car les réseaux d'ILT y convergent. Mais les zones urbaines étaient exclues du champ d'investigation car l'étude ayant aussi comme objectif d'évaluer la qualité des habitats, des milieux de référence naturels ou semi-naturels étaient nécessaires à proximité.

Les requêtes cartographiques ont été réalisées pour toutes les combinaisons possibles de deux types de réseaux, trois types de réseaux, et les quatre types de réseaux simultanément. Les intersections simples ont été recherchées, de même que les intersections doubles, triples (cf. **Figure 3.2** et **3.3**), voire quadruples (formant un quadrilatère). Pour les intersections multiples, les critères de recherche étaient que deux intersections ne soient pas éloignées de plus de quelques centaines de mètres afin de rester compatibles avec les distances de vol de la plupart des abeilles sauvages.

La largeur des dépendances vertes concernées devait être suffisante (au moins 3 mètres) pour offrir les conditions d'un habitat potentiel et la sécurité nécessaire aux études sur site (trafic automobile et ferroviaire). Les intersections observées sur plan devaient correspondre à de véritables connexions physiques, donc préférentiellement être « à niveau ». Ainsi par exemple, des traversées en viaduc (routier, ferroviaire) de vallons dans lesquels étaient implantées d'autres ILT auraient présenté des difficultés opérationnelles.

Les recherches de sites HC ont été conduites sur l'ensemble du périmètre d'étude de Pollinéaire. La possibilité pour une dépendance verte de jouer le rôle de conduit est plus probable dans un environnement paysager peu attractif pour les pollinisateurs. Il n'a pas été intégré *a priori* de contrainte sur le type d'occupation du sol dans les requêtes, mais des paysages occupés par de grandes cultures non attractives ou des massifs boisés (feuillus, conifères ou mixtes) par exemple, pouvaient constituer des milieux propices à l'identification de sites HC. Cette recherche cartographique a fait émerger plusieurs dizaines de sites potentiels.

La **figure 4.3** présente un exemple de site potentiel identifié par cartographie mais finalement non retenu du fait des caractéristiques réelles observées sur le terrain. Une ligne électrique (trait rouge) et une voie ferrée (pointillés) se croisent dans une zone boisée étendue. Malgré sa configuration intéressante, ce site présentait deux handicaps pour l'étude des fonctions Habitat et Conduit. D'une part, le boisement peu dense ne favorisait pas la délimitation nette d'une véritable tranchée forestière, le milieu étant finalement plutôt ouvert. D'autre part, les DV ferroviaires très étroites se sont avérées inadaptées à l'étude.



L'interruption prématurée (avant la fin avril) de la phase d'étude des sites HS d'une part, la rareté des sites HC potentiels identifiés par la recherche cartographique d'autre part, imposait de lancer rapidement une nouvelle recherche cartographique afin d'identifier des sites propices à l'étude de la fonction Conduit. Afin d'améliorer l'efficacité de cette recherche, celle-ci a été focalisée sur les zones les plus boisées du périmètre de Pollinéaire, à savoir les départements 19, 24 et 87. Ceci dans le but de cibler d'emblée des tranchées forestières d'ILT susceptibles de jouer le rôle de conduit, soit entre dépendances vertes d'autres ILT, soit entre des milieux naturels favorables aux pollinisateurs (milieu non attractif (MNA) = boisement - cf. **Figure 3.2** et **3.3**). Tous les types d'ILT étaient pris en compte dans cette recherche, mais les intersections entre dépendances vertes d'ILT n'étaient donc plus les seules configurations recherchées. Du fait de l'ancienneté des données disponibles pour ces trois départements (1999 et 2000), c'est la base Géoportail qui a été utilisée pour cette nouvelle recherche.

Cette recherche a révélé un grand nombre de sites potentiels. En limitant la recherche aux tranchées forestières d'au moins 300 mètres de long (seules ou présentant une intersection avec d'autres ILT), 206 sites potentiellement intéressants ont été identifiés. La **figure 4.4** présente leur distribution sur les trois départements (points sur les lignes vertes).

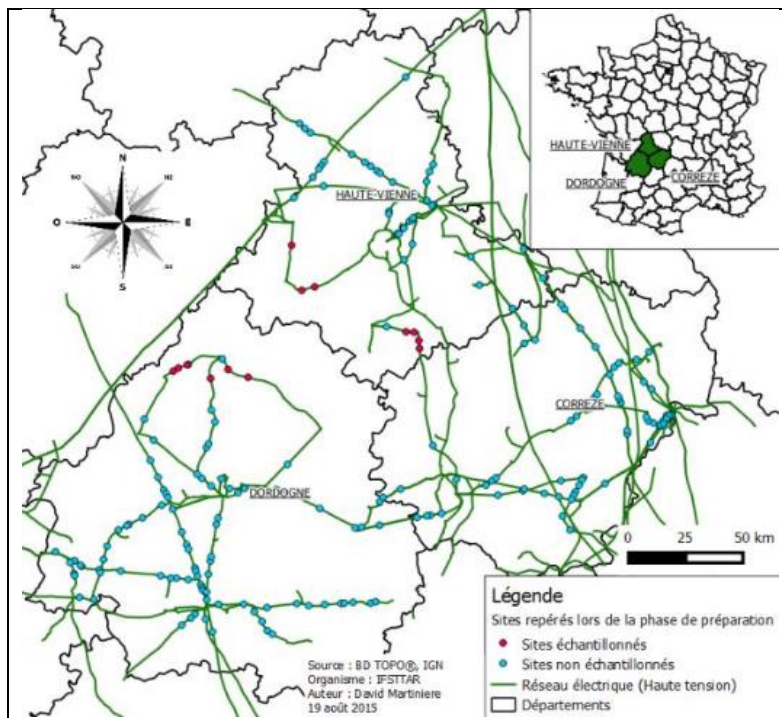


Fig. 4.4 – Localisation des sites d'étude HC potentiels dans les départements de Corrèze, Dordogne et Haute-Vienne © David Martinière

4.2.2 Vérification sur place et validation

Le gestionnaire (RTE) a été sollicité dès le début du mois de mai 2015 afin de nous permettre de vérifier l'intérêt des sites HC identifiés par cartographie. Le responsable de la gestion de la végétation dans les dépendances vertes du réseau RTE pour le département de Dordogne a été rencontré le 21 mai. L'entretien avec son homologue pour le département de la Haute-Vienne a eu lieu le 26 mai.

Compte tenu du grand nombre de sites d'étude possibles, il a été décidé de privilégier les études dans les sites se trouvant à l'intérieur du parc naturel régional Périgord-Limousin¹⁸. Ceci afin de bénéficier des meilleures conditions possibles en termes de richesse faunistique et floristique, pour les études dans les dépendances vertes du réseau électrique, comme dans les endroits pris comme sites de référence (cf. Section 5). L'inscription de sites HC dans l'espace du PNR offrait aussi *a priori* l'avantage de pouvoir bénéficier d'informations des gestionnaires du parc sur les espèces présentes, leur distribution, l'historique éventuel des sites. Une rencontre avec eux a eu lieu le 5 juin. Cette démarche a conduit à circonscrire le périmètre d'étude entre le sud de la Haute-Vienne et le nord de la Dordogne.

¹⁸ <http://www.pnr-perigord-limousin.fr/>

5

Travail de terrain

5.1 Panel des sites étudiés

5.1.1 Les sites Habitat-Source

La **figure 5.1** présente sur l'ensemble du réseau routier prospecté, les axes exclus après vérification sur place (en rouge) et ceux retenus pour les études de site (en vert). Au total, une douzaine d'étude de sites HS était envisagée. La localisation des sites effectivement étudiés est indiquée par un point jaune. La **figure 5.2** présente une vue typique d'un site d'étude HS.

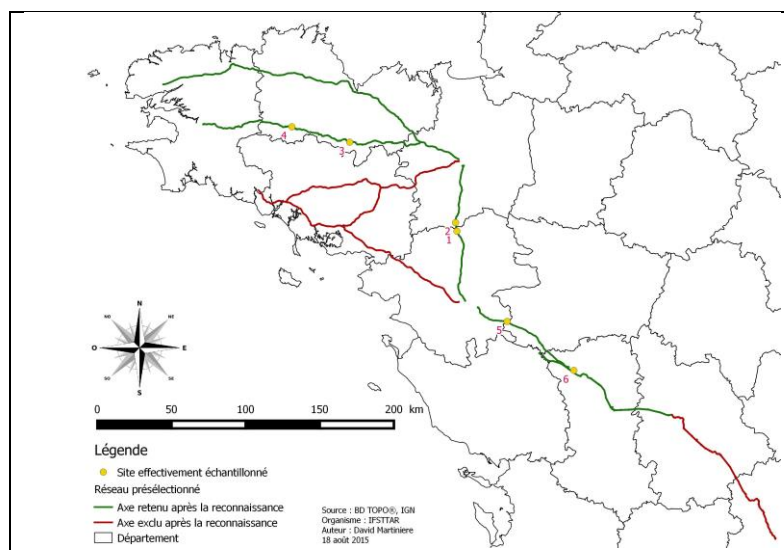


Fig. 5.1 – Localisation des sites d'étude HS retenus



Fig. 5.2 – Site d'étude HS retenu sur la RN 164 (Loudéac, Côtes d'Armor)

©Violette Le Féon

Le **tableau 5.a** présente les dates et localisations des études de terrain sur les sites d'étude HS. Dans le secteur nord-ouest, à partir de la dernière semaine du mois d'avril 2015, les conditions météorologiques sont devenues très instables dans le temps et dans l'espace et souvent peu favorables à l'activité des abeilles et papillons. La stratégie adoptée face à cette situation a été d'essayer de mettre à profit les opportunités de fenêtre météo les plus favorables en ne restant pas fixé sur un secteur. Elle a consisté à se restreindre d'abord à un nombre limité de sites répartis sur les 3 axes routiers retenus, afin d'assurer dans un premier temps la couverture de l'ensemble du domaine d'étude, pour ensuite, si les conditions météo devenaient plus propices, réaliser un « tour » complémentaire. Les mauvaises conditions météo se sont maintenues jusqu'à la fin du mois d'avril, et seul le premier tour a pu être effectué.

Tableau 5.a : Localisation, date et conditions météorologiques des études de sites HS

Sites	HS1	HS2	HS3	HS4	HS5	HS6
Route	RN 137	RN 137	RN 164	RN 164	RN 149/249	RN 149/249
Commune	Derval	Grand-Fougeray	Loudéac	Plouguernevel	Vallet	Bretignolles
Département	44	35	22	22	44	79
CEI	Héric	Bain-de-Bretagne	Rostrenen	Rostrenen	Haute-Goulaine	Bressuire
Date d'étude	15/04/2015	16/04/2015	20/04/2015	21/04/2015	22/04/2015	24/04/2015
Etat du ciel	Quelques nuages	Voilé	Dégagé	Dégagé	Dégagement progressif	Dégagement progressif
Luminosité (W/m ²)	48000	23400	47000	43000	13000-45000	10000-45000
Température de l'air (°C)	25	21	21	20	20-33	18
Vent (m/s)	0,7	0,5 (1,5)*	0,8 (1,5)*	0,5 (3)*	0,5 (2)*	1

* (vitesse des rafales)

Dans la perspective d'analyser l'influence de la structure et de la composition du paysage sur la composition des communautés d'abeilles au sein des DVR et dans les champs de colza voisins, les études de sites HS prévoyaient la description de l'occupation du sol dans un rayon de 1000 mètres de part et d'autre du tronçon de 1 km de long de DVR étudiée, soit sur environ 5 km². La **figure 5.3** présente la configuration des zones d'études HS. Le tronçon de DVR étudié s'étend sur 1 km à partir du début du champ de colza (C).

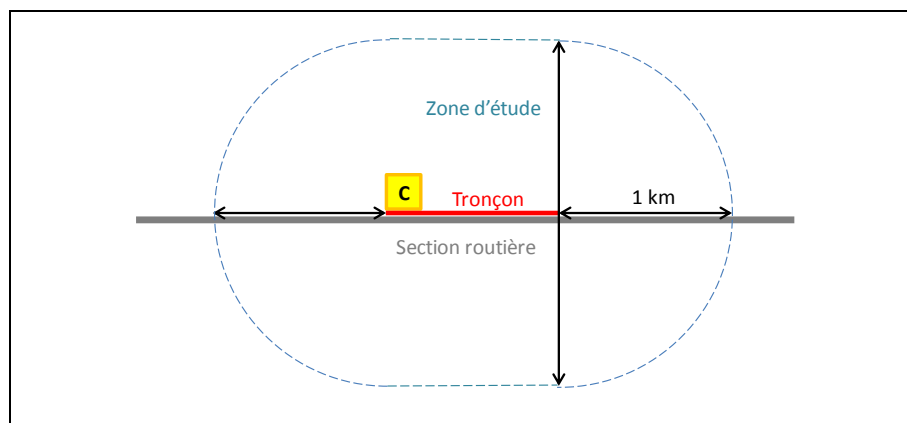


Fig. 5.3 – Configuration de la zone d'étude des sites HS

Les variétés de colza cultivées dans les parcelles de ce périmètre (celles avoisinant la DVR et celles distantes) ont été recherchées auprès des exploitants et des coopératives agricoles. Toutes les parcelles pour lesquelles les informations ont été obtenues, étaient cultivées en variétés « 00 », donc à faible teneur en acide érucique.

Un questionnaire a été adressé aux responsables de chaque CEI pour obtenir des informations sur l’histoire des sections routières dans lesquelles se situaient les sites d’étude HS. Les demandes d’information portaient notamment sur la date de mise en service des tronçons (âge des DVR), leur végétalisation [SETRA, 1994], les pratiques d’entretien de la strate herbacée, de débroussaillage, d’emploi de produits phytosanitaires. Le formulaire est présenté en **Annexe T.2**.

5.1.2 Les sites d’étude Habitat-Conduit

Les études de terrain sur les sites HC se sont déroulées du 2 juin au 9 juillet 2015. Le **tableau 5.b** présente les dates et localisation des études de terrain sur tous ces sites (TF : sites de tranchées forestières ; R : sites de référence).

Pour les sites HC comme pour les sites HS, sur un ensemble de sites préalablement reconnus, sur place le protocole d’échantillonnage était déclenché dès lors que les conditions météorologiques étaient propices à l’activité des abeilles. Dans certains cas il a ainsi parfois été nécessaire d’attendre quelques instants que les conditions deviennent favorables avant de débiter l’échantillonnage (dissipation de la couverture nuageuse, chute du vent...), ou bien l’échantillonnage a été reporté à une date ultérieure. Cette dernière situation explique notamment l’existence de dates d’échantillonnage en juin et en juillet dans certains secteurs (communes de Rudeau-Ladosse, Meuzac, Château-Chervix).

Tableau 5.b : Localisations et dates d’étude des sites HC

Ligne		Commune	Département	Sites TF	Sites R
Nom	Création			Nombre (et dates)	Nombre (et dates)
Bertric - Nontron	1950	Rudeau-Ladosse	24	7 (02-03/06 + 06-07/07/2015)	7 (02-03/06 + 06-07/07/2015)
	1950	Puyrenier	24	2 (04/06/2015)	1 (04/06/2015)
Site de référence voisin		Beaussac	24	0	1 (04/06/2015)
Champagnac – Saint-Martin-Le-Vieux	1990	Champsac	87	2 (09/06/2015)	0
	1980	Pageas	87	1 (09/06/2015)	0
	1980	Rochechouart	87	2 (17/06/2015)	0
Sites de référence voisins		Saint-Auvent	87	0	2 (17/06/2015)
Site de référence voisin		Gorre	87	0	1 (17/06/2015)
La Traverse - Lubersac	1970	Meuzac	87	6 (18/06 + 01/07 + 04/07/2015)	5 (01/07 + 03-04/07/2015)
	1960	Château-Chervix	87	4 (19/06 + 02/07/2015)	4 (02-03/07/2015)
Brantôme - Nontron	1980	La Chapelle-Montmoreau	24	3 (08/07/2015)	1 (08/07/2015)
Nontron - Thiviers	1980	Milhac-de-Nontron	24	2 (11/06/2015)	1 (11/06/2015)
	1980	Sceau-Saint-Angel	24	1 (09/07/2015)	2 (09/07/2015)
	1980	Saint-Front-la-Rivière	24	1 (09/07/2015)	0

Au total 31 sites de dépendance verte de LHT en tranchées forestières (TF) ont été étudiés, et 25 sites de référence (R). Les sites choisis comme référence étaient des milieux herbacés tels que des prairies de fauche ou pâturées, des pelouses sèches ou des landes, en fonction des possibilités se présentant localement. Pour chaque site (TF ou R), environ 1000 m² de surface étaient prospectés à chaque fois. Les tranchées forestières mesuraient une cinquantaine de mètres de large. La méthode d'étude des sites HC est détaillée dans la section 5.3. Les informations détaillées sur les sites d'étude HC sont présentées en **Annexe T.3**.

La **figure 5.4** présente la distribution spatiale de l'ensemble des sites d'étude HC (l'aire du parc naturel régional Périgord-Limousin est indiquée en vert). Chaque localisation est entourée d'un cercle de 3 km de rayon (vert pour les sites TF, orange pour les sites R) correspondant à la distance de déplacement maximale des plus grosses abeilles (ex. bourdons, xylocopes) depuis leur nid. La **figure 5.5** présente une vue typique d'un site d'étude HC : tranchée forestière longue débouchant sur des milieux ouverts (typiquement des prairies ou des pelouses sèches).

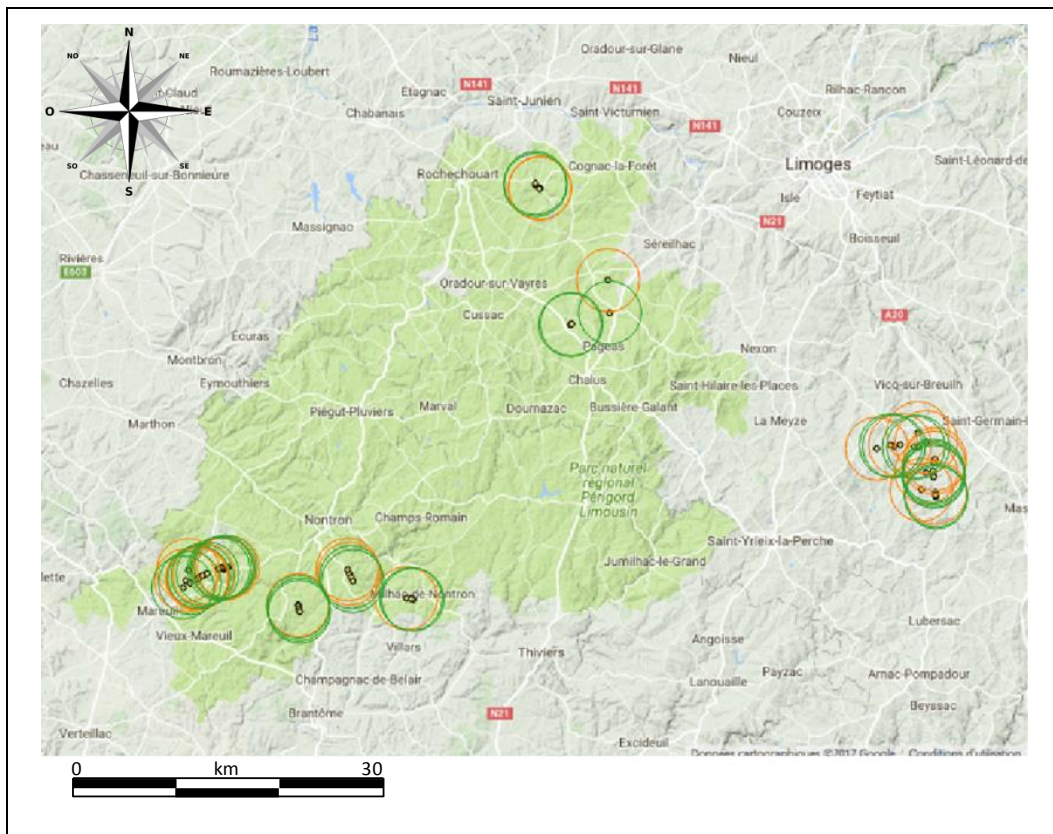


Fig. 5.4 – Distribution spatiale de l'ensemble des sites d'étude HC (sites TF au centre des cercles verts, sites R au centre des cercles oranges)



Fig. 5.5 – Site d'étude HC sur la ligne Bertric-Nontron (Rudeau-Ladosse, Dordogne)

©Violette Le Féon

5.1.3 Caractérisation des sites d'étude

Pour l'ensemble des sites étudiés (HS et HC), les caractéristiques de l'habitat ont été notées :

- présence de sol nu ;
- présence de tiges creuses (offertes par des végétaux secs dont les ronces notamment) ;
- présence de bois mort (arbres sur pied, souches, branchages à terre) ;
- existence de sites de nidification actifs ;
- existence de points d'eau ;
- largeur du site ;
- topographie.

De même, les conditions météorologiques au moment de l'étude du site (DVR, TF et sites de référence – R – pour les études HC) ont été enregistrées : vitesse du vent, température ambiante (anémomètre-thermomètre Fischer Scientific 15-078-195), luminosité (luxmètre digital Velleman DVM 8050), couverture nuageuse.

Une fiche de saisie terrain a été utilisée pour recenser toutes ces informations et établir un croquis de chaque site. Cette fiche est présentée en **Annexe T.4**.

5.2 Echantillonnage dans les sites d'étude Habitat-Source

5.2.1 Collecte de données dans les dépendances vertes routières

Pour chaque site d'étude HS, un tronçon de prospection d'une longueur d'un kilomètre de DVR parallèle à la chaussée a été parcouru à pied, le point d'origine du tronçon étant situé face au champ de colza. Les relevés botaniques et les captures d'insectes (abeilles et rhopalocères) ont été effectués à l'intérieur de ce tronçon.

5.2.1.1 Abeilles

Dans les DVR, les captures d'abeilles ont été réalisées en se basant sur des unités spatiales appelées "taches florales". Nous avons considéré une tache florale comme un agrégat continu de plantes à fleurs facilement repérable et isolé des autres, pouvant être mono ou plurispécifique. La méthode de capture au filet a été préférée à celle des coupelles colorées car elle permet de connaître la plante butinée par chaque

spécimen collecté [Popic et al., 2013]. Certaines abeilles ont également été capturées directement dans un flacon de collecte quand cela était plus aisé (abeille posée sur une fleur de plante épineuse comme les ajoncs ou les ronces par exemple). L'effort d'échantillonnage était de cinq minutes par tache florale. Les abeilles qui venaient butiner sur les fleurs composant la tache florale observée et situées à portée de filet étaient capturées, avec arrêt du chronomètre à chaque capture afin de contrôler la durée des temps effectifs de collecte. Si aucune abeille n'était observée pendant les deux premières minutes, les observations sur la tache florale considérée s'arrêtaient et le collecteur passait à la tache florale suivante.

Sur les sites d'étude HS aussi bien que sur les sites HC, nous avons capturé des abeilles en dehors des sessions de capture standardisées. Il s'agit de spécimens pris en vol ou sur des fleurs alors que la session de collecte standardisée était terminée mais que nous étions toujours sur place – pendant le conditionnement des captures - ou bien observés lors du déplacement entre deux patchs (DVR) ou quadrats voisins (sites TF et R). Ces captures "opportunistes" permettent d'améliorer la connaissance des abeilles et de leur distribution.

Chaque abeille était immédiatement placée dans un flacon de collecte, tuée avec un coton imbibé d'acétate d'éthyle. Une étiquette comportant le nom du site, le numéro de tache florale, le nom du collecteur, la date, l'heure et l'espèce végétale butinée était insérée dans le flacon. Les abeilles domestiques étaient capturées, dénombrées puis relâchées car facilement identifiables, les conserver pour identification à l'espèce ne se justifiait pas.

De retour au laboratoire les abeilles étaient préparées selon les techniques entomologiques usuelles en vue de leur identification. Elles ont été envoyées à différents spécialistes pour détermination à l'espèce :

- Matthieu Aubert pour la famille des Mégachilidés et les genres *Anthophora*, *Ceratina*, *Eucera* et *Xylocopa* ;
- Holger Dathe (Allemagne) pour le genre *Hylaeus*;
- Eric Dufrêne pour les abeilles parasites (genres *Coelioxys*, *Nomada* et *Sphecodes* dans notre cas);
- David Genoud pour les genres *Bombus* et *Colletes* et les familles Andrenidés et Halictidés (hormis le genre *Sphecodes*).

5.2.1.2 Papillons

Sur l'ensemble du tronçon de prospection, les papillons de jour ont été capturés au filet, identifiés à l'espèce puis relâchés. Leur abondance n'a pas été prise en compte car ils étaient très difficiles à quantifier avec certitude. Seule a été notée la présence ou l'absence des différentes espèces pour chaque site.

5.2.1.3 Flore

Un relevé exhaustif des plantes en fleur sur le tronçon a été réalisé afin d'avoir une idée des ressources florales disponibles pour les pollinisateurs au moment de la prospection.

Pour les taches florales sur lesquelles ont été capturées les abeilles, différentes caractéristiques ont été notées : les espèces en fleur ainsi que leur recouvrement respectif au sein de la tache selon l'échelle d'abondance-dominance de Braun-Blanquet, la pente et l'exposition de la tache, le caractère ombragé ou ensoleillé de la tache au moment des captures ainsi que la hauteur de la végétation. Toutes les observations botaniques ont été saisies en ligne sur le site Tela-Botanica (carnet en ligne de David Martinière) et font partie de la base de données Flora Data.

5.2.2 Collecte de données dans les champs de colza voisins

Les captures ont été réalisées dans le champ de colza adjacent aux DVR. Elles ont été réalisées dans les premiers mètres du champ du côté des DVR d'une part et du côté opposé d'autre part (côté matrice agricole). Les points de collecte étaient distants de 100 mètres. Le même effort d'échantillonnage que pour les captures

dans les DVR était appliqué (cinq minutes par point). La procédure de capture et de préparation des abeilles était la même que pour les DVR.



Fig. 5.6 – Capture d’une abeille sauvage sur une tache florale composée de primevères officinales (*Primula veris*) - Vallet, Loire-Atlantique ©Violette Le Féon



Fig. 5.7 – Session de capture d’abeilles sauvages dans un champ de colza bordant une dépendance verte ©Héloïse Blanchard

5.3 Echantillonnage dans les sites d’étude Habitat-Conduit

5.3.1 Collecte de données dans les tranchées forestières

5.3.1.1 Abeilles

Dans les tranchées forestières, les captures ont été réalisées sur des surfaces d’environ 1000 m² dont les caractéristiques sont les suivantes :

- longueur : une demi-distance inter-pylônes (ou demi-portée) soit environ 50 mètres ;
- largeur : toute la largeur de la tranchée jusqu’aux arbres matérialisant la lisière de la forêt, soit une vingtaine de mètres.

Le temps d’échantillonnage par quadrat était constant, d’une durée totale de 40 minutes (2 collecteurs x 20 min). Au cours de l’échantillonnage toutes les abeilles sauvages vues ont été capturées et placées dans des flacons avec une étiquette sur laquelle était noté le numéro de zone, le numéro du site, la date, le collecteur et l’activité de l’abeille (choix parmi quatre catégories: butinage en précisant l’espèce végétale, capture au vol, vol rasant près du sol, capture en sortie de nid). La procédure de capture et de préparation des abeilles était la même que pour les DVR. L’abondance des abeilles domestiques a été notée pour chaque quadrat.

5.3.1.2 Papillons

Pour les papillons, les mêmes quadrats que ceux indiqués ci-dessus ont été prospectés dans les tranchées forestières et les milieux de référence. Nous avons noté la présence ou l’absence des différentes espèces. Les observations étaient poursuivies jusqu’à ce qu’il n’y ait plus de nouvelle espèce identifiée par l’ensemble des observateurs.

5.3.1.3 Flore

Un relevé exhaustif de toutes les espèces végétales en fleur au moment de la prospection a été réalisé en estimant le recouvrement respectif de chaque espèce au sein du quadrat selon l’échelle de Braun-Blanquet. Toutes les observations botaniques ont été saisies dans la banque de données de Flora Data sur le site internet Tela-Botanica. De plus, le recouvrement total en fleurs a été estimé à l’échelle du quadrat.



Fig. 5.8 – Exemple de tranchée forestière étudiée (ligne Nontron-Thiviers, Sceau-Saint-Angel, Dordogne)
©Violette Le Féon

5.3.2 Collecte de données dans les milieux de référence

Un protocole similaire a été suivi sur les sites de référence en considérant une taille de quadrat équivalente, environ 1000 m² (soit un quadrat d'environ 30 mètres de côté).



Fig. 5.9 – Exemple de site de référence : une prairie de fauche (Haute-Vienne) ©Violette Le Féon



Fig. 5.10 – Exemple de site de référence : une lande à bruyère (Haute-Vienne) ©Violette Le Féon



Fig. 5.11 – Exemple de site de référence : une pelouse sèche (Dordogne) ©Violette Le Féon



Fig. 5.12 – Capture dans un site de référence (Haute-Vienne) ©Violette Le Féon

La **figure 5.13** présente le diagramme général de la méthode d'étude des sites HS et HC du projet Pollinéaire, éléments communs aux différents types de sites et éléments spécifiques. Le **tableau 5.c** récapitule la temporalité de l'ensemble des échantillonnages du mois d'avril au mois de juillet 2015. L'ensemble du

programme d'échantillonnage visait à obtenir un panel équilibré entre les sites de dépendances vertes d'ILT (DVR et TF) et leurs sites respectifs de comparaison (champs de colza et milieux de référence, respectivement).

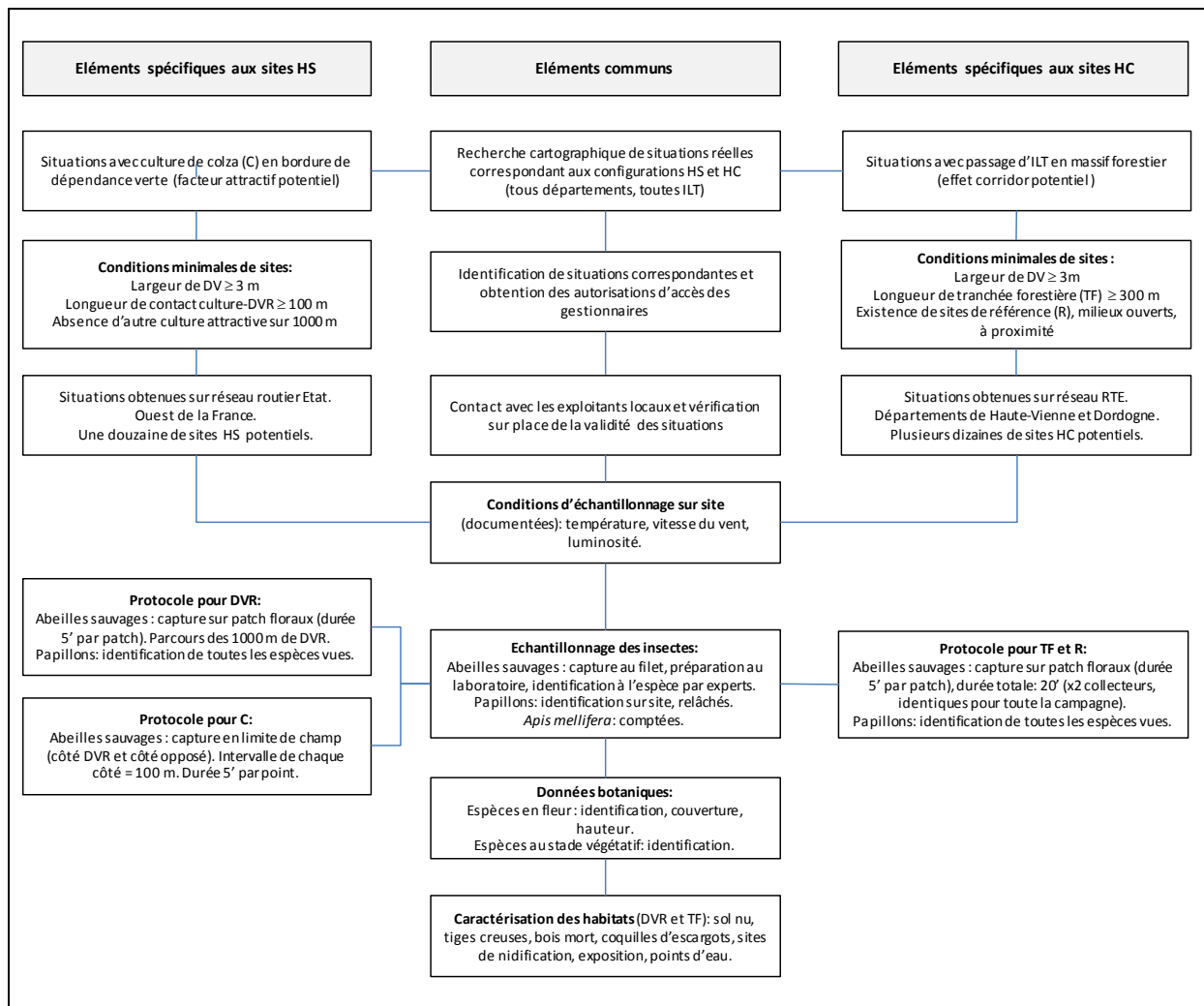


Fig. 5.13 – Diagramme général de la méthode d'étude des sites HS et HC

Tableau 5.c : Temporalité de l'ensemble des échantillonnages et efforts d'échantillonnage

Sites	HS		HC	
	DVR	C	TF	R
Partie				
Dates	15-16/04/2015 20-21/04/2015 22/04/2015 24/04/2015	15-16/04/2015 20-21/04/2015 22/04/2015 24/04/2015	02-04/06/2015 09 + 11/06/2015 17-19/06/2015 01-02 + 04/07/2015 06-09/07/2015	02-04/06/2015 09 + 11/06/2015 17/06/2015 01-04/07/2015 06-09/07/2015
Effort d'échantillonnage par site	5' par tâche florale bûtinée. Remontée de 1 km de DVR par 2 collecteurs. + captures au vol (dites « hors patch »).	5' par point en bordure de champ. En bordure de DVR et en bordure opposée. Points espacés de 100 m sur chaque bordure.	40' de collecte (2 collecteurs pendant 20'). 5' sur fleur bûtinée + capture au vol ou au sol (dites « hors patch »).	40' de collecte (2 collecteurs pendant 20'). 5' sur fleur bûtinée + capture au vol ou au sol (dites « hors patch »).

6

Résultats

Le faible nombre de données collectées sur les abeilles sauvages dans les sites d'étude HS ne permet pas une analyse poussée des résultats, telle que pour l'ensemble des sites HC. C'est pourquoi, seule une analyse qualitative synthétique en est proposée. La liste détaillée des espèces collectées dans les DVR et les champs de colza est présentée en **Annexe T.5**.

Les résultats des études sur les sites HC sont quant à eux présentés en trois parties : analyse taxonomique, analyse fonctionnelle, analyse de l'influence des facteurs environnementaux. Enfin, au-delà des aspects quantifiables et des analyses statistiques, les études de terrain ont permis de réaliser diverses observations quant aux caractéristiques d'habitat offertes par les dépendances vertes routières et celles des lignes à haute tension, en milieu fermé (tranchées forestières) mais aussi parfois en milieu ouvert (ex. traversées de prairies et pelouses). Ces observations sont rassemblées dans la dernière partie, en considérant les besoins des abeilles sauvages en particulier.

6.1 Analyse synthétique des sites d'étude Habitat-Source

6.1.1 Abeilles sauvages dans les DVR

Sur l'ensemble des sites d'étude HS, 36 spécimens d'abeilles sauvages ont été capturés sur des taches florales, dont 22 sur le dernier site étudié (HS6). Aucune abeille n'était présente lors de la première étude de site (HS1). Les principales données quantitatives relatives aux sites HS sont rassemblées dans le **tableau 6.a**. Le genre le plus représenté est *Andrena* (13 individus), suivi de *Lasioglossum* (9) et *Halictus* (6). Très peu d'abeilles mellifères ont été observées dans ces dépendances vertes ($n \leq 1/\text{site}$). Il semblait donc ne pas y avoir de concurrence entre les abeilles mellifères et les abeilles sauvages sur la ressource alimentaire des sites étudiés (critère de sélection des sites HS). Le site sur lequel le plus d'abeilles étaient présentes (HS6) se trouve aussi être celui comptant le plus de taches florales.

6.1.2 Abeilles sauvages dans les champs de colza

Le nombre d'abeilles sauvages capturées dans les champs de colza avoisinant les DVR est lui aussi très faible : 15 individus au total, mais de 0 à 7 selon les sites. Le dernier site étudié (HS6) est aussi celui qui présente le plus d'individus. Ceci peut être dû au fait que les conditions météorologiques étaient relativement meilleures le jour de cette étude (cf. **Tableau 4.a**). Ce sont aussi des abeilles du genre *Andrena* qui sont les plus présentes dans les champs de colza (identifiées dans tous les champs étudiés : HS2 à HS6). La **figure 6.1** montre une abeille sauvage butinant le colza dans le champ avoisinant la DVR (site HS6). Dans le champ de colza du site HS6 comme dans celui du site HS5, on constate que plus d'individus sont présents du côté de la DVR que du côté opposé des parcelles.

Ces observations indiquent-elles un rôle source des DVR pour les cultures de colza adjacentes ? Indiquent-elles donc implicitement une valeur relative de l'habitat offert par les DVR par rapport au milieu bordant la limite opposée des champs de colza (pourtant *a priori* plus intégré à la mosaïque paysagère qu'un bord de route) ? Le nombre de sites HS étudiés est trop faible pour pouvoir conduire une analyse statistique des données et tenter de répondre à ces questions.



Fig. 6.1 – *Andrena cineraria* butinant le colza (Bretignolles, Deux-Sèvres)
©Héloïse Blanchard

6.1.3 Eléments d'écologie des abeilles sauvages collectées

Ce sont principalement des abeilles à langue courte qui sont représentées dans l'ensemble des captures (genres *Andrena*, *Halictus* et *Lasioglossum* ; au total 28 individus dans les DVR et 12 dans les champs de colza), qui donc butinent des fleurs à corolle peu profonde (ex. *Taraxacum* sp., *Crepis vesicaria*, *Ranunculus acris*, *Prunus spinosa* – cf. **Annexe T.6**). Parmi toutes les espèces identifiées, une seule est oligolectique¹⁹. Il s'agit d'*Andrena humilis* (2 individus sur le site HS6) dont les femelles collectent le pollen uniquement sur les Astéracées, préférentiellement de couleur jaune²⁰. Des Astéracées de couleur jaune ont effectivement été observées dans la DVR du site HS6, telle que *Crepis sancta*, *Crepis vesicaria*, *Lactuca virosa*, *Sonchus asper* et *Taraxacum* sp (cf. **Annexe T.5**). Les espèces collectées sont toutes terricoles sauf celles du genre *Ceratina* qui sont cavicoles. Les trois individus collectés sur le site HS5 appartiennent à l'espèce *Ceratina cucurbitina* qui niche fréquemment dans les tiges de ronces (présentes sur ce site comme sur tous les autres), mais également de *Daucus carota*, *Disparticus* sp., *Euphorbia characias*, *Foeniculum vulgare*, *Sambucus nigra* et *Vitis vinifera*. La zone d'étude du site HS5 était de fait constituée de nombreuses parcelles de vigne (seul site HS inscrit dans un vignoble).

Il s'avère qu'un spécimen de *Lasioglossum* observé dans le site HS3 (**Annexe T.5**) constitue l'unique mention de son espèce à ce jour dans cette zone géographique. Il s'agit d'un individu femelle de l'espèce *subfulvicorne/fratellum* (espèces difficilement différenciables à partir des individus femelles, actuellement en expertise). A ce jour, l'espèce *L. subfulvicorne* est connue plus à l'est (Belgique, Massif-Central)²¹. L'espèce *L. fratellum* est connue en France dans les Alpes et les Pyrénées ainsi qu'en Belgique et en Angleterre notamment²². Quelle que soit l'espèce qui sera finalement déterminée (*subfulvicorne* ou *fratellum*), la présence de ce spécimen dans la DVR à proximité de Loudéac constituera donc une information inédite sur la répartition de l'espèce.

¹⁹ Oligolectique : qualifie les abeilles qui butinent les fleurs d'une seule famille de plantes, voire un seul genre, voire pour certaines, une seule espèce.

²⁰ www.bwars.com

²¹ http://www.atlashymenoptera.net/pagetaxon.asp?tx_id=3691

²² <http://www.atlashymenoptera.net/page.asp?id=206>

Tableau 6.a : Principaux résultats des captures d'abeilles dans les sites d'étude HS

	HS1	HS2	HS3	HS4	HS5	HS6	
DVR	Nombre de taches florales	26	42	19	17	28	49
	Abeilles sauvages (individus)	0	2	3	3	6	22
	Genre <i>Andrena</i>	0	2	1	1	0	9
	Genre <i>Halictus</i>	0	0	0	0	0	6
	Genre <i>Lasioglossum</i>	0	0	2	2	0	5
	Genre <i>Bombus</i>	0	0	0	0	1	0
	Genre <i>Eucera</i>	0	0	0	0	2	2
	Genre <i>Ceratina</i>	0	0	0	0	3	0
	Abeilles mellifères (individus)	0	0	1	0	1	0
Champ	Points ^a	-	10	10	6	8	10
	Ab. sauvages Côté DVR vs. opposé	-	2 - 0	0 - 2	0 - 1	3 - 0	6 - 1
	Genre <i>Andrena</i>	-	1	1	1	3	6
	Genre <i>Halictus</i>	-	0	0	0	0	0
	Genre <i>Lasioglossum</i>	-	1	0	0	0	0
	Genre <i>Bombus</i>	-	0	1	0	0	1
	Genre <i>Eucera</i>	-	0	0	0	0	0
	Genre <i>Ceratina</i>	-	0	0	0	0	0
	Ab. mellifères Côté DVR vs. opposé	-	1 - 0	0 - 3	5 - 2	10 - 3	6 - 2

^a : la moitié réalisée en limite de parcelle du côté DVR, l'autre moitié en limite opposée de la parcelle

6.1.4 Abeilles mellifères dans les champs de colza

Afin de prévenir la perturbation des observations par l'éventuelle concurrence entre abeilles mellifères et abeilles sauvages sur la ressource alimentaire (cf. Section 4.1.2), tous les sites d'étude HS ont été recherchés en veillant à éviter la présence de ruches dans l'environnement proche des tronçons étudiés. Pour les sites HS1, HS2, HS5 et HS6, les réponses des CEI au questionnaire d'enquête (cf. **Annexe T.2**), confirment l'absence de toute ruche dans les sections routières auxquelles les tronçons étudiés appartiennent. Les responsables des CEI indiquent que les sections auxquelles appartiennent les sites HS3 et HS4 contiennent respectivement 3 et 2 ruches mises en place par eux-mêmes. Ces ruches, que nous n'avons pas observées dans nos études de terrain, se situent hors des tronçons de 1 km, et à plus de 1 km des extrémités de ces tronçons (cf. **Figure 4.5**). Le CEI de Loudéac a mentionné l'existence de 25 ruches à 700 m au nord de la section routière du site HS3, que nous n'avons pas constatée, et qui même si elle était réelle, ne s'est pas traduite par une abondance particulière d'abeilles mellifères sur le site HS3 (cf. **Tableau 6.a**).

Alors que la présence des abeilles mellifères dans les DVR de tous les sites est très faible (un seul spécimen d'*Apis mellifera* observé butinant dans une DVR - **Tableau 6.a**), les données relatives à ces abeilles dans les champs de colza des sites HS4, HS5 et HS6 indiquent qu'elles seraient néanmoins plus nombreuses en limite de DVR que du côté opposé des parcelles. Ceci est-il un signe que les DVR ont pu constituer dans ces cas une voie d'accès privilégiée au champ de colza pour les abeilles mellifères (qui dans les sites étudiés n'ont absolument aucune implantation dans les dépendances vertes) ?

Le nombre de sites HS étudiés est trop faible pour pouvoir conduire une analyse statistique permettant de répondre à la question. Cependant, on peut émettre l'hypothèse (non vérifiable car les circulations d'abeilles mellifères n'étaient pas regardées dans cette étude) que ce constat puisse éventuellement avoir un lien avec la stratégie du parcours d'alimentation préférentiel (« *trapline foraging* ») décrite dans la littérature chez les bourdons et les abeilles mellifères [Ohashi & Thomson, 2009 ; Hanley & Wilkins, 2015 ; Buatois & Lihoreau, 2016]. En effet, la configuration des lieux correspond aux facteurs favorables à de tels cheminements préférentiels. D'une part, dans le paysage environnant, le champ de colza en fleur constitue une ressource alimentaire particulièrement attractive (collecte de pollen et de nectar très efficace dans une ressource si

abondante), et d'autre part, l'espace dépourvu d'obstacles transversaux que constitue la DVR peut être mis à profit par les abeilles mellifères pour cheminer aisément entre leur ruche et la ressource.

6.1.5 Papillons de jour

Les papillons observés sur l'ensemble de sites HS appartiennent à des espèces communes. Aucun statut de protection particulier n'est attaché à ces espèces. La plus grande diversité est observée sur le site HS5 (10 espèces sur les 16 inventoriées). De façon analogue aux abeilles sauvages, les 4 premiers sites étudiés ont permis moins d'observations. Les espèces de papillons que l'on y trouve sont souvent les mêmes : le Citron (*Gonepteryx rhamni*), le Tircis (*Pararge aegeria*) et diverses piérides (*Pieris* sp.).

On constate que les papillons de jour présents dans les DVR étudiées se déplacent rapidement et se posent rarement sur les fleurs. Lorsqu'ils sont à proximité de la chaussée, le déplacement d'air provoqué par les poids lourds perturbe leur vol. On observe aussi qu'ils traversent régulièrement les voies de circulation et que certains prennent de l'altitude au moment de franchir la chaussée (site HS5). Très peu d'études évoquent ce comportement [Zielin et al, 2016]. Il a été rapporté que la présence de « guides » (haies ou relief) à proximité de la chaussée pouvait inciter les papillons à prendre de l'altitude [Erritzoe et al, 2003 ; Bennett, 2010]. Cependant, sur le site HS5, une trajectoire en créneau d'un papillon au moment de franchir la route a été observée en l'absence de tout guide. Bennett (2010) rapporte une prise d'altitude comparable chez *Speyeria zerene hippolyta* au moment de franchir une route, expliquée dans ce cas par la tonte de la dépendance verte qui perdrait son attractivité en perdant ses fleurs, ce qui n'était pas le cas lors de la session sur le site HS5.

Tableau 6.b : Résultats des observations de papillons de jour dans les sites d'étude HS

Nom scientifique	Nom commun	HS1	HS2	HS3	HS4	HS5	HS6
<i>Aglais io</i>	Paon du jour						
<i>Aglais urticae</i>	Petite tortue						
<i>Anthocharis cardamines</i>	Aurore						
<i>Araschina levana</i>	Carte géographique						
<i>Coenonympha pamphilus</i>	Procris						
<i>Erynnis tages</i>	Point de Hongrie						
<i>Gonepteryx rhamni</i>	Citron						
<i>Lasiommata megera</i>	Satyre/Mégère						
<i>Leptidea sinapis</i>	Piéride de la moutarde						
<i>Lycaena phlaeas</i>	Cuivré commun						
<i>Pararge aegeria</i>	Tircis						
<i>Pieris brassicae</i>	Piéride du chou						
<i>Pieris napi</i>	Piéride du navet						
<i>Pieris rapae</i>	Piéride de la rave						
<i>Pieris</i> sp.	Piérides						
Polyommatainae ^a	Azurés						
<i>Vanessa atalanta</i>	Vulcain						

^a : Sous-famille (individu non identifié à l'espèce)

6.2 Analyse taxonomique des sites d'étude Habitat-Conduit

6.2.1 Papillons de jour

Au total, 54 sites HC ont été étudiés (29 sites TF et 25 sites R) et 62 espèces de papillons de jour ont été observées (cf. **Annexe T.1**). Les listes détaillées des espèces de papillons de jour identifiées dans les tranchées forestières et dans les milieux de référence sont fournies, site par site, dans les **annexes T.7** et **T.8**

respectivement. Le nombre d'espèces est compris entre 5 et 20 dans les tranchées forestières (TF) et entre 4 et 22 dans les sites de référence (R). La richesse spécifique moyenne des papillons de jour est de 10,9 (\pm erreur standard 0,7) dans les tranchées forestières et de 10,1 (\pm erreur standard 0,9) dans les sites de référence. Il n'y a pas de différence significative ($p > 0,05$) entre les richesses spécifiques moyennes des deux types de sites ($W^{23} = 426$, $p = 0,27$).

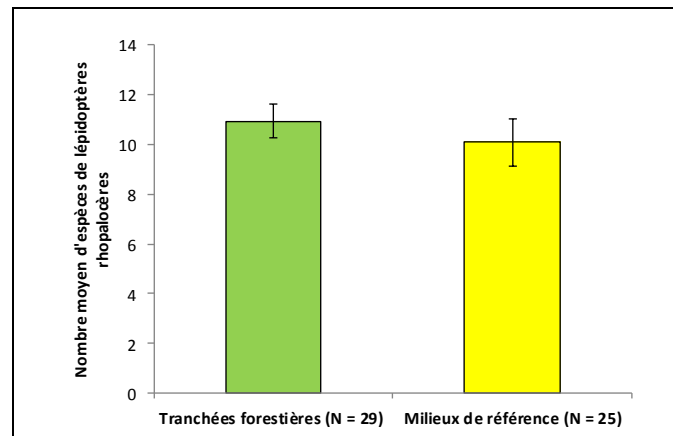


Fig. 6.2 – Richesse spécifique des papillons de jour (moyenne \pm erreur standard) par type de site (TF et R)

Sur les 62 espèces, 46 ont été observées à la fois dans les sites TF et dans les sites R. Douze espèces n'ont été observées que dans les sites TF : l'Azuré porte-queue, le Comma, le Damier de la succise, la Mélitée noirâtre, le Moyen argus, la Petite tortue, le Plain-chant, la Belle dame, le Grand nègre des bois, le Tircis, la Mélitée des scabieuses et la Piéride du chou. Quatre espèces n'ont été observées que dans les sites R : l'Azuré du serpolet, la Mélitée du plantain, le Sylvain azuré et le Cuivré commun.

Pour les sites TF et pour les sites R, les espèces les plus représentées sont le Myrtil (50% et 44% respectivement) et le Demi-deuil (50% et 39% respectivement), deux espèces très communes en France [Lafranchis, 2014]. Trois espèces sont représentées dans plus de 25% des tranchées forestières : le Mélitée des centaures, le Tristan et le Citron. La première espèce est courante dans les pelouses et prairies (ses plantes-hôtes sont les centaures et les chardons), la deuxième espèce est habituelle des lisières, clairières et landes arbustives, de même que la troisième [Lafranchis, 2014].

L'inventaire dans les tranchées forestières révèle la présence de deux espèces relevant de la Directive Habitats [Conseil de l'Europe, 1992] : le **Comma** (présent uniquement dans le site D91_T1) et le **Damier de la succise** (présent dans le site D106_T2). Ce dernier fait de plus l'objet d'un statut de protection en France. Ces deux espèces fréquentent les pelouses sèches. Le Comma nidifie dans les graminées, et le Damier de la succise utilise des Caprifoliacées (scabieuses et chèvrefeuilles) et des gentianes (Gentianacées) [Lafranchis, 2014]. Ces espèces végétales hôtes étaient effectivement présentes dans ces environnements. Une espèce protégée en France a aussi été identifiée dans un site de référence : l'**Azuré du serpolet** (site D106_P3).

²³ Test de Wilcoxon plutôt que test de Student car les données pour les sites de référence (sites R) ne sont pas distribuées selon une loi normale. Toutes les analyses statistiques sont réalisées avec le logiciel R.



Fig. 6.3 - *Euphydryas aurinia* (Damier de la succise) observé sur le site D106_T2 (Rudeau-Ladosse, Dordogne) ©Violette Le Féon

6.2.2 Abeilles sauvages

6.2.2.1 Comparaison des communautés d'abeilles entre les tranchées forestières et les sites de référence

Au total (captures standardisées et captures supplémentaires « opportunistes »), sur l'ensemble des sites HC, 738 abeilles ont été collectées, représentant 117 espèces. Lors des captures standardisées, 683 abeilles ont été collectées, représentant 114 espèces. Les 55 abeilles collectées hors captures standardisées représentent 32 espèces.

Concernant les captures standardisées, dans les 31 sites TF, 373 abeilles ont été collectées, représentant 90 espèces (moyenne = 12,03 abeilles par site, min = 4, max = 24). Dans les 25 sites de référence, 310 abeilles ont été collectées représentant 63 espèces (moyenne = 12,40 abeilles par site, min = 2, max = 44). En moyenne, 6,84 espèces (min = 2, max = 14) ont été collectées dans les sites TF contre 6,20 (min = 2, max = 16) dans les sites de référence. Il n'y a pas de différence significative entre les abondances moyennes d'abeilles des deux types de sites ($W = 321,5$; $p = 0,28$) et entre les richesses spécifiques moyennes des deux types de sites ($W = 461$, $p = 0,22$) (voir figures 6.4 et 6.5 respectivement).

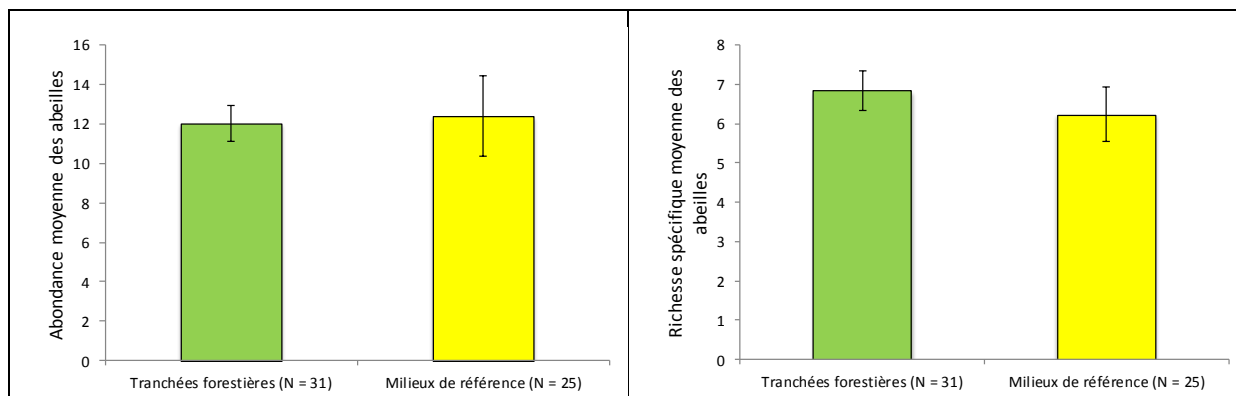


Fig. 6.4 – Abondance des abeilles (moyenne \pm erreur standard) par type de site

Fig. 6.5 – Richesse spécifique des abeilles (moyenne \pm erreur standard) par type de site

Les listes détaillées des espèces d'abeilles sauvages identifiées dans les tranchées forestières et dans les milieux de référence sont fournies dans les **annexes T.9** et **T.10** respectivement.

Pour chacun des sites HC, l'indice de diversité de Shannon, l'indice de diversité de Simpson, ainsi que l'indice de dominance de Berger-Parker (qui correspond à la proportion de l'espèce la plus abondante dans un

échantillon) ont été calculés. Pour chacune des trois variables un test de Wilcoxon servant à évaluer si les différences étaient significatives entre les deux groupes de sites (TF et R) a été réalisé. Les tests montrent qu'il n'y a pas de différence significative concernant l'indice de diversité de Shannon, l'indice de diversité de Simpson et l'indice de dominance de Berger-Parker entre les sites TF et les sites R ($W = 462$, $p = 0,2225$; $W = 471$, $p = 0,1712$; $W = 312.5$, $p = 0,2173$ respectivement).

• Espèces les plus abondantes dans les sites TF

Près d'un quart des spécimens observés dans les sites TF appartient à l'espèce *Bombus pascuorum* (22,5%). Les deux espèces les plus abondantes sont ensuite *Andrena minutula* (4,3%) et *Bombus humilis* (4,0%). On remarque que *Andrena minutula* fait partie des espèces qui n'ont été observées que dans les sites TF.

Bombus pascuorum (Bourdon des champs) est une espèce très commune en France, présente dans les milieux riches en fleurs, à végétation assez basse : prairies, orée de bois, clairières et jardins [Bellmann, 1999 ; Mahé, 2015]. L'espèce nidifie généralement au-dessus du sol dans des touffes de végétation dense. Son statut dans la liste rouge des abeilles d'Europe est *LC* (*Least Concern*, Préoccupation mineure) [Nieto et al., 2014].

Autrefois largement répandu, *Bombus humilis* (Bourdon variable), est en nette régression dans de nombreux pays d'Europe et considéré comme rare par endroits en France. Il fréquente les milieux ouverts tels que landes et prairies permanentes et nidifie au-dessus du sol, dans de la végétation dense. Il figure dans la liste rouge des abeilles d'Europe avec le statut *LC*.

Andrena minutula (Andrène des pâquerettes) est une espèce polylectique et terricole habituelle des zones de prairies et de boisements ouverts²⁴. Son statut dans la liste rouge des abeilles d'Europe est *DD* (*Data Deficient* – Données insuffisantes). On remarque que *Andrena minutula* fait partie des espèces qui n'ont été observées que dans les sites TF. On peut émettre l'hypothèse que ces derniers lui offrent plus de sites de nidification grâce au zones de sol nu et que le contexte de la tranchée forestière correspond bien à une zone de boisement ouvert.

• Espèces présentes uniquement dans les sites TF

Une proportion majoritaire (≈55%) des 96 espèces identifiées dans les sites TF, n'est présente que dans ces derniers (50 espèces identifiées, seules les proportions ≥ 1% sont précisées ci-après): *Andrena decipiens*, *A. dorsata* (1,1%), *A. flavipes*, *A. minutula* (4,3%), *A. pilipes*, *A. subopaca*, *A. thoracica*, *A. trimmerana*, *Anthidium septemspinosum*, ***Bombus confusus***, *B. hypnorum*, *Ceratina cucurbitina* (1,3%), *Chelostoma campanularum*, *C. florissomme*, *Eucera longicornis*, *Halictus confusus*, *H. maculatus* (1,3%), *H. rubicundus*, *Heriades truncorum*, *Hoplitis leucomelana*, *Hylaeus incongruus*, *H. variegatus*, *Lasioglossum glabriusculum* (1,6%), *L. intermedium*, *L. laticeps*, *L. lineare*, *L. majus*, *L. punctatissimum*, *L. puncticolle*, *L. semilucens*, *L. villosulum* (1,6%), *Megachile centuncularis*, *M. ericetorum*, *M. ligniseca*, *Nomada flavoguttata* (1,6%), *N. kholi*, *N. marshamella*, *N. sheppardana* (1,6%), *N. striata*, *N. zonata*, *Osmia caerulescens*, *O. spinulosa* (1,3%), *Pseudoanthidium scapulare*, *Sphecodes ephippius*, *S. gibbus*, *S. monilicornis*, *S. reticulatus*, *Stelis breviscula*, *S. signata*, *Xylocopa violacea*. A cette liste s'ajoute une *Andrena* sp., une *Ceratina* sp. et un *Lasioglossum* sp..

L'aire de distribution connue de ***Bombus confusus*** est centrée sur l'Europe Centrale²⁵. C'est une espèce rare (elle a notamment disparu de Belgique) qui figure parmi les espèces menacées dans la liste rouge des abeilles d'Europe avec le statut *VU* (*Vulnerable*). Un spécimen a été collecté (**Figure 6.6**) dans la tranchée forestière HV44_T4, sur la commune de Meuzac, soit nettement au nord de sa zone de répartition connue (cf. **Figure 6.7**). Il butinait une fleur de *Cirsium* sp. Par ailleurs, un second spécimen a été collecté hors protocole

²⁴ <http://www.bwars.com/bee/>

²⁵ <http://www.atlashymenoptera.net>

standardisé. Il s'agit d'un individu trouvé mort dans la tranchée forestière HV1_T1, sur la commune de Champzac (Haute-Vienne) située à une quarantaine de kilomètres au nord-ouest de Meuzac.



Fig. 6.6 - *Bombus confusus* capturé sur le site HV44_T4 (Meuzac, Haute-Vienne) ©Violette Le Féon



Fig. 6.7 – Distribution de *Bombus confusus* sur la période 1970-2000 (points verts). En jaune figurent les zones climatiques adaptées à l'espèce en 2000 (source Rasmont et al., 2015).

• Espèces les plus abondantes dans les sites R

Un quart des spécimens observés appartient à l'espèce *Bombus pascuorum* (24,5%). Deux autres espèces de bourdons comptent plus de 10% des effectifs observés : *Bombus lapidarius* (12,6%), *Bombus humilis* (10,3%). Ainsi, ces 3 bourdons représentent près de la moitié des effectifs présents sur l'ensemble des sites R. L'espèce la plus abondante parmi celles qui représentent moins de 10% des effectifs est *Halictus scabiosae* (5,8%).

Bombus lapidarius (Bourdon des pierres), fréquente le même habitat que *B. pascuorum* et comme lui, c'est une espèce commune [Bellmann, 1999 ; Mahé 2015]. Il nidifie de préférence dans le sol et occasionnellement dans des zones caillouteuses. L'espèce figure dans la liste rouge des abeilles d'Europe avec le statut LC.

Halictus scabiosae (Halicte de la scabieuse) est une espèce terricole, elle recherche les terrains argileux ou sablonneux à végétation éparse (comme les talus des chemins par exemple). Elle fait aussi l'objet du statut LC de la liste rouge des abeilles d'Europe.

• Espèces présentes uniquement dans les sites R

Plus d'un tiers (37%) des 67 espèces identifiées dans les sites de référence n'est présent que dans les sites R (25 espèces identifiées, seules les proportions $\geq 1\%$ sont précisées) : *Andrena bimaculata*, *A. hattorfiana*, *Anthidium manicatum*, *A. punctatum*, *Bombus barbutellus*, *B. campestris*, *B. ruderarius*, *B. sylvestris*, *B. vestalis* (1,0 %), *Halictus quadricinctus* (1,3 %), *Heriades crenulatus*, *Hoplitis claviventris*, *Lasioglossum aff. villosulum* (1,0 %), *L. fulvicorne*, *L. pygmaeum*, *Lithurgus chrysurus*, *Macropis europaea*, *Megachile circumcincta*, *M. maritima*, *M. willughbiella* (1,0 %), *Melitta leporine*, *Osmia andreoides*, *O. aurulenta* (1,0 %), *Trachusa byssina*, *T. interrupta*.

• Espèces présentes sur les sites TF et R

Les espèces qui sont présentes à la fois dans les sites TF et R, et qui y correspondent respectivement à 45% et 63% des espèces observées, sont au nombre de 40 (identifiées à l'espèce) : *Andrena florea*, *A. humilis*, *A. labialis*, *A. ovatula*, *A. wilkella*, *Anthidiellum strigatum*, *Bombus hortorum*, *B. humilis*, *B. lapidarius*, *B.*

lucorum, *B. pascuorum*, *B. pratorum*, *B. sylvarum*, *B. terrestris*, *Ceratina cyanea*, *Coelioxys afra*, *C. conoidea*, *Colletes similis*, *Eucera nigrescens*, *E. taurica*, *Halictus gr. Simplex*, *Halictus scabiosae*, *H. sexcinctus*, *H. tumulorum*, *Hylaeus brevicornis*, *H. dilatatus*, *H. gibbus*, *Lasioglossum albipes*, *L. calceatum*, *L. griseolum*, *L. interruptum*, *L. leucozonium*, *L. malachurum*, *L. morio*, *L. pauxillum*, *L. politum*, *L. zonulum*, *Megachile pilidens*, *Osmia leaiana*, *O. rufohirta*. A cette liste s'ajoutent des bourdons (1 à 10) du groupe *terrestris* (*Bombus gr. terrestris*), 1 à 5 *Pseudoanthidium* sp. et 1 à 4 *Xylocopa* sp..

6.2.2.2 Espèces à statut

• Espèces menacées

Le **tableau 6.c** rappelle les catégories de la liste rouge des abeilles d'Europe [Nieto et al., 2014], communes à toutes les listes rouges de l'UICN. Selon l'UICN, sont classées comme « menacées » les espèces appartenant aux catégories « en danger critique », « en danger » et « vulnérable ».

Tableau 6.c : Catégories de la liste rouge de l'UICN

Catégories	
Espèce disparue	Espèces menacées
Espèce en danger critique	
Espèce en danger	
Espèce vulnérable	
Espèce quasi-menacée	
Préoccupation mineure	
Données insuffisantes	

La majorité des 114 espèces collectées lors des captures standardisées (90, soit 78,95 %) est considérée selon les catégories de l'UICN comme étant de « préoccupation mineure » en Europe. Le **tableau 6.d** présente les six espèces collectées (5,26 % des espèces) qui sont quasi-menacées en Europe (*Andrena hattorfiana*, *Andrena ovatula*, *Halictus quadricinctus*, *Lasioglossum intermedium*, *Lasioglossum majus* et *Lasioglossum pygmaeum*) et les deux espèces menacées : l'une est vulnérable (***Bombus confusus***) et l'autre est en danger (***Trachusa interrupta***). Les sites où ces espèces ont été collectées sont indiqués.

Pour chaque espèce, un seul spécimen a été observé, excepté pour *Andrena ovatula* (3 spécimens) et *Halictus quadricinctus* (4 spécimens). Au total, 5 spécimens représentant 4 espèces ont été collectés dans les sites TF et 8 spécimens représentant 5 espèces dans les milieux de référence. Excepté la singularité du site D92_P1 qui est le seul à présenter plus d'un spécimen (4 spécimens, 2 espèces), on trouve globalement autant d'espèces menacées ou quasi-menacées dans les sites TF que dans les sites R.

Le site D92_P1 est une prairie mésophile présentant une diversité floristique moyenne (N = 16 espèces, moyenne des 56 sites = 16,5) et un recouvrement floral moyen (0,05 ; moyenne des 56 sites = 0,06). Au moment des collectes, cette prairie présentait la particularité d'offrir un important massif de *Cirsium* sp. sur lequel de nombreuses abeilles butinaient (concentration de spécimens sur un espace restreint).

Tableau 6.d : Espèces d'abeilles menacées et quasi-menacées collectées dans les sites TF et R

	<i>Andrena hattorfiana</i>	<i>Andrena ovatula</i>	<i>Bombus confusus</i>	<i>Halictus quadrinictus</i>	<i>Lasioglossum intermedium</i>	<i>Lasioglossum majus</i>	<i>Lasioglossum pygmaeum</i>	<i>Trachusa interrupta</i>	Nombre de spécimens	Nombre d'espèces
Abondance Sites TF (N = 5)		2	1		1	1			5	4
D105_T1					1				1	1
D106_T3		1							1	1
HV2_T1		1							1	1
HV43_T2						1			1	1
HV44_T4			1						1	1
Abondance Sites R (N = 5)	1	1		4			1	1	8	5
D92_P1				3		1			4	2
D92_P2				1					1	1
D105_P3								1	1	1
D106_P1	1								1	1
HV200_P2		1							1	1
Abondance totale	1	3	1	4	1	1	1	1	13	8

• **Espèces pour lesquelles les données sont rares**

Parmi les 114 espèces collectées lors des captures standardisées, il en existe 16 (14,04 % des espèces) qui figurent parmi les espèces pour lesquelles les données sont insuffisantes aujourd'hui pour qu'il soit possible de leur attribuer un statut en Europe. Ces 16 espèces sont : *Andrena decipiens*, *A. dorsata*, *A. florea*, *A. humilis*, *A. labialis*, *A. minutula*, *A. thoracica*, *A. trimmerana*, *A. wilkella*, *Anthidium septemspinatum*, *Eucera taurica*, *Hylaeus incongruus*, *Lasioglossum lineare*, *Megachile ligniseca*, *M. maritima* et *Pseudoanthidium scapulare*. Presque toutes (15) sont présentes dans des sites TF alors que seules 4 espèces sont comptées dans des sites de référence (**Tableau 6.e**). Le nombre de spécimens collectés dans les tranchées forestières est aussi beaucoup plus important que dans les sites R (55 vs. 9). De même, le nombre de sites dans lesquels ces espèces ont été observées se compose majoritairement de sites TF (18 vs. 5).

Outre le fait que ces collectes contribuent d'une façon générale à améliorer l'état des connaissances sur des espèces actuellement classées *DD* (*Data Deficient*), ce résultat contrasté entre les sites TF et les sites R semble signifier que des milieux jusqu'à présent peu prospectés tels que les tranchées forestières de LHT peuvent en abriter une part considérable. Ainsi, la majeure partie de ces espèces (12, soit 75%) n'est d'ailleurs observée que dans les sites TF (espèces indiquées sur un fond vert dans le **tableau 6.e**). Parmi elles on remarque *Andrena minutula*, dont les effectifs sont nombreux (16 spécimens) et qui est présente dans 7 sites TF, dont la plupart sont localisés dans le sud de la Haute-Vienne. *Andrena minutula* fait partie des andrènes de petite taille (le sous-genre des *Micrandrena*). C'est une espèce polylectique bivoltine (avril-mai et juin-août). Ces deux traits peuvent expliquer son caractère très commun (la plus commune des sept espèces du genre *Micrandrena* au Royaume-Uni, Falk, 2015). Elle s'accommode pour la nidification de divers types de sols plutôt secs. On la retrouve dans une grande diversité d'habitats. C'est ainsi une abeille que l'on retrouve dans des habitats boisés [Livory et al., 2013 ; Falk, 2015]. Ce caractère généraliste et commun de l'espèce et son affinité pour les milieux boisés aussi bien qu'ouverts expliquent son abondance dans nos captures et en particulier dans les tranchées forestières.

A l'inverse, seule une espèce relevant du statut *DD* a été observée exclusivement en site de référence (*Megachile maritima*), dans un seul site et avec un seul spécimen.

Tableau 6.e : Espèces d'abeilles^a aux données insuffisantes (statut *DD*) collectées dans les sites TF et R

	<i>Andrena decipiens</i>	<i>Andrena dorsata</i>	<i>Andrena florea</i>	<i>Andrena humilis</i>	<i>Andrena labialis</i>	<i>Andrena minutula</i>	<i>Andrena thoracica</i>	<i>Andrena trimmerana</i>	<i>Andrena wilkella</i>	<i>Anthidium septemspinosum</i>	<i>Eucera taurica</i>	<i>Hylaeus incongruus</i>	<i>Lasioglossum lineare</i>	<i>Megachile ligniseca</i>	<i>Megachile maritima</i>	<i>Pseudoanthidium scapulare</i>	Nombre de spécimens	Nombre d'espèces
Sites TF (N = 18)	1	4	4	1	5	16	2	1	1	2	3	3	1	1	-	1	46	15
D91_T2					1												1	1
D92_T1		2				2											4	2
D94_T1							1			2	1						4	3
D94_T3	1										2						3	2
D104_T1					2												2	1
D105_T3													1				1	1
D106_T3					1												1	1
D106_T4																1	1	1
HV1_T1						2											2	1
HV2_T1					1												1	1
HV40_T2		1															1	1
HV42_T2						4						1					5	2
HV43_T2		1				1			1			1					4	4
HV44_T1				1		3											4	2
HV44_T2						2											2	1
HV44_T3							1	1				1					3	3
HV200_T1			4												1		5	2
HV200_T2						2											2	1
Sites R (N = 5)	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	6	-	-	-	1	-	9	4
D91_P1															1		1	1
D92_P1											1						1	1
D94_P1											5						5	1
D106_P2					1												1	1
HV40_P1									1								1	1
Abondance totale	1	4	4	1	6	16	2	1	2	2	9	3	1	1	1	1	55	16

^a : Le fond vert pour les noms d'espèces indique celles observées uniquement dans des sites de tranchées forestières. Le fond jaune indique celles observées uniquement dans des sites de référence.

6.3 Analyse fonctionnelle des sites d'étude Habitat-Conduit

6.3.1 Interprétation de la présence d'espèces d'abeilles parasites

6.3.1.1 Signification de la présence d'abeilles parasites

La présence d'espèces d'abeilles parasites dans un milieu est considérée comme un indicateur de bonne santé des autres populations d'abeilles : elle signifie que les effectifs de ces dernières (dont notamment les espèces hôtes) sont suffisamment abondants pour permettre aux espèces parasites d'en tirer profit.

6.3.1.2 Eléments statistiques

Au total, sur l'ensemble des 683 abeilles collectées (captures standardisées + captures supplémentaires « opportunistes »), 643 spécimens appartiennent à des espèces non-parasites et 40 à des espèces parasites, soit 5,86 % de l'abondance totale. On dénombre 96 espèces non-parasites et 18 espèces parasites (15,79 % du nombre d'espèces total).

L'analyse statistique conduite sur l'ensemble des sites TF (n = 31) et des sites R (n = 25) indique (test de Wilcoxon) que le nombre moyen d'abeilles parasites (moyenne des abondances = 1,00 vs. 0,36 individus) et le

nombre moyen d'espèces (moyenne des richesses spécifiques = 0,84 vs. 0,32) observés dans les deux types de sites sont significativement différents ($P < 0,05$).

Tab. 6.f : Abondance et richesse spécifique des abeilles parasites des sites TF et R

	Sites TF (n = 31)		Sites R (n = 25)	
	Moyenne	Erreur standard	Moyenne	Erreur standard
Abondance (nombre de spécimens)	1,00	0,23	0,36	0,14
Richesse spécifique (nombre d'espèces)	0,84	0,17	0,32	0,13

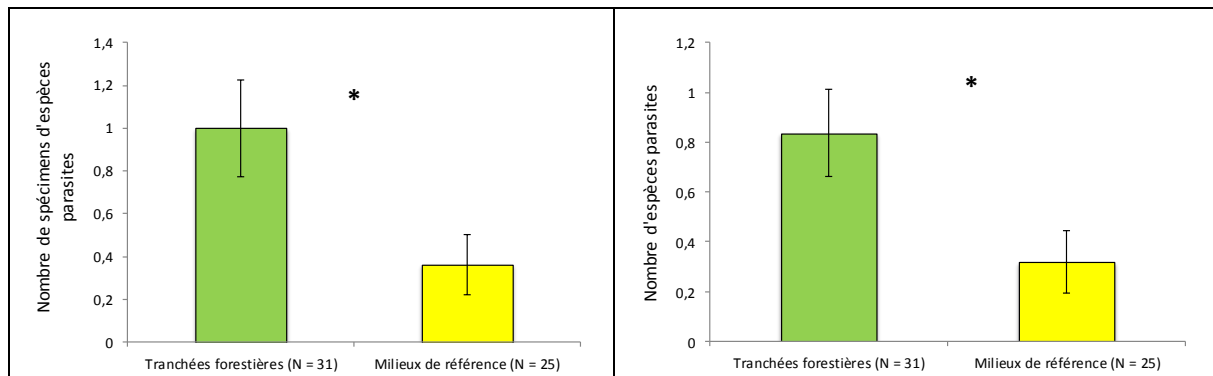


Fig. 6.8 – Abondance des abeilles parasites (moyenne \pm erreur standard) par type de site

Fig. 6.9 – Richesse spécifique des abeilles parasites (moyenne \pm erreur standard) par type de site

6.3.1.3 Espèces présentes et dénombrement

L'inventaire des 18 espèces d'abeilles parasites identifiées est présenté dans le **tableau 6.g**.

Pour les sites R on dénombre 6 espèces (*Bombus barbutellus*, *B. camprestris*, *B. sylvestris*, *B. vestalis*, *Coelioxys afra*, *C. conoidea*) qui sont représentées par un total de 9 individus observés sur un ensemble de 6 sites (D92_P1 ; D105_P1 ; D105_P2 ; HV42_P2 ; HV43_P2 ; HV200_P2) sur les 25 (soit 24% des sites R, avec en moyenne 1,5 abeille parasite par site). Les 4 espèces parasites du genre *Bombus* ne sont présentes que sur les sites R.

Pour les sites TF on dénombre 14 espèces parasites (*Coelioxys afra*, *C. conoidea*, *Nomada flavoguttata*, *N. kholi*, *N. marshamella*, *N. sheppardana*, *N. striata*, *N. zonata*, *Sphecodes ephippius*, *S. gibbus*, *S. monilicornis*, *S. reticulatus*, *Stellis breviscula*, *S. signata*,) qui sont représentées par un total de 31 individus observés sur un ensemble de 16 sites (D92_T1 ; D94_T2 ; D104_T1 ; D105_T2 ; D105_T3 ; D106_T1 ; D106_T2 ; D106_T3 ; D106_T4 ; HV1_T1 ; HV40_T1 ; HV40_T2 ; HV42_T2 ; HV43_T2 ; HV44_T1 ; HV44_T2) sur 31 (soit 51% de sites TF, avec en moyenne 1,9 abeille parasite par site). Toutes les espèces de *Nomada* et *Sphecodes* citées (12) ne sont présentes que sur les sites TF.

Au sein des sites dans lesquels des abeilles parasites ont été observées, l'abondance moyenne d'abeilles parasites est de 1,8 pour les sites TF (31/17) et de 1,5 pour les sites R (9/6). On ne peut pas considérer ces densités moyennes comme significativement différentes ($t = 0,83$, 19 ddl). Par contre, la proportion de sites TF aptes à supporter des abeilles parasites est plus de deux fois supérieure à celle des sites de référence (55% vs. 24%) et les espèces d'abeilles parasites y sont aussi plus de deux fois plus variées (14 vs. 6). On observe que pour la majorité, les espèces parasites ne sont pas les mêmes entre les sites de référence (genre *Bombus*) et les sites TF (genres *Nomada* et *Sphecodes*). Les espèces parasites de bourdons (totalement absentes des sites TF) ne parasitent que d'autres espèces de bourdons.

Tableau 6.g : Espèces d'abeilles parasites collectées dans les sites TF et R

	<i>Bombus barbutellus</i>	<i>Bombus campestris</i>	<i>Bombus sylvestris</i>	<i>Bombus vestalis</i>	<i>Coelioxys afra</i>	<i>Coelioxys conoidea</i>	<i>Nomada flavoguttata</i>	<i>Nomada khohi</i>	<i>Nomada marshamella</i>	<i>Nomada sheppardana</i>	<i>Nomada striata</i>	<i>Nomada zonata</i>	<i>Sphecodes ephippius</i>	<i>Sphecodes gibbus</i>	<i>Sphecodes monilicornis</i>	<i>Sphecodes reticulatus</i>	<i>Stelis breviscula</i>	<i>Stelis signata</i>	Nombre de spécimens	Nombre d'espèces
TF (N =17)	-	-	-	-	1	1	6	3	1	6	2	3	1	1	3	1	1	1	31	14
D92_T1																	1		1	1
D94_T2									1										1	1
D104_T1									1										1	1
D104_T2													1						1	1
D105_T2						1													1	1
D105_T3				1														1	2	2
D106_T1							1								1				2	2
D106_T2							2												2	1
D106_T3									1										1	1
D106_T4									3						1				4	2
HV1_T1																1			1	1
HV40_T1							1			1									2	2
HV40_T2							1			1	2	1							5	4
HV42_T2								1											1	1
HV43_T2							1												1	1
HV44_T1							1								1				2	2
HV44_T2							2				1								3	2
R (N = 6)	1	1	1	3	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	6
D92_P1	1																		1	1
D105_P1					1														1	1
D105_P2					1	1													2	2
HV42_P2				2															2	1
HV43_P2		1																	1	1
HV200_P2			1	1															2	2
Total	1	1	1	3	3	2	6	3	1	6	2	3	1	1	3	1	1	1	40	18

6.3.1.4 Présence des espèces hôtes sur les sites

Les sites présentant le plus de spécimens d'abeilles parasites sont certaines tranchées forestières : site **HV40_T1** (5 individus parasites observés : 1 *Nomada flavoguttata* ; 1 *N. striata* ; 2 *N. zonata* ; 1 *Sphecodes ephippius*) ; site **D106_T4** (4 individus parasites observés : 3 *Nomada sheppardana* ; 1 *Sphecodes monilicornis*) ; site **HV44_T2** (3 individus parasites observés : 2 *Nomada flavoguttata* ; 1 *N. zonata*). Les informations suivantes sur les espèces hôtes de ces abeilles coucous sont issues de la base Atlas Hymenoptera²⁶.

- *Nomada flavoguttata* (observée uniquement dans des sites TF : **HV40_T1**, **HV40_T2**, **HV43_T2**, **HV44_T1**, **HV44_T2**) est parasite de *Andrena minutula* (observée uniquement sur des sites TF dont **HV42_T1**, mais aussi sur les mêmes sites : **HV43_T2**, **HV44_T1** et **HV44_T2**), de *A. minutuloides* (non observée), *A. subopaca* (identifiée sur le site **D106_T1** uniquement), *A. falsifica* (non observée) et *A. semilaevis* (non observée).

- *Nomada sheppardana* (observée uniquement dans des sites TF : **D94_T2**, **D104_T1**, **D106_T3**, **D106_T4**) est parasite de *Lasioglossum nitidiusculum* (non observé), *L. sexstrigatum* (non observé), et de façon non confirmée de *L. morio* (qui a été observé uniquement sur des sites TF dont **D105_T3** qui se situe à plus de 1 km²⁷ du site précédent le plus proche : **D106_T4**), *L. parvulum* (non observé), *L. lucidulum* (non observé) et *L. semilucens* (observé en **HV44_T2**).

²⁶ <http://www.atlashymenoptera.net>

²⁷ Toutes les distances indiquées ont été estimées avec [www/lexilogos.com/calcul_distances.htm](http://www.lexilogos.com/calcul_distances.htm)

- ***Nomada striata*** (observée uniquement dans des sites TF : **HV40_T1** et **HV40_T2**) est parasite de *Andrena wilkella* (espèce observée sur le site HV43_T2 situé à 43 km de HV40, donc sans relation possible), *A. gelriae* (non observée), *A. similis* (non observée), et de façon non confirmée de *A. intermedia* (non observée) et de *A. pandellei* (non observée).

- ***Nomada zonata*** (observée uniquement dans des sites TF : **HV40_T1** et **HV44_T2**) est parasite de *Andrena dorsata* (observée uniquement sur des sites TF, dont **HV40_T2** situé à 190 m de HV40_T1, et HV43_T2).

- ***Sphecodes ephippius*** (observé uniquement sur le site **HV40_T1**) est une espèce parasite généraliste. Parmi ses espèces hôtes confirmées figurent des abeilles observées sur des sites TF, mais sans relations avec ceux-ci car situés à plusieurs dizaines de kilomètres : *Lasioglossum laticeps* (secteur D105), *L. leucozonium* (secteurs D92, D94), *L. malachurum* (secteurs D104, D105, D106), *L. pauxillum* (secteurs D91, D92, D106) et *Halictus tumulorum* (site HV200_T2).

- ***Sphecodes monilicornis*** (observé uniquement sur de sites TF : **D106_T1**, **D106_T4**, **HV44_T1**) est une espèce parasite généraliste. Parmi ses abeilles hôtes confirmées figurent des espèces observées sur les sites TF : *Halictus rubicundus* (**HV44_T2** situé à 180 m de HV44_T1), *Lasioglossum albipes* (D104_T1), *L. calceatum* (HV200_T1), *L. leucozonium* (secteurs D92, D94), *L. zonulum* (secteur D94) et *L. malachurum* (D104_T1, D105_T3, **D106_T1**, **D106_T2**). Parmi les autres hôtes possibles figurent *Halictus maculatus* (D92, HV2_T1, HV43_T2), *Lasioglossum laticeps* (D105_T1), *L. pauxillum* (D91, D92, **D106_T2** situé à 260 m de D106_T1), *L. villosulum* (secteur D92, sites D105_T2 et HV1_T1) et *Andrena flavipes* (site D94_T1).

Les relations entre les diverses espèces parasites et leurs hôtes observés dans les sites HC sont indiquées dans l'**annexe T.9** pour les sites TF et dans l'**annexe T.10** pour les sites R.

Pour les sites HV40, HV43, HV44 et D106, les distances entre les sites d'observation des abeilles parasites et de certains de leurs hôtes rendent possibles les relations de parasitisme entre les espèces collectées : *Nomada zonata* parasitant *Andrena dorsata* (HV40) ; *Nomada flavoguttata* parasitant *Andrena minutula* (HV43, HV44) ; *Sphecodes monilicornis* parasitant *Halictus rubicundus* (HV44) ; *Sphecodes monilicornis* parasitant *Lasioglossum malchurum* et *L. pauxillum* (D106).

6.3.2 Interprétation des ressemblances/dissembances des communautés des sites HC

La « distance écologique » de Bray-Curtis (ou indice de dissimilarité de Bray-Curtis, compris entre 0 et 1) mesure la dissimilarité entre deux sites en prenant en compte l'abondance des espèces présentes [Gardener, 2014]. Le calcul de l'ensemble des indices entre n sites permet de construire la matrice [nxn] de dissimilarité écologique.

D'un point de vue général, les communautés (assemblages d'espèces) au sein de sites géographiquement proches ont potentiellement plus de chance d'être proches d'un point de vue écologique que les assemblages d'espèces entre des sites géographiquement éloignés. Cela provient du fait que deux sites proches ont plus de chances de présenter des caractéristiques environnementales semblables (climat, type d'habitat, nature des pressions anthropiques) et que des échanges d'individus sont plus susceptibles de se produire entre deux sites proches, ce qui conduit à une homogénéisation des communautés.

Le test de Mantel réalisé entre la matrice des distances géographiques entre tous les sites HC et la matrice de dissimilarité est significatif ($p = 0,031$). Autrement dit, considérant l'ensemble des 56 sites HC (31 TF + 25 R), plus deux sites sont proches géographiquement, plus ils sont proches en termes de composition des communautés d'abeilles (abondance des différentes espèces présentes).

Considérant que sur l'ensemble du territoire d'étude les sites sont distribués par groupes distants de plusieurs dizaines de kilomètres, soit des distances très supérieures aux capacités de vol des abeilles, une analyse plus détaillée a été conduite par groupe de sites. Il s'agit du groupe « sud » (11 sites dans les secteurs

D91, D92 et D94), du groupe « ouest » (18 sites dans les secteurs D104, D105 et D106), du groupe « nord » (8 sites dans les secteurs HV1, HV2 et HV40) et du groupe « est » (19 sites dans les secteurs HV42, HV43, HV44 et HV200). Ce dernier est le seul situé à l’extérieur du parc naturel régional Périgord-Limousin (cf. **Figure 4.13**).

Pour les groupes Ouest et Est, les plus importants en nombre de sites, le test de Mantel se révèle non-significatif ($p > 0,05$) : au sein de chacun d’eux, la proximité géographique n’implique pas une plus grande similarité en termes de composition des communautés d’abeilles. Par contre, pour les groupes Sud et Nord, le test de Mantel est significatif ($p = 0,044$ et $0,035$ respectivement).

Les dendrogrammes des indices de dissimilarité réalisés au sein de chacun de ces groupes sont présentés en **figures 6.10 à 6.13** (sites TF en vert, sites de référence en noir). Pour les sites du **groupe Nord**, le dendrogramme montre notamment la similarité entre les sites HV40 (T1 et T2 d’une part et P1 et P2 d’autre part). L’analyse de la présence d’espèces parasites et de leurs hôtes (**section 6.3.1**) avait déjà indiqué l’éventualité de communication entre les sites HV40_T1 et HV40_T2 (*Andrena dorsata* parasitée par *Nomada zonata*). Le dendrogramme du groupe Nord indique aussi une démarcation entre les sites TF et les sites R. Au sein du **groupe Sud**, on n’observe pas une telle démarcation. Le site D91_T1 est très proche du site D91_P1. Les sites D92_T1 et D92_T2 sont proches.

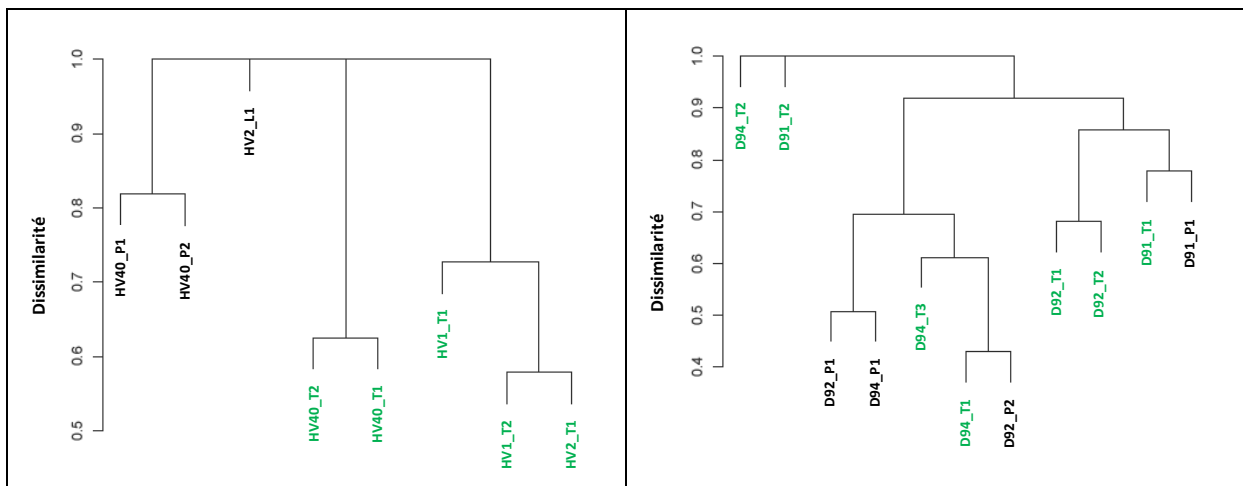


Fig. 6.10 – Dendrogramme des indices de dissimilarité, sites du groupe Nord

Fig. 6.11 – Dendrogramme des indices de dissimilarité, sites du groupe Sud

Malgré le résultat global indiqué précédemment, au sein du **groupe Est**, on observe des regroupements parmi les sites HV44, de référence et de tranchées forestières, même si par exemple la distance entre HV44_T4 et son site de référence le plus proche « écologiquement » (HV44_P2) est de 1300 m. L’analyse de la présence d’espèces parasites et de leurs hôtes (**section 6.3.1**) avait indiqué l’éventualité de communication entre les sites HV44_T1 et HV44_T2 (*Halictus rubicundus* parasitée par *Sphcodes molinicornis*). Le site HV44_T3, qui est lui « écologiquement » proche d’un site de référence d’un autre secteur (HV42_P2), en est distant physiquement de 4300 m. De même, au sein du **groupe Ouest**, plusieurs similarités entre sites du même secteur sont observables : D106_T1 et D106_T2 (très proches : 260 m) ; D105_T2 et D105_P3 (distants de 570 m) ; D106_T3 et D106_P1 (distants de 300 m). A l’inverse, on observe aussi des similarités écologiques entre des sites éloignés tels D104_T1 et D106_T4, distants de 3800 m.

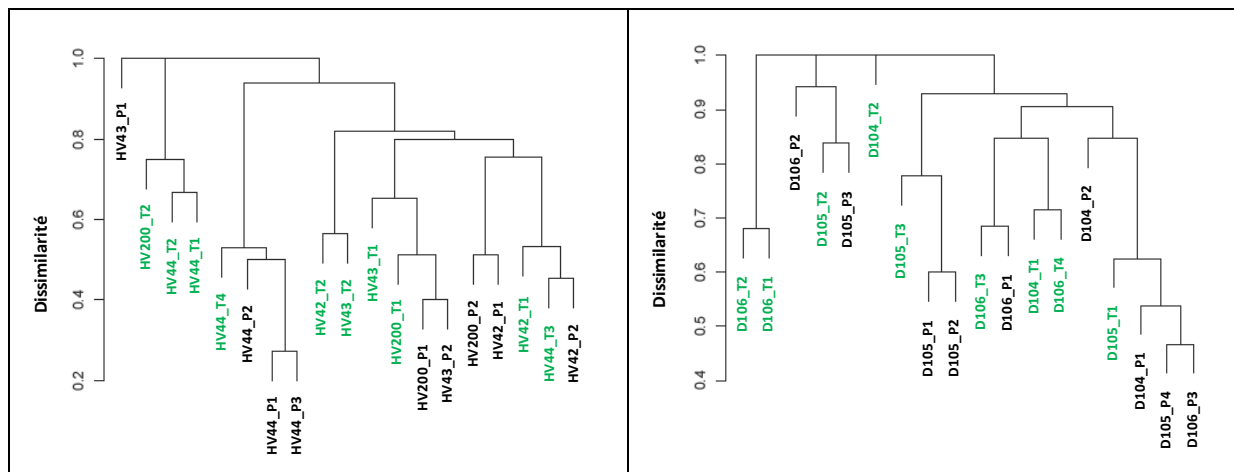


Fig. 6.12 – Dendrogramme des indices de dissimilarité, sites du groupe Est

Fig. 6.13 – Dendrogramme des indices de dissimilarité, sites groupe Ouest

- Les analyses de ressemblance/dissembance des communautés d’abeilles entre sites TF montrent donc dans les quatre secteurs des similarités entre communautés d’abeilles dans l’axe des LHT, donc la possibilité d’échanges entre espèces le long des tranchées forestières. Il s’agit en particulier des sites HV40_T1 et T2 ; D92_T1 et T2 ; HV44_T1 et T2 ; D106_T1 et T2, localisés respectivement sur les communes Rochechouart (Haute-Vienne), Saint-Front-la-Rivière (Dordogne), Meuzac (Haute-Vienne) et Rudeau-Ladosse (Dordogne). Ces mêmes analyses montrent également des similarités entre communautés dans des tranchées forestières et des sites de référence voisins, donc la possibilité d’échanges entre espèces entre les tranchées forestières et des milieux environnants. Il s’agit notamment des sites. HV44_T4 et P2 ; D91_T1 et P1 ; D105_T2 et P3 ; D106_T3 et P1, respectivement sur les communes de Meuzac, Milhac-de-Nontron (Dordogne) et Rudeau-Ladosse (2 cas).

6.4 Influence des facteurs environnementaux dans les sites d’étude Habitat-Conduit

6.4.1 Caractéristiques des sites les plus riches en espèces

Au sein des sites TF comme des sites R, quelques-uns se distinguent par leur nombre sensiblement plus important d’individus observés, de diversité d’espèces (y compris d’espèces parasites), de genres et de familles.

Parmi les sites TF, c’est le cas des sites **D105_T3** (21 individus ; 14 espèces dont 2 parasites ; 10 genres ; 4 familles), **D92_T1** (19 individus ; 13 espèces dont 1 parasite ; 7 genres ; 5 familles) et **D94_T1** (24 individus ; 12 espèces dont 0 parasite ; 6 genres ; 4 familles). Parmi les sites R, il s’agit des sites **D105_P3** (28 individus ; 16 espèces dont 0 parasite ; 11 genres ; 5 familles), **D92_P1** (33 individus ; 15 espèces dont 1 parasite ; 6 genres ; 4 familles) et **D94_P1** (44 individus ; 11 espèces dont 0 parasite ; 5 genres ; 3 familles).

On constate que les sites TF les plus diversifiés, sont proches géographiquement des sites R les plus diversifiés : D105_T3 est distant de 1,1 km de D105_P3 ; D92_T1 est distant de 300 m de D92_P1 ; D94_T1 est distant de 150 m de D94_P1. Ces interdistances sont compatibles avec les distances de déplacement de nombreuses espèces d’abeilles, y compris parmi celles de petite taille [Gathmann & Tscharrntke, 2002].

Les sites les plus riches en espèces ne sont pas ceux qui présentent le plus d’abeilles parasites (en nombre d’individus, comme en nombre d’espèces). Les 3 sites TF présentant le plus d’individus parasites sont

HV40_T1 (9 individus, 8 espèces dont 5 parasites, 5 genres, 3 familles), D106_T4 (12 individus, 8 espèces dont 4 parasites, 6 genres, 4 familles) et HV44_T2 (8 individus, 6 espèces dont 3 parasites, 5 genres, 4 familles).

On constate qu'il en est de même parmi les sites de référence. Les sites R les plus riches ne présentent pas (D105_P3, D94_P1) ou peu (D92_P1 : 1 individus) d'abeilles parasites. Les sites R présentant 2 espèces parasites sont HV200_P2 (14 individus, 8 espèces, 3 genres, 3 familles), HV42_P2 (12 individus, 5 espèces, 2 genres, 2 familles) et D106_P2 (6 individus, 6 espèces, 5 genres, 3 familles).



Fig. 6.14 – Vue du site D105_T3 ©Violette Le Féon



Fig. 6.15 – Vue du site D92_T1 ©Héloïse Blanchard



Fig. 6.16 – Vue du site D94_T3
©Héloïse Blanchard

6.4.2 Richesses spécifiques abeilles vs. papillons selon les sites

La richesse spécifique des abeilles variant fortement selon les sites HC (de 2 à 16 espèces) et les facteurs environnementaux des sites étant déterminants de la présence des espèces, dans la recherche des facteurs déterminant la présence des abeilles dans les tranchées forestières, il peut être instructif d'observer la diversité spécifique des papillons pour les mêmes sites. La diversité des papillons et celle des abeilles vont-elles forcément de pair dans les sites TF ?

La **figure 6.17** présente pour l'ensemble des sites HC la richesse spécifique des abeilles (S_a) en fonction de la richesse spécifique des papillons (S_p). Les sites TF sont représentés par des triangles verts, les sites de référence par des points rouges. Le coefficient de corrélation de la droite de régression $S_a = f(S_p)$ pour l'ensemble des points HC est faible ($R = 0,51$). Par contre, si l'on distingue les sites R des sites TF, pour les sites de référence, la corrélation progresse fortement ($R = 0,82$), et *a fortiori* si l'on distingue les sites R de Dordogne ($R = 0,91$) des sites R de Haute-Vienne ($R = 0,72$) pour lesquels la richesse spécifique des abeilles plafonne à 8 (contre 16 pour les sites R de Dordogne – cf. **Figure 6.18**).

Au sein des sites de référence, la richesse spécifique des abeilles et celle des papillons sont bien corrélées. La diversité spécifique des papillons y est toujours supérieure à celle des abeilles. Les caractéristiques générales des sites de Dordogne permettent aux peuplements d'abeilles d'être plus diversifiés que ceux de Haute-Vienne. Dans les sites R de Dordogne on observe en moyenne 3 espèces d'abeilles pour 4 espèces de papillons (coefficient directeur de la droite de régression $a \approx 0,75$), alors qu'en Haute-Vienne seulement 1 espèce d'abeille pour 3 espèces de papillons (coefficient directeur $a \approx 0,33$).

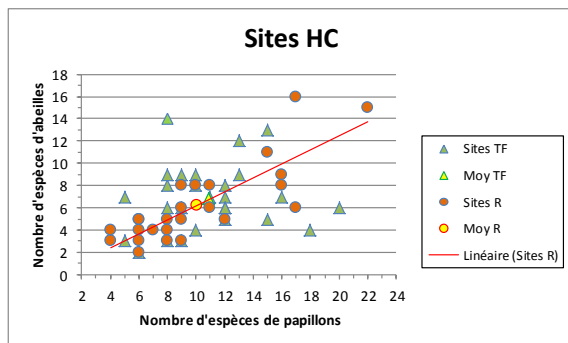


Fig. 6.17 – Richesse spécifique des abeilles en fonction de la richesse spécifique des papillons (tous sites HC)

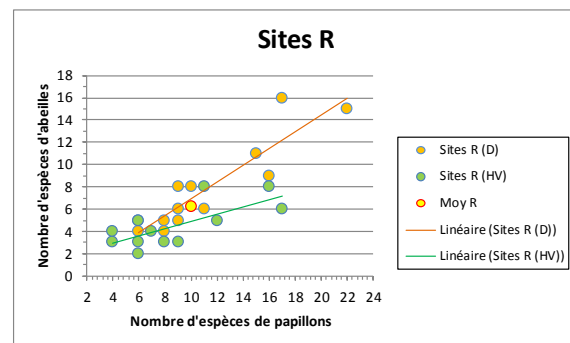


Fig. 6.18 – Richesse spécifique des abeilles en fonction de la richesse spécifique des papillons (sites R)

La corrélation entre Sp et Sa étant très mauvaise au sein du nuage des points TF, conduire une analyse par groupe (Nord, Est, Sud, Ouest – cf. Section 6.3.2) permet d'observer une bonne corrélation entre les sites TF du groupe Sud (secteurs D91, D92 et D94) : $R = 0,91$. Le coefficient directeur de la droite de régression $a = 1,02$: dans ces tranchées forestières, la richesse spécifique des abeilles est égale à celle des papillons (Figure 6.19). Dans ce groupe de tranchées forestières, la réponse des communautés de papillons et d'abeilles en termes de diversité d'espèces est donc aussi bonne que dans l'ensemble des sites de référence de Dordogne. Les figures 6.15 et 6.16 présentent des vues de sites TF du groupe Sud.

Par contre, pour aucun des autres groupes on n'observe de corrélation entre la richesse spécifique des abeilles et celle des papillons (Figure 6.20). Pour le groupe Ouest (secteurs D104, D105 et D106), proche voisin du groupe Sud, $R = 0,32$. Pour les groupes Est et Nord, les coefficients de corrélation linéaire sont respectivement 0,06 et 0,32. On remarque que les groupes Est et Ouest présentent des sites pour lesquels les richesses spécifiques des abeilles sont très inférieures ($Sa \leq 6$) à celles des papillons ($Sp \geq 12$). Il s'agit des sites D105_T1 (6 vs. 20) et D106_T2 (6 vs. 15) dans le groupe Ouest, et des sites HV42_T2 (12 vs. 6), HV44_T3 (15 vs. 5), HV44_T4 (18 vs. 4) et HV200_T2 (12 vs. 5) dans le groupe Est.

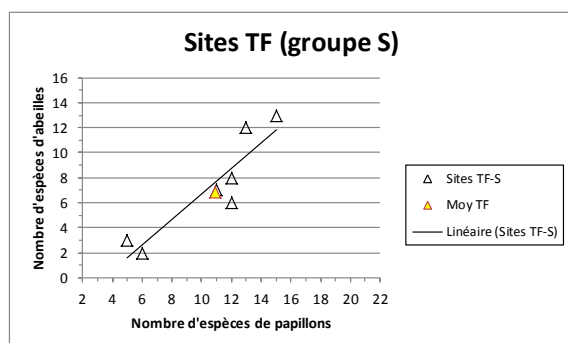


Fig. 6.19 – Richesse spécifique des abeilles en fonction de la richesse spécifique des papillons. Sites TF, groupe Sud (S)

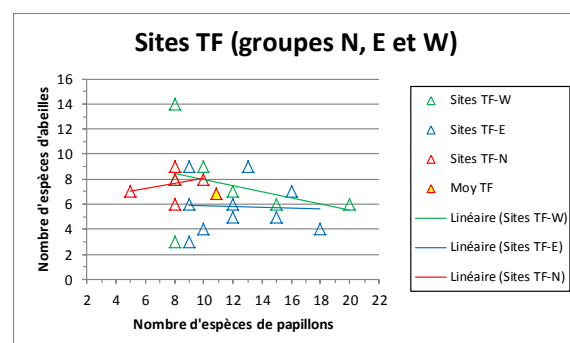


Fig. 6.20 – Richesse spécifique des abeilles en fonction de la richesse spécifique des papillons. Sites TF des groupes (N) Nord, Est (E) et Ouest (W)

- D'une façon générale, le nombre d'espèces d'abeilles est inférieur dans les sites de Haute-Vienne par rapport à ceux de Dordogne. Mais on observe que parmi les sites de Haute-Vienne (TF et R), le nombre maximal d'espèces d'abeilles n'est pas inférieur dans les tranchées forestières par rapport aux sites de référence (cf. sites R(HV) de la **figure 6.18** et sites TF-E et TF-N de la **figure 6.20**). Un effet limitant général marque donc les sites de Haute-Vienne par rapport à ceux de Dordogne concernant la richesse spécifique des communautés de papillons et d'abeilles.

Afin d'éclairer ce constat, dans un premier temps, l'influence générale des facteurs environnementaux sur les richesses spécifiques observées dans les différents sites est analysée ci-dessous (régressions linéaires). Dans un second temps sont analysés les facteurs environnementaux susceptibles d'agir au sein de chaque site (TF et R) pour y déterminer la présence et l'abondance des espèces (analyse en composantes principales et analyse de co-inertie).

6.4.3 Influence des facteurs environnementaux sur la richesse spécifique des abeilles et des papillons

Sont considérés ici les facteurs liés à la localisation géographique des sites (latitude et altitude), aux conditions météorologiques au moment des sessions de collecte des abeilles et d'observation des papillons (température ambiante, luminosité), ainsi que des facteurs caractérisant l'habitat.

Ces facteurs caractéristiques de l'habitat sont la richesse floristique (nombre d'espèces végétales en fleur au moment des collectes), le taux de recouvrement de la surface des sites par la végétation entomogame en fleur au moment des sessions, l'importance de la surface de sol nu, l'importance de la présence de bois mort, l'importance de la présence de ronces, l'importance de la présence de fougères.

La richesse floristique (nombre d'espèces de plantes en fleur, hors graminées) et le recouvrement (expression de l'abondance de ces espèces) sont des facteurs favorables à la diversité spécifique des abeilles et papillons et à leur abondance.

Le sol nu et le bois mort sont des facteurs favorables à la nidification des abeilles.

Les ronces sont un élément favorable à l'alimentation des abeilles et à la nidification de certaines espèces d'abeilles (rubicoles), mais peuvent être défavorables à la diversité floristique (espèce envahissante).

Les fougères sont un élément défavorable aux abeilles et papillons : espèce envahissante des tranchées forestières, sans intérêt pour la nidification ni pour l'alimentation.

Les facteurs richesse floristique, recouvrement et ronces sont associés à l'alimentation des insectes. Les facteurs sol nu, bois mort et ronces sont associés à la nidification. Les facteurs fougères et ronces sont associés à l'uniformisation des sites. Le facteur fougères seul est associé à l'inhospitalité des sites pour les pollinisateurs.

Les facteurs importance de la surface de sol nu, importance de la présence de bois mort et importance de la présence de ronces, ont été quantifiés à travers des indices respectifs « Sol nu », « Bois mort » et « Ronces ». Pour chaque site, la valeur de ces trois indices pouvait varier de 0 à 5 en fonction de la surface de site concernée : 0 (absence) ; 1 (< 5% de la surface) ; 2 (de 5 à 25% de la surface) ; 3 (de 25 à 50%) ; 4 (de 50 à 75%) ; 5 (> 75% de la surface).

Le facteur présence de fougères a été décrit pour chaque site à travers un indice « Fougères » en trois classes : absence ; peu ; beaucoup.

6.4.3.1 Influence de la localisation des sites

● Latitude

Pour les abeilles, la richesse spécifique maximale est nettement moindre dans les sites des groupes Nord et Est (notés respectivement N et E dans la **figure 6.21**). Par contre la richesse spécifique minimale est la même pour tous les groupes de sites. Dans le groupe Nord, on remarque que la richesse spécifique est supérieure dans les sites TF à celle des sites de référence. Pour les papillons (**Figure 6.22**), la richesse spécifique maximale des sites du groupe Nord est aussi nettement plus faible que celle des groupes Sud (noté S) et Ouest (noté W). La situation au sein du groupe Est est intermédiaire.

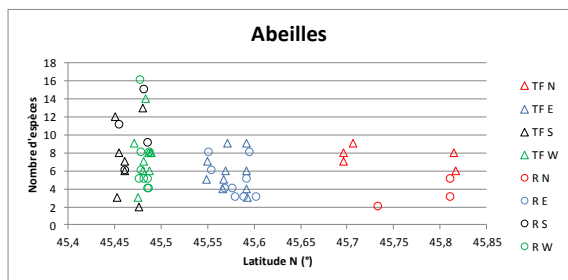


Fig. 6.21 - Richesse spécifique des abeilles en fonction de la latitude des sites

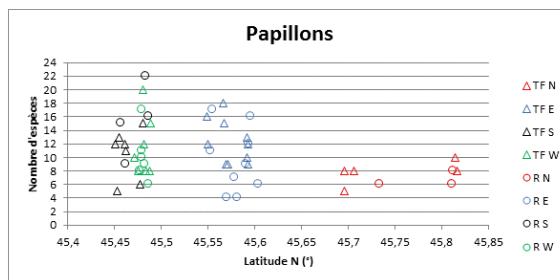


Fig. 6.22 - Richesse spécifique des papillons en fonction de la latitude des sites

● Altitude

Les sites des groupes Est et Nord sont à une altitude supérieure aux autres, qui n'explique cependant pas (coefficient de corrélation linéaire $R = 0,30$) la variation de richesse spécifique pour les abeilles (**Figure 6.23**). Il en est de même pour les papillons ($R = 0,02$). L'absence d'influence de l'altitude est d'ailleurs constatable en observant la situation du groupe Est (**Figure 6.24**).

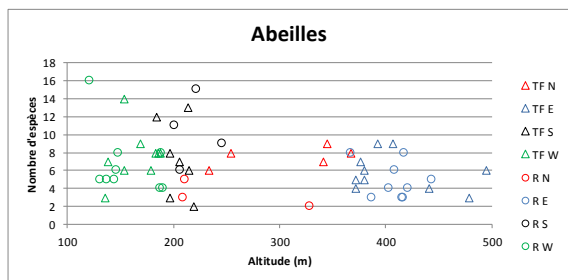


Fig. 6.23 - Richesse spécifique des abeilles en fonction de l'altitude des sites

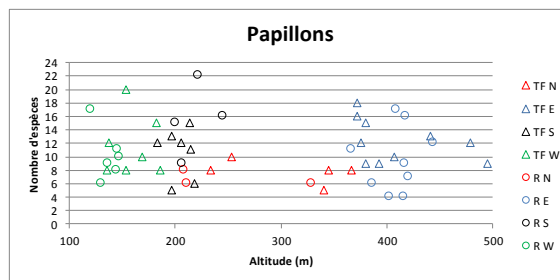


Fig. 6.24 - Richesse spécifique des papillons en fonction de l'altitude sites

6.4.3.2 Influence des conditions météorologiques lors des sessions

Les sessions de capture et observation des abeilles et papillons étaient réalisées à des moments propices à l'activité des insectes en termes de vitesse du vent, température et luminosité [Westphal et al., 2008].

● Température ambiante

Les sessions réalisées dans le groupe Nord se situent dans les températures ambiantes inférieures de la gamme (les températures des sessions des autres groupes sont bien mixées). La situation des sites du groupe Nord ne se traduit pas pour autant par une diversité spécifique particulièrement inférieure à l'ensemble des autres sites. Des sites des groupes Sud et Est présentent des diversités d'abeilles et de papillons aussi faibles

voire plus faibles à des températures ambiantes supérieures de 10°C. Les plus fortes diversités spécifiques des sites du groupe Nord sont comparables aux moyennes générales de diversité des abeilles (6,6) et des papillons (10,5). La gamme de températures ambiantes dans laquelle les sessions ont été réalisées n'a donc pas eu d'influence sur la diversité spécifique observée.

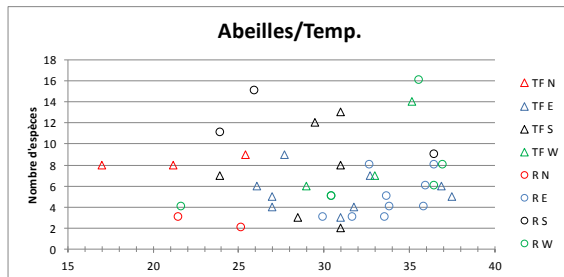


Fig. 6.25 - Richesse spécifique des abeilles en fonction de la température ambiante

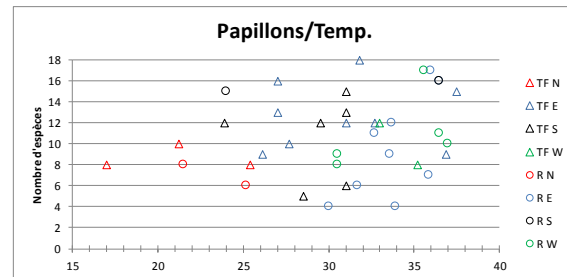


Fig. 6.26 - Richesse spécifique des papillons en fonction de la température ambiante

● Luminosité

Les sites du groupe Est présentent la plus large gamme de luminosité au moment des sessions. Pour l'ensemble des sessions, tous groupes confondus, les luminosités sont bien mixées. L'ensemble des sessions fourni plus de points aux luminosités les plus fortes, ce qui se traduit par une plus grande gamme de richesses spécifiques pour les abeilles et les papillons. La gamme des luminosités dans laquelle les sessions ont été réalisées n'a pas d'influence sur la diversité spécifique observée des abeilles et des papillons. On peut le voir par exemple au sein des sites du groupe Est pour les abeilles, comme au sein du groupe Nord pour les abeilles et les papillons. D'une façon générale, les coefficients de corrélation linéaire entre les diversités spécifiques des abeilles et des papillons, pour les paramètres température ambiante et luminosité, sont très faibles ($0,05 \leq R \leq 0,27$).

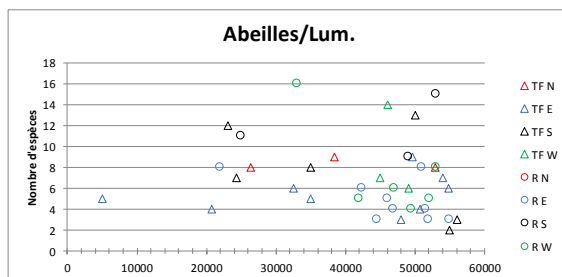


Fig. 6.27 - Richesse spécifique des abeilles en fonction de la luminosité

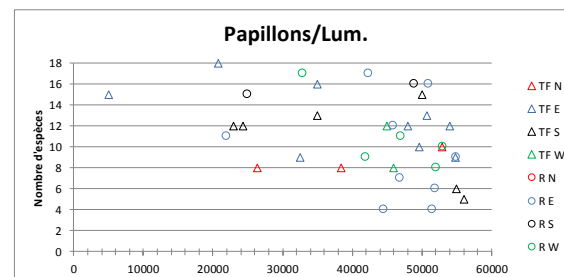


Fig. 6.28 - Richesse spécifique des papillons en fonction de la luminosité

6.4.3.3 Influence des facteurs d'habitat

L'influence des facteurs écologiques liés à l'habitat sur la richesse spécifique des abeilles et papillons est regardée à travers la richesse floristique des sites (nombre d'espèces en fleur), le taux de couverture du sol par les plantes en fleur, l'abondance de sol nu.

● Nombre d'espèces de plantes en fleur

La richesse spécifique des abeilles et des papillons, dans les sites de tranchées forestières comme dans les sites de référence (Figures 6.29 et 6.30) est positivement influencée par le nombre d'espèces de plantes en fleur (coefficients directeurs des droites de régression de l'ordre de 0,2). Cela étant, pour la diversité spécifique

des abeilles comme celle des papillons, il existe une dispersion relativement importante des situations et les coefficients de corrélation linéaire restent faibles ($0,31 \leq R \leq 0,49$).

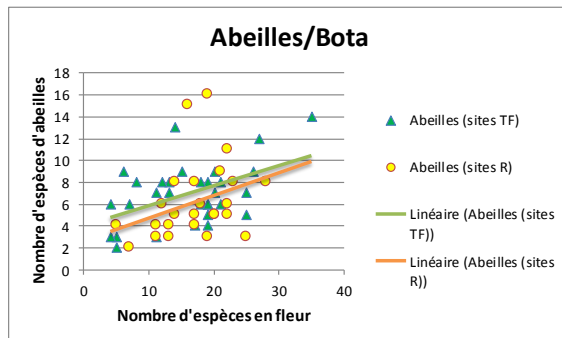


Fig. 6.29 - Richesse spécifique des abeilles en fonction de la richesse floristique

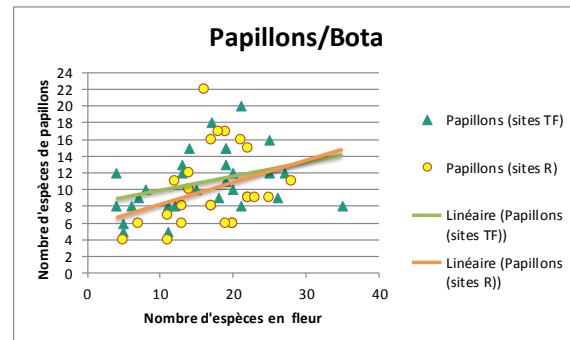


Fig. 6.30 - Richesse spécifique des papillons en fonction de la richesse floristique

● Recouvrement par des plantes en fleur

Pour les abeilles, on observe une diminution de la richesse spécifique lorsque le pourcentage de la surface au sol occupée par les plantes en fleur dépasse la valeur 0,05%, pour les sites TF comme pour les sites R (**Figure 6.31**). Pour la diversité spécifique des papillons (**Figure 6.32**), cette valeur a l'apparence d'un optimum. Les sites présentant les plus fortes couvertures avec de faibles richesses spécifiques en abeilles et papillons sont les 3 sites de référence de lande (HV44_P1, HV44_P2, HV44_P3) et le site HV40_P1 qui offraient une faible richesse floristique.

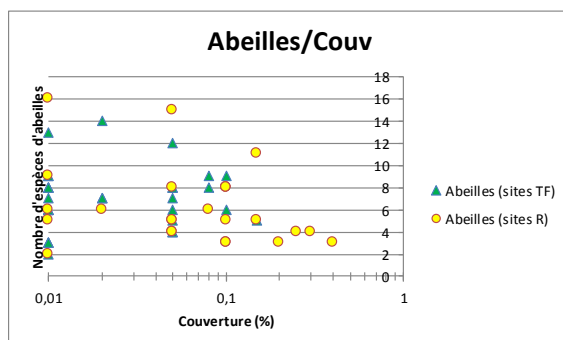


Fig. 6.31 - Richesse spécifique des abeilles en fonction de la couverture par les plantes en fleur

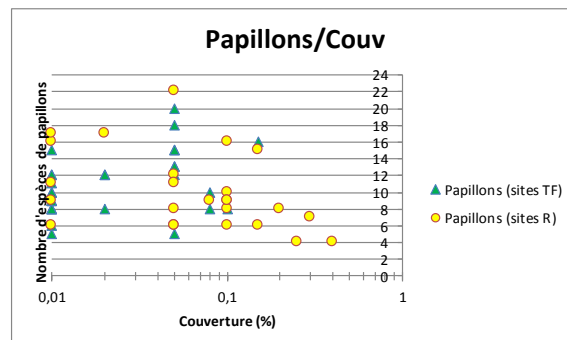


Fig. 6.32 - Richesse spécifique des papillons en fonction de la couverture par les plantes en fleur

● Surface de sol nu

L'indice Sol nu semble présenter une valeur optimale pour la diversité spécifique des abeilles dans l'intervalle [1-3] (**Figure 6.33**). Le site présentant une faible richesse spécifique pour les abeilles avec l'indice Sol nu le plus élevé (5) est le site de tranchée forestière D104_T2 qui offrait par ailleurs une faible diversité floristique et un faible recouvrement. Pour les papillons, l'indice Sol nu semble présenter une valeur optimale, pour la valeur 1 (**Figure 6.34**).

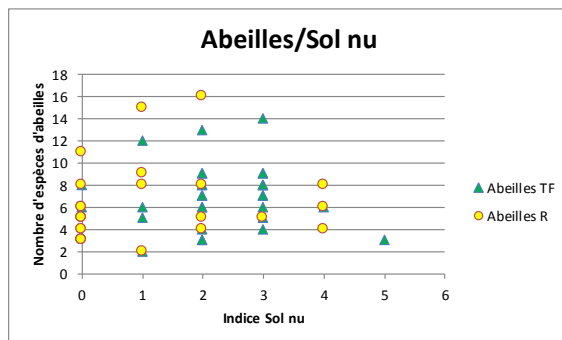


Fig. 6.33 - Richesse spécifique des abeilles en fonction de l'indice Sol nu

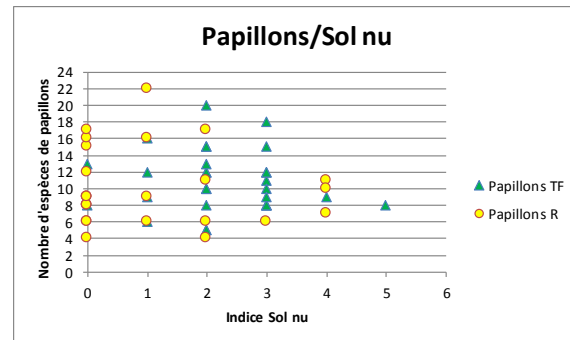


Fig. 6.34 - Richesse spécifique des papillons en fonction de l'indice Sol nu

• On peut conclure de ces analyses univariées que les localisations des sites et les conditions d'échantillonnage n'ont pas induit de biais dans les richesses spécifiques observées. La recherche sur les facteurs explicatifs peut donc se concentrer sur les facteurs d'habitat - qui montrent leur influence et l'existence d'éventuels effets de seuils (cf. indices Sol nu (**Figures 6.31 et 6.32**) et Recouvrement (**Figures 6.33 et 6.34**)) - et sur les relations entre sites.

6.4.4 Analyse en composantes principales des facteurs environnementaux de sites

Les facteurs environnementaux pris en compte dans l'analyse en composantes principales sont la richesse floristique, le taux de recouvrement du sol par la végétation entomogame en fleur au moment des sessions, l'importance de la surface de sol nu, l'importance de la présence de bois mort, l'importance de la présence de ronces, l'importance de la présence de fougères.

Sur la projection des sites selon les axes F1 et F2 de l'ACP (**Figure 6.35**), on constate que l'axe F1 établit une démarcation entre l'ensemble des sites de référence d'une part et l'ensemble des sites TF d'autre part. L'axe F1 (42,8% de l'inertie totale) est orienté positivement par rapport à l'abondance de fougères, de ronces et de bois mort. Les sites de référence y sont diamétralement opposés (absence de fougères). Le groupe des sites de Haute-Vienne (étiquettes HV_) est beaucoup plus dispersé autour de l'axe que le groupe des sites de Dordogne (Etiquettes D_). L'ensemble des sites R de Haute-Vienne présente plus de variabilité en termes de recouvrement et de diversité floristique. La plus grande homogénéité des sites R de Dordogne peut expliquer la meilleure corrélation observée entre les richesses spécifiques des papillons et celles des abeilles au sein de cet ensemble de sites (coefficient de corrélation linéaire = 0,91 – cf. **Figure 6.18**). Les sites TF sont quant à eux plus associés à la présence (voir l'abondance) de fougères, de ronces et de bois mort, qui sur le terrain caractérisait effectivement de nombreuses tranchées forestières. Le contraste est net avec les paramètres plus marqués « ressources alimentaires » des sites R (recouvrement et richesse floristiques).

L'axe F2 (18,9% de l'inertie totale) s'organise selon les paramètres richesse floristique et recouvrement, qui sont diamétralement opposés. Le fort recouvrement étant associé à une faible diversité floristique, et cette dernière à la présence de sol nu (cas typiques : d'une part des sites à forte diversité floristique clairsemée offrant des espaces de sol nu ; d'autre part des sites à forte couverture par un nombre limité d'espèces végétales, tels par exemple que les sites de référence de type lande HV44_P1, HV44_P2 et HV44_P3. Le site D105_T3 dont une vue est présentée à la **figure 6.14** se caractérise par la plus grande diversité botanique de tous les sites (35 espèces), un faible recouvrement et du sol nu. Il résulte de cet ensemble de ressources une richesse spécifique en abeilles importante, supérieure même à celle des papillons (cf. Site D105_T3 de coordonnées $Sp = 8$ et $Sa = 14$ de la **figure 6.20**).

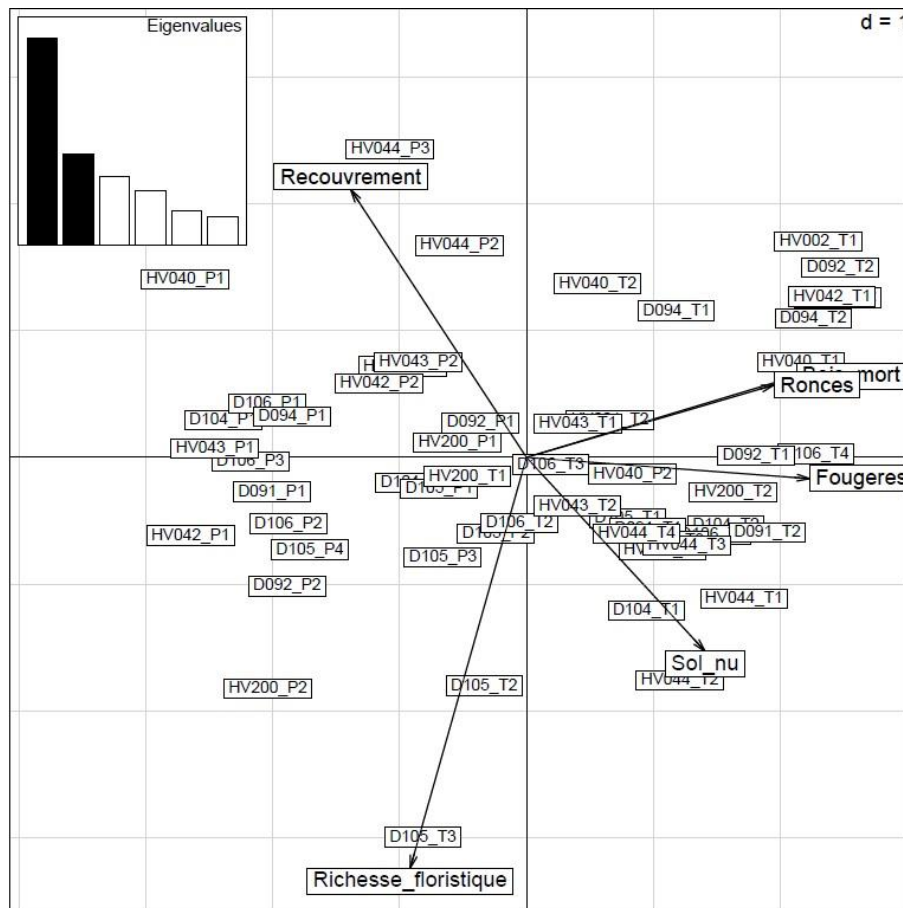


Fig. 6.35 – Projection des sites HC selon les axes 1 et 2 de l'ACP. Variables environnementales considérées : Richesse floristique, Recouvrement, Sol nu, Fougères, Ronces et Bois mort

Au sein de l'ensemble des sites TF, ceux situés en Haute-Vienne présentent une moins grande dispersion le long de l'axe F2 que ceux situés en Dordogne. Les sites TF du groupe Sud (secteurs D91, D92 et D94) sont moins dispersés que ceux du groupe Ouest (secteurs D104, D105 et D106) et se situent plutôt du côté « fort recouvrement et faible richesse floristique ». Ils tendent à être associés à la présence des ronces (ressource alimentaire envahissante) et de bois mort (ressource pour la nidification). Les sites TF du groupe Ouest sont quant à eux plutôt associés à la présence de sol nu (nidification) et à une plus grande diversité floristique. La plus grande homogénéité des sites du groupe Sud peut expliquer la bonne corrélation observée entre les richesses spécifiques des papillons et celles des abeilles au sein de cet ensemble ($R = 0,91$, cf. **Figure 6.19**).

De façon analogue, les sites du groupe Nord (secteurs HV1, HV2 et HV40) sont plus associés au fort recouvrement, à la présence de ronces et de bois mort, et ceux du groupe Est (secteurs HV42, HV43, HV44 et HV200) à plus de richesse floristique et à la présence de sol nu (présence aussi de ronces et de bois mort). Les sites du groupe Nord apparaissent aussi plus homogènes que ceux du groupe Est.

La plus grande homogénéité des sites au sein des groupes Sud et Nord peut expliquer que le test de Mantel (cohérence entre la proximité géographique et la proximité écologique) ait été plus probant pour eux que pour les sites des groupes Ouest et Est (cf. Section 6.3.2).

L'analyse des richesses spécifiques comparées entre les papillons et les abeilles (cf. Section 6.4.2) a fait ressortir un ensemble de sites TF pour lesquels la richesse spécifique des abeilles est très inférieure à celle des papillons (cf. **Figure 6.20**). Ces sites appartiennent pour la plupart au groupe Est (HV42_T1, HV42_T2, HV43_T1, HV44_T3, HV44_T4, HV200_T2) et trois au groupe Ouest (D104_T1, D105_T1, D106_T2). Ils sont caractérisés par la présence (voire l'abondance comme par exemple dans les sites HV42_T1, HV42_T2, HV44_T3, HV44_T4,

HV200_T2) de fougères, un faible recouvrement par les plantes entomogames, une faible diversité floristique, d'où des ressources alimentaires limitées, en dépit des possibilités de nidification sur place (sol nu, bois mort). Ces ressources alimentaires restreintes en variété et/ou en quantité limitent le nombre des individus/espèces susceptibles de s'y nourrir. Le protocole de collecte des abeilles a conduit à capturer 75% des spécimens en phase de butinage (517 abeilles parmi les 683 collectées lors des captures standardisées). Sans qu'elle ait été quantifiée, il est certain que la proportion de papillons identifiés en vol est plus importante que celle des abeilles. Dans les sites TF en particulier, une partie de ces papillons ne faisait d'ailleurs que circuler le long de la tranchée forestière. Ces situations ont pu favoriser les écarts entre les dénombrements d'espèces de papillons (*Sp*) et d'abeilles (*Sa*), en particulier dans les cas où la ressource alimentaire était peu diversifiée (ex. sites HV42_T1, HV42_T2, HV200_T1).

6.4.5 Analyse de co-inertie sur l'ensemble des sites et des espèces

L'analyse de co-inertie est une des méthodes permettant d'étudier les relations entre des variables environnementales et des données de composition des communautés. Elle peut nous fournir une mesure globale de la concordance entre les données de composition des communautés et les variables d'habitat pour l'ensemble des sites (tableau des variables d'habitat de tous les sites ; tableau de composition des communautés de tous les sites) [Dray et al., 2003]. Elle présente la particularité et l'avantage de ne pas poser de contrainte en termes de nombre d'espèces et de variables environnementales prises en compte dans le traitement, ni en termes de nature des variables prises en compte (qualitatives aussi bien que quantitatives).

Dans notre cas, suite à l'ACP réalisée sur les variables environnementales (cf. Section 6.4.4), une analyse factorielle des correspondances (AFC) est réalisée sur le tableau de présence/absence pour les papillons et sur le tableau d'abondance des espèces pour les abeilles. L'analyse de co-inertie couple ensuite les deux tableaux (sites/espèces ; sites/variables environnementales) et permet une projection simultanée des deux précédentes analyses sur le même plan factoriel. La covariance des deux jeux de données (et donc la significativité de l'analyse de co-inertie) est testée par un test de permutation de Monte-Carlo.

6.4.5.1 – Espace des variables environnementales des sites

• Variables environnementales associées aux communautés de papillons

L'analyse de co-inertie portant sur l'ACP des variables environnementales et sur l'AFC des communautés de papillons s'avère significative (test de permutation de Monte-Carlo, $p = 0,003$). Ceci signifie que les variables environnementales considérées ont une influence significative sur la composition des communautés de papillons des sites étudiés. Les axes F1 et F2 portent respectivement 50,3% et 17,6% de l'inertie totale (**Figure 6.36**).

Le côté positif de l'axe F1 correspond à la présence aussi bien de fougères, de ronces et de bois mort, qui s'opposent à la fois à la richesse floristique et à la couverture du sol par cette même diversité floristique. Les paramètres recouvrement et sol nu sont logiquement diamétralement opposés. L'axe F1 délimite le domaine des milieux liés aux plus forts recouvrements et à la plus forte richesse floristique par rapport au domaine des milieux marqués par la présence de fougères, de ronces, de bois mort et de sol nu. Cette démarcation correspond aux observations de terrain, avec d'une part des caractéristiques de nombreuses tranchées forestières observées (F1+) et d'autre part des caractéristiques de nombreux sites de référence (F1-).

L'axe F2 oppose la couverture du sol par les espèces entomogames (coté F2+), à la richesse floristique, associée à la présence de sol nu (coté F2-). La présence des fougères, ronces et du bois mort étant indifférentes au type de milieux s'inscrivant sur cet axe.

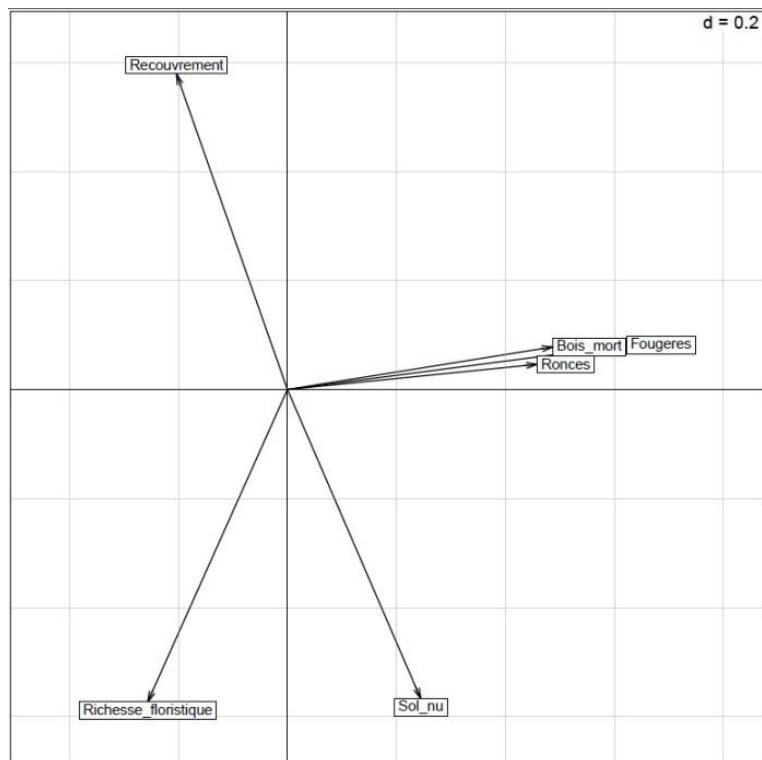


Fig. 6.36 – Projection sur le plan F1-F2 de co-inertie des variables environnementales associées aux communautés de papillons

• Variables environnementales associées aux communautés d'abeilles

L'analyse de co-inertie portant sur l'ACP des variables environnementales et sur l'AFC des communautés d'abeilles est significative (test de permutation de Monte-Carlo, $p = 0,001$). Les variables environnementales considérées influent significativement sur la composition des communautés d'abeilles des sites étudiés. L'axe F1 et l'axe F2 portent respectivement 46,3% et 24,7% de l'inertie totale.

Comme traduit précédemment par l'ACP, le résultat montre que le développement des fougères s'oppose à la fois à la richesse floristique des sites et à la couverture du sol par cette même diversité floristique (axe F1, cf. **Figure 6.37**). Les paramètres ronces et sol nu sont aussi (diamétralement) opposés respectivement à chacun des facteurs précédents. Comme vu à travers l'ACP, l'axe F1 délimite le domaine des milieux liés aux plus forts recouvrements et à la plus forte richesse floristique par rapport au domaine des milieux marqués par la présence de fougères, de ronces, de bois mort et de sol nu. Cette démarcation correspond aux observations de terrain, avec d'une part des caractéristiques de nombreuses tranchées forestières observées (F1+) et d'autre part des caractéristiques de nombreux sites de référence (F1-).

L'axe F2 oppose, comme dans l'ACP, le développement de ronces et la couverture du sol par les espèces entomogames (côté F2-), à la richesse floristique, associée à la présence de sol nu (côté F2+). La présence des fougères étant indifférente au type de milieu s'inscrivant sur cet axe.

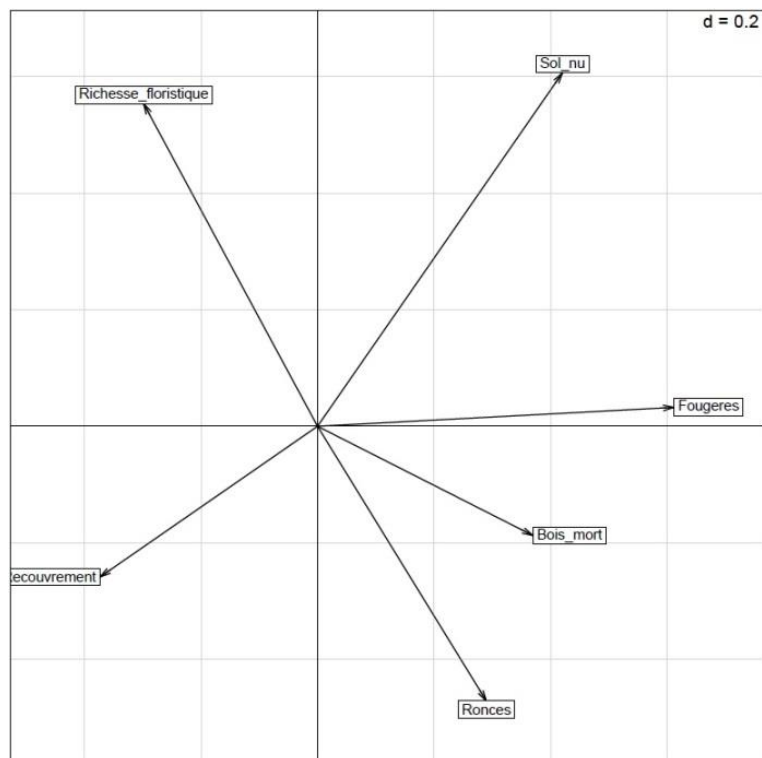


Fig. 6.37 – Projection sur le plan F1-F2 de co-inertie des variables environnementales associées aux communautés d'abeilles

Les variables environnementales prises en compte dans l'analyse s'organisent donc globalement de façon similaire les unes par rapport aux autres pour les communautés d'abeilles et pour celles de papillons. On observe toutefois une influence moins spécifique des variables ronces et bois mort pour les papillons. Variables de nidification pour les abeilles mais pas pour les papillons, elles sont regroupées avec la variable présence des fougères (qui est sans intérêt pour les papillons).

6.4.5.2 – Espace des espèces identifiées

● Papillons

La figure 6.38 présente la projection des espèces de papillons sur le plan F1-F2 de co-inertie. Par rapport à l'axe F1, plusieurs espèces de papillons apparaissent associées aux sites marqués par une présence importante de fougères, ronces et bois mort (F1+). Il s'agit de la Piéride du chou (*Pieris brassicae*), du Tabac d'Espagne (*Argynnis paphia*), du Nacré de la ronce (*Brenthis daphne*) et de l'Azuré porte-queue (*Lampides boeticus*). Pour le Nacré de la ronce, la relation semble évidente avec la plante nourricière des chenilles (la ronce). Le Tabac d'Espagne butine fréquemment les ronces (ressource alimentaire des adultes et non de la chenille). Pour les deux autres espèces, l'explication est moins immédiate. A l'autre extrémité de l'axe F1, on trouve le Point de Hongrie (*Erynnis tages*), la Mélitée orangée (*Melitaea didyma*), l'Azuré du serpolet (*Maculinea arion*), la Mélitée du plantain (*Melitea cinxia*) et le Souci (*Colias crocea*). Il s'agit d'espèces inféodées aux milieux prairiaux et donc les lieux où les ronces et les fougères sont rares.

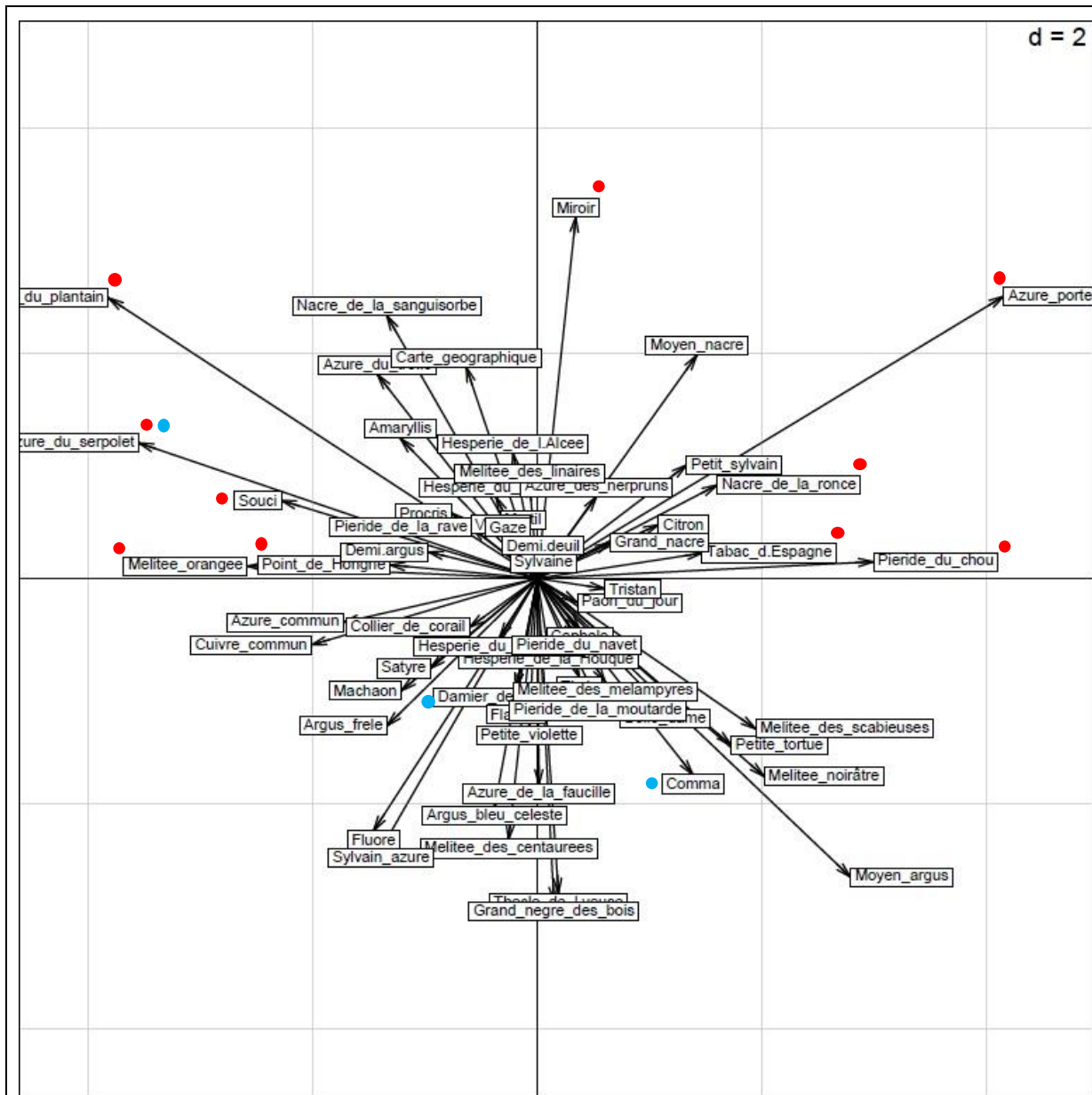


Fig. 6.38 – Projection des espèces de papillons sur le plan F1-F2 de co-inertie. Les espèces mentionnées dans le texte pour leur situation par rapport aux variables d’habitat prises en compte sont repérées par une pastille rouge. Les trois espèces relevant de la Directive Habitats et/ou protégées en France (cf. Section 6.2.1) sont repérées par une pastille bleue.

Par rapport à l’axe F2, le Miroir (*Heteropterus morpheus*) apparaît fortement lié aux sites à fort recouvrement par les plantes en fleur (F2+). Cela s’explique par l’association de cette espèce avec les landes. Du fait de la présence massive des bruyères, les sites de landes (HV44_P1, HV44_P2, HV44_P3) sont ceux présentant les plus forts recouvrements dans le jeu de données, comme l’a montré précédemment l’ACP (Figure 6.35).

● Abeilles

La figure 6.39 présente la projection des espèces d’abeilles sur le plan F1-F2 de co-inertie. Ce graphe peut servir à expliquer la présence d’espèces d’abeilles, telles que les plus abondantes des sites R et des sites TF, les espèces exclusives des sites TF, les espèces menacées et quasi-menacées, ou les espèces parasites et leurs hôtes (cf. Section 6.2.2).

Parmi les **espèces d'abeilles les plus abondantes** dans les sites TF, *Bombus pascuorum*, aussi le plus abondant dans les sites R, se situe effectivement à la limite des deux domaines, exactement au centre de l'axe F1 (**Figure 6.39**), et pratiquement au centre de l'axe F2 (recouvrement/diversité). *Bombus humilis*, présent aussi dans les deux types de sites se situe du côté négatif de l'axe F1, plus dans le domaine de type prairial. *Andrena minutula*, la troisième espèce la plus abondante des sites TF (4,3% des effectifs), se situe quant à elle nettement du côté positif de l'axe F1 (domaine des tranchées forestières), pratiquement au centre de l'axe F2. *Andrena minutula*, espèce hôte, est aussi une espèce de statut DD (cf. catégories de l'UICN), observée dans le cadre de cette étude exclusivement dans des sites TF. *Bombus lapidarius* et *Halictus scabiosae* qui font partie des quatre espèces les plus abondantes des sites R, s'inscrivent nettement du côté négatif de l'axe F1 et au milieu de l'axe F2.

Parmi les cinquante **espèces d'abeilles exclusives des sites TF** (cf. Section 6.2.2.1), nous limitons l'analyse à celles faisant l'objet du statut DD (11 espèces). Deux d'entre elles (*Andrena florea* et *Megachile ligniseca*) se situent de côté « prairial » de l'axe F1 (**Figure 6.39**). Ces deux espèces sont liées uniquement au site HV200_T1. Une part importante de ces espèces (7) est nettement regroupée dans le domaine des tranchées forestières : *Andrena humilis*, *Andrena minutula*, *Hylaeus incongruus*, *Pseudoanthidium scapulare*, *Andrena decipiens*, *Andrena dorsata* et *Andrena thoracica*, proches du milieu de l'axe F2. *Anthidium septemspinosum* se distingue par son positionnement dans la partie négative de l'axe F2 (milieu à fort recouvrement et végétation peu diversifiée). Cette espèce n'a été collectée que dans un site (D94_T1) qui est marqué par la présence de bois mort. La situation est similaire du côté positif de l'axe F2 pour *Lasioglossum lineare*, collecté uniquement dans le site D105_T3, qui est marqué par sa richesse floristique et la présence de sol nu.

Des **espèces menacées et quasi-menacées** ont été observées exclusivement ou non dans des sites de tranchées forestières (cf. Section 6.2.2.2). *Bombus confusus* (collecté dans le site HV44_T4 marqué par la présence de sol nu) se situe du côté positif de l'axe F1 (**Figure 6.39**). *Andrena ovulata*, observée dans deux sites TF mais aussi un site de référence (HV200_P2), se situe bien dans le domaine des tranchées forestières sur l'axe F1 associé à la présence de fougères et en position centrale par rapport à l'axe F2. *Lasioglossum majus* et *Lasioglossum interruptus* se situent aussi dans le domaine des tranchées forestières, sur l'axe F1.

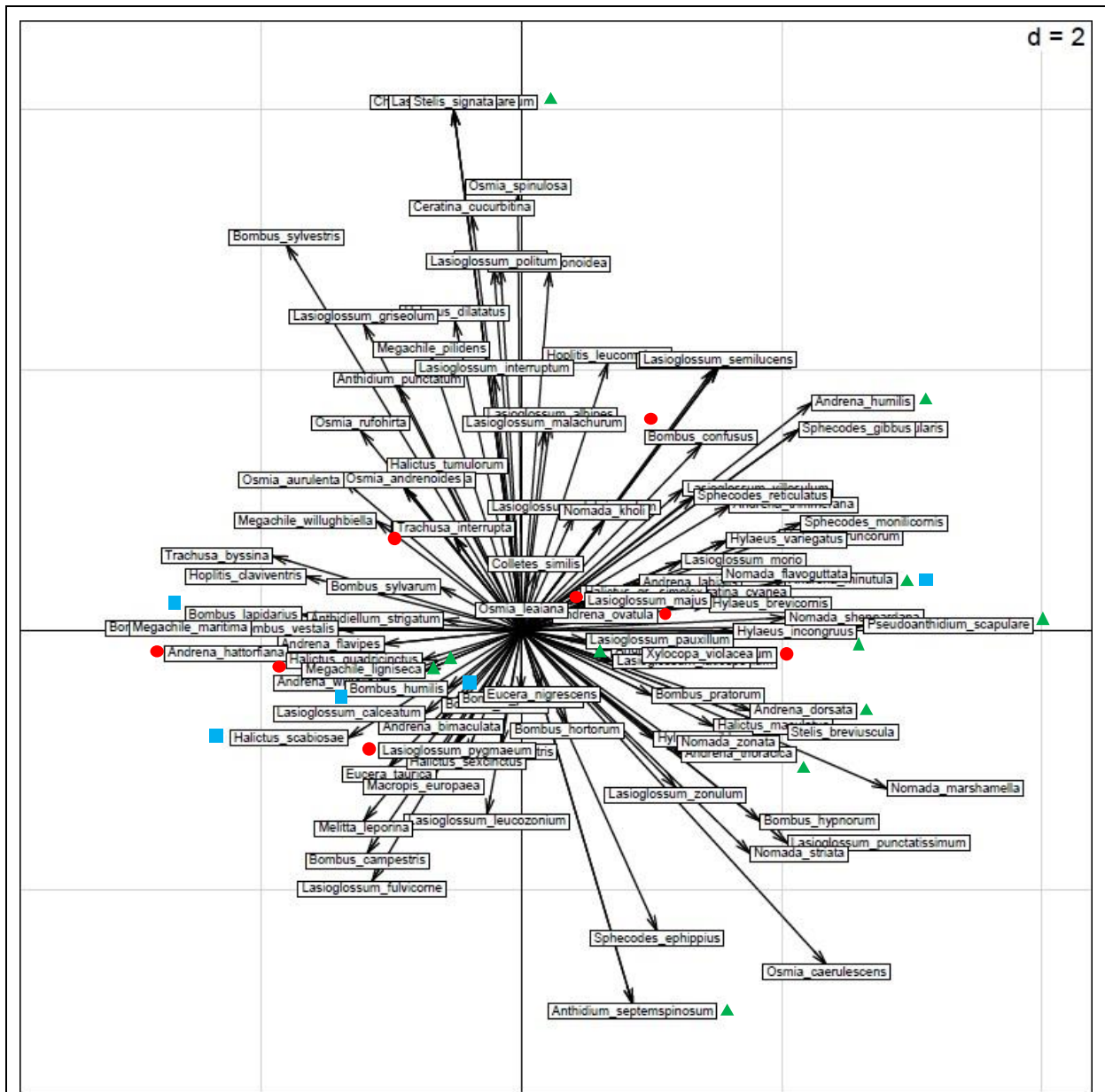


Fig. 6.39 – Projection des espèces d'abeilles sur le plan F1-F2 de co-inertie. Espèces les plus abondantes des sites R et TF, espèces exclusives des sites TF, espèces menacées et quasi-menacées. Les espèces les plus abondantes des sites R et des sites TF sont repérées par un carré bleu (*Bombus pascuorum* est partiellement masqué par l'étiquette d'*Eucera nigrescens*). Les espèces collectées exclusivement dans des sites TF sont repérées par un triangle vert (*Andrena florea* est masquée par l'étiquette de *Megachile ligniseca*, de même que *Lasioglossum lineare* par l'étiquette de *Stelis signata*, et *Andrena decipiens* par l'étiquette de *Xylocopa violacea*). Les espèces menacées et quasi-menacées sont repérées pas une pastille rouge (*Lasioglossum intermedium* est masqué par l'étiquette de *Xylocopa violacea*).

Parmi les **espèces parasites** identifiées dans les sites TF (**Figure 6.40**), *Coelioxys afra* et *Coelioxys conoidea* se situent par rapport à l'axe F1, à la frontière entre le domaine des sites de référence et des tranchées forestières. Ces deux espèces ont en effet aussi été observées dans les sites de référence. Elles se situent du côté positif de l'axe F2 (domaine des sites à végétation diversifiée offrant du sol nu). Toutes les espèces parasites observées exclusivement dans les tranchées forestières se situent du côté positif de l'axe F1 (présence de sol nu, fougères, bois mort et ronces). Parmi elles, seule *Stelis signata* constitue une exception (cf. Section 6.3.1). Sa localisation à l'extrémité de l'axe F2 et du côté négatif de F1 coïncide avec le caractère particulier du site D105_T3 au sein de l'ensemble des sites TF (grande richesse floristique, sol nu). Parmi les espèces parasites observées exclusivement dans les sites TF, pour celles pour lesquelles des espèces hôtes ont

été observées à une distance de vol réaliste, on observe bien une proximité entre les positions des parasites et de leurs hôtes : *Nomada flavoguttata* et *Andrena minutula* ; *Nomada zonata* et *Andrena dorsata* ; *Sphecodes monilicornis* et ses trois hôtes identifiés (*Halictus rubicundus*, *Lasioglossum malachurum* et *Lasioglossum pauxillum*).

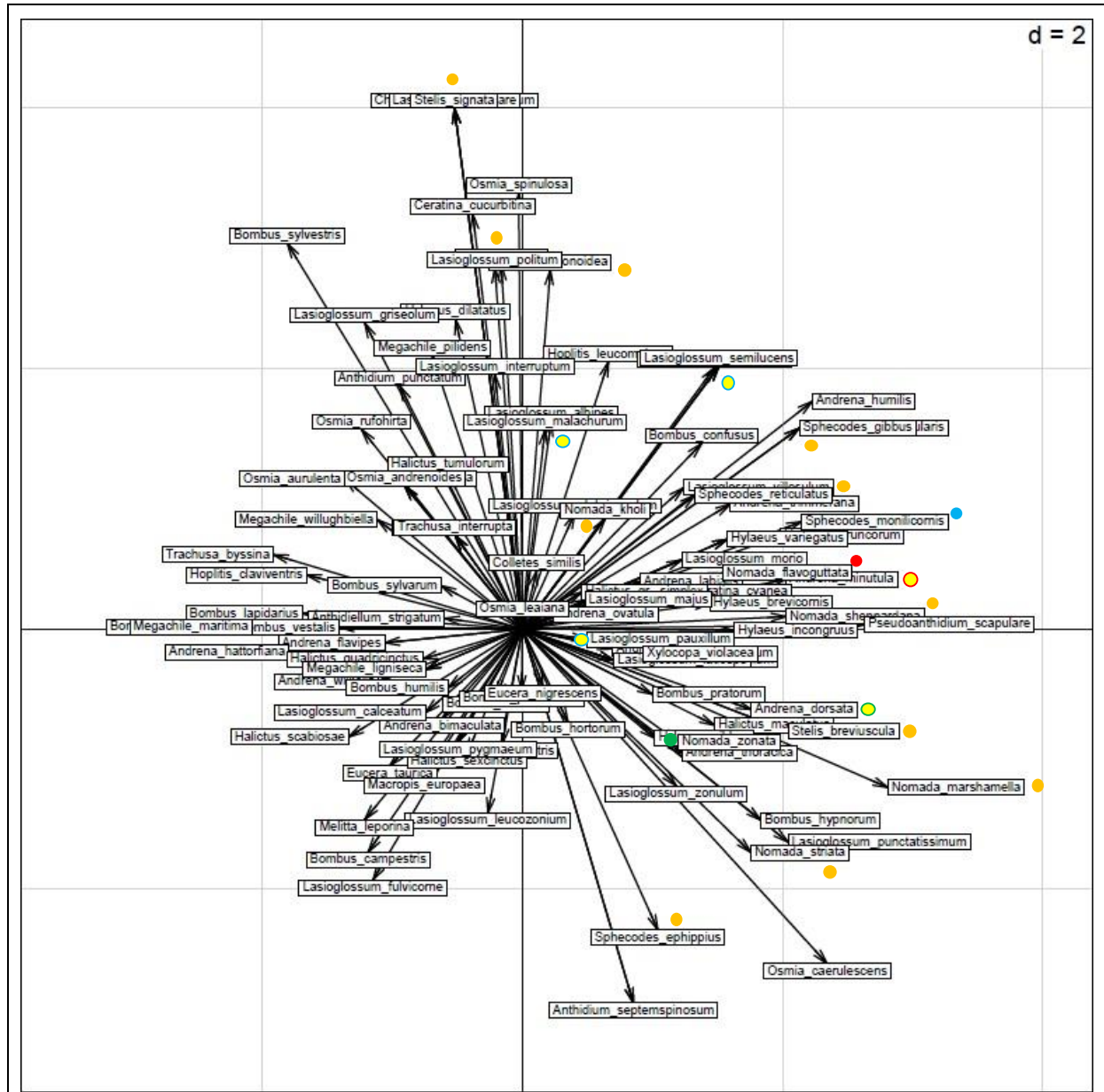


Fig. 6.40 – Projection des espèces d'abeilles sur le plan F1-F2 de co-inertie. Espèces parasites et hôtes. Les espèces parasites identifiées dans les tranchées forestières sont repérées par des pastilles (*Coelioxys afra* et *Coelioxys conoidea* sont masquées par l'étiquette de *Lasioglossum politum*). Les trois espèces parasites pour lesquelles des espèces hôtes ont aussi été identifiées dans les sites HC sont repérées spécifiquement par des pastilles bleues, rouges et vertes, avec leurs espèces hôtes respectives (pastilles jaunes cerclées de la couleur du parasite correspondant).

6.4.5.3 – Relations entre les variables environnementales et les communautés des sites

Les figures 6.41 et 6.42 présentent les projections des sites HC sur le plan F1-F2 de l'analyse de co-inertie entre les variables environnementales, et d'une part la présence des espèces de papillons, et d'autre part l'abondance des abeilles. Sur ces deux figures sont repérés les sites R. Les sites TF sont repérés sur les figures suivantes (Figures 6.43 et 6.44).

Sur le plan factoriel, chaque site est doublement figuré : le point noir correspond à la position du site selon les variables environnementales et la pointe de la flèche correspond à la position selon les communautés de papillons ou d'abeilles. La longueur du trait entre le point noir et la pointe de la flèche indique la qualité de la concordance entre les compositions des communautés et les variables environnementales des sites. Plus le trait (l'écart) est grand, moins la concordance est bonne. L'absence de trait indique une très bonne concordance. Les sites sont identifiés sur les plans factoriels par l'étiquette portant leur code.

● Sites de référence

On peut constater que les sites de référence se rangent quasiment tous du côté négatif de l'axe F1, aussi bien concernant les communautés de papillons que les communautés d'abeilles. A l'inverse, quasiment tous les sites de tranchée forestière se situent du côté positif de l'axe F1, pour les communautés de papillons comme pour les communautés d'abeilles.

Afin de compléter l'interprétation des résultats des analyses univariées (cf. Section 6.4.2) les positionnements des sites R de Dordogne et de Haute-Vienne peuvent être regardés séparément. Dans les **figures 6.41** et **6.42**, les sites de Dordogne sont repérés par des pastilles oranges et les sites de Haute-Vienne par des pastilles vertes.

Les sites R de Haute-Vienne se distribuent principalement par rapport à la variable environnementale recouvrement (cf. **Figures 6.36** et **6.37**), tandis que les sites R de Dordogne sont plutôt marqués par la variable richesse floristique. Ce constat peut constituer une explication du plus grand nombre d'espèces de papillons et d'abeilles observé dans les sites R de Dordogne que dans ceux de Haute-Vienne (cf. Section 6.4.2).

La distribution en apparence inversée de l'ensemble des sites R de Dordogne et de Haute-Vienne de part et d'autre de l'axe F1 entre les **figures 6.41** (communautés de papillons) et **6.42** (communautés d'abeilles) est simplement due à l'organisation inversée des axes recouvrement et richesse floristique sur les plans de co-inertie respectifs (cf. **Figure 6.36** et **6.37**). Les résultats des deux analyses montrent bien la même relation aux mêmes variables environnementales des communautés de papillons et d'abeilles dans les sites de Dordogne et de Haute-Vienne.

On constate que concernant les communautés de papillons (**Figure 6.41**), les sites TF sont nettement moins dispersés le long de l'axe F2 que les sites R. L'ensemble des sites TF est plus uniforme en termes de recouvrement du sol par les plantes entomogames, de sol nu et de diversité floristique (à l'exception des cas des sites D105_T2 et D105_T3). Concernant les communautés d'abeilles, on observe l'inverse : la distribution des sites TF le long de l'axe F2 est plus étendue que celle des sites R. Ceci est dû à l'éventail des conditions environnementales exploitées par les abeilles. Il s'étend des sites à forte richesse floristique et sol nu (sites D105_T2 et D105-T3) jusqu'aux sites à couverture abondante par les ronces (sites D92_T2, D94_T1, HV42_T1, HV42_T2).

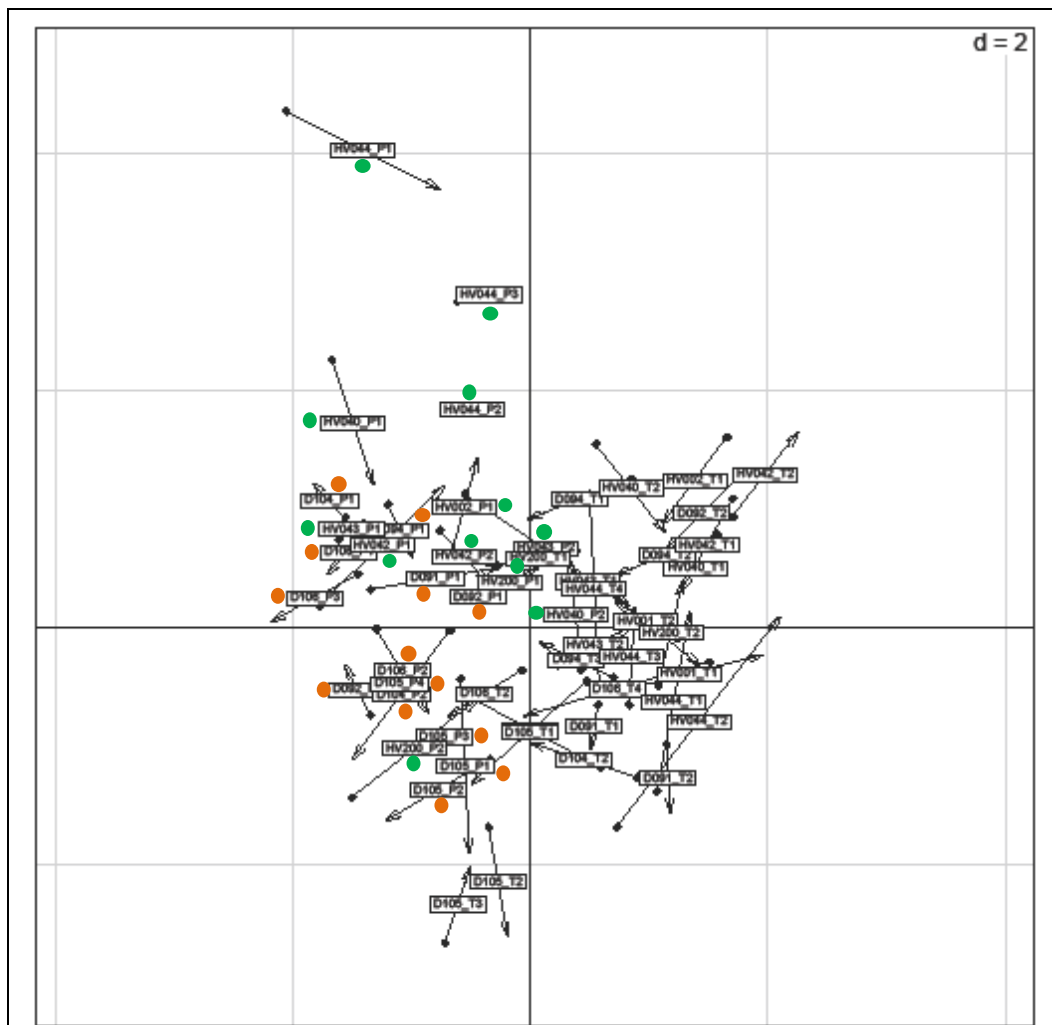


Fig. 6.41 – Projection des sites HC sur le plan F1-F2 de l'analyse de co-inertie entre variables environnementales et présence des papillons (54 sites). Positionnement des sites de référence de Dordogne (pastilles oranges) et de Haute-Vienne (pastilles vertes)

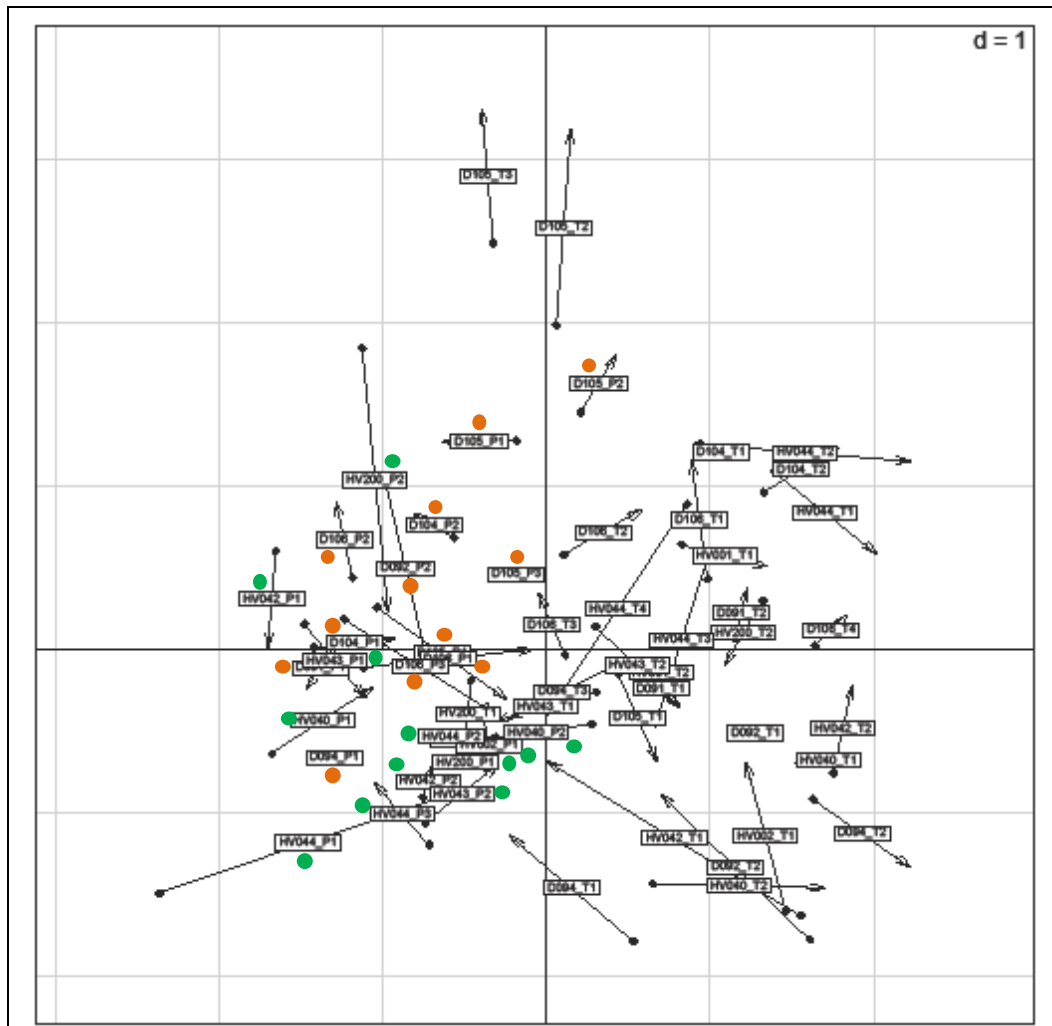


Fig. 6.42 - Projection des sites HC sur le plan F1-F2 de l'analyse de co-inertie entre variables environnementales et abondance des abeilles (56 sites). Positionnement des sites de référence de Dordogne (pastilles oranges) et de Haute-Vienne (pastilles vertes).

● Sites de tranchées forestières

De même que pour les sites de référence, afin de compléter l'interprétation des résultats des analyses univariées, les positionnements des sites TF peuvent être analysés par rapport aux groupes Nord (sites HV1, HV2 et HV40), Est (sites HV42, HV43, HV44 et HV200), Sud (sites D91, D92 et D94) et Ouest (sites D104, D105 et D106). Dans les figures 6.43 et 6.44, les sites de ces groupes sont repérés respectivement par des triangles rouges, bleus, oranges et verts.

L'ensemble des sites TF du **groupe Sud** est le seul à avoir montré une bonne corrélation entre la richesse spécifique des papillons et celle des abeilles (cf. Section 6.4.2, $R = 0,91$). En ce qui concerne les communautés d'abeilles, la quasi-totalité des sites se caractérise par la présence de fougères, de bois mort et de ronces avec de forts taux de couverture et l'absence de sol nu (secteur F1+ ; F2-). Pour les communautés de papillons, la majorité des sites coïncide bien avec ces caractéristiques, quelques sites (D91_T1, D91_T2) montrant une influence de la présence de sol nu.

Les sites TF du **groupe Nord** ne montraient pas de corrélation entre leurs richesses spécifiques en papillons et en abeilles (cf. Section 6.4.2). Concernant les communautés d'abeilles aussi bien que celles de papillons, presque tous les sites se trouvent localisés dans le secteur diamétralement opposé à la variable

richesse floristique, mais sous l'influence des ronces comme attesté clairement pour les communautés d'abeilles (**Figure 6.44**). Dans ce groupe un site (HV1_T1) marque une influence de la présence de sol nu.

Concernant les communautés d'abeilles aussi bien que celles de papillons, de nombreux sites du **groupe Ouest** se caractérisent par leur positionnement dans le secteur marqué par la présence de sol nu, plus ou moins associée à la diversité floristique (cas extrêmes des sites D105_T2 et D105_T3). A défaut de richesse floristique, les ronces constituent la ressource alimentaire, mais au détriment du sol nu (site D105_T1).

Que ce soit pour les communautés de papillons ou pour les communautés d'abeilles, les sites du **groupe Est** se partagent entre le secteur des plans factoriels marqué par la présence de sol nu, et le secteur diamétralement opposé à la richesse floristique, à laquelle se substituent les ronces comme attesté pour les communautés d'abeilles (**Figure 6.44**). Un site (HV200_T1) s'inscrit dans le domaine des milieux à fort recouvrement et faible diversité floristique.

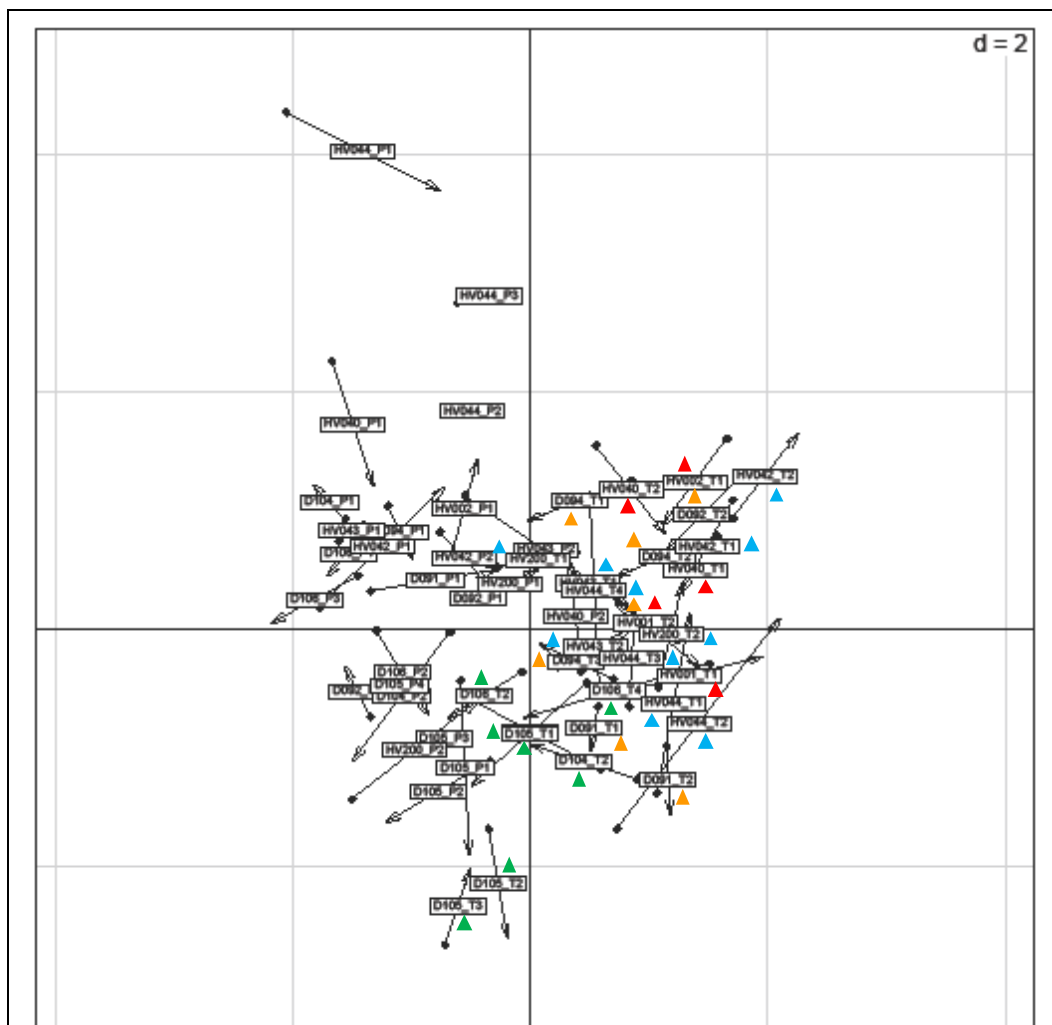


Fig. 6.43 – Projection des sites HC sur le plan F1-F2 de l'analyse de co-inertie entre variables environnementales et présence des papillons (54 sites). Positionnement des sites de tranchées forestières : groupe Nord (triangles rouges), groupe Est (triangles bleus), groupe Sud (triangles oranges) et groupe Ouest (triangles verts). L'étiquette du site D92_T1 est masquée par celle du site HV1_T2. L'étiquette du site D104_T1 est masquée par celle du site D105_T1.

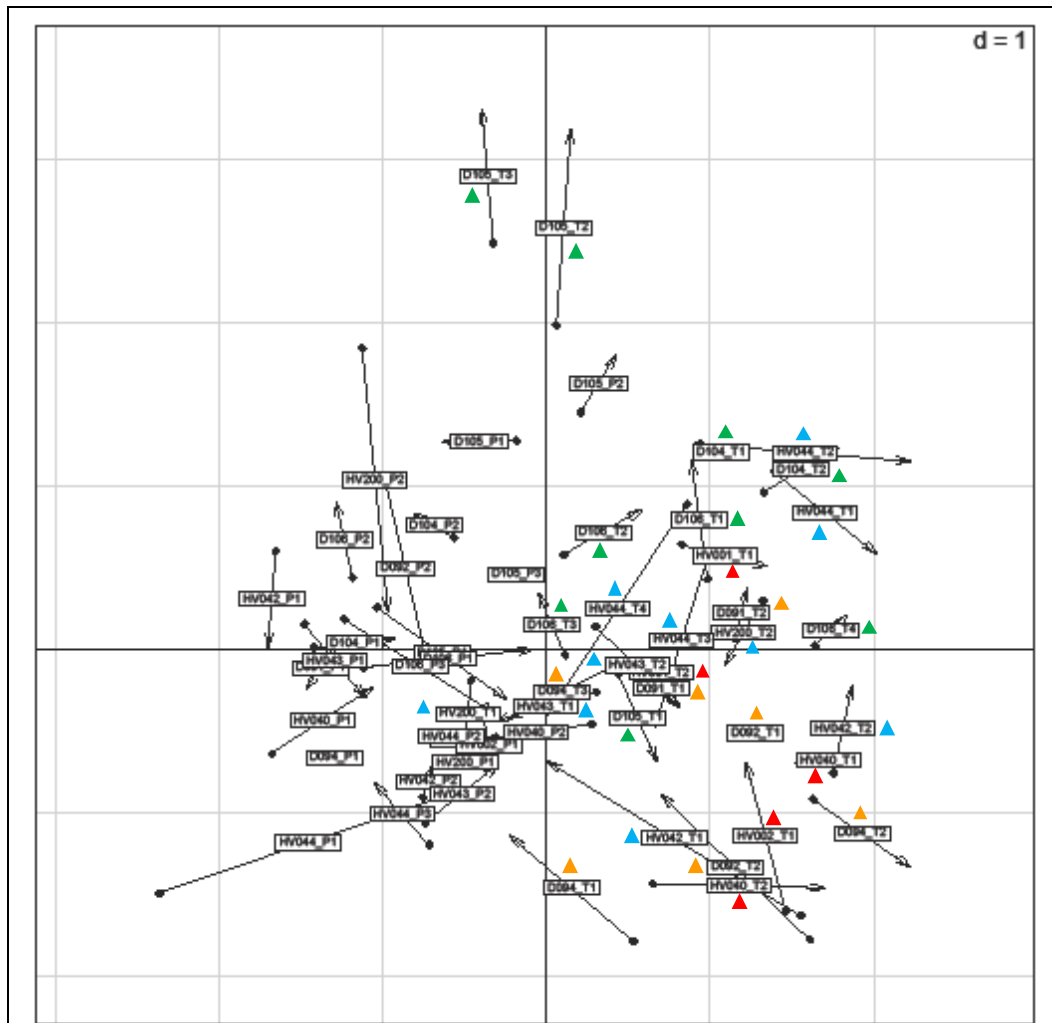


Fig. 6.44 - Projection des sites HC sur le plan F1-F2 de l'analyse de co-inertie entre variables environnementales et abondance des abeilles (56 sites). Positionnement des sites de tranchées forestières : groupe Nord (triangles rouges), groupe Est (triangles bleus), groupe Sud (triangles oranges) et groupe Ouest (triangles verts).

● Concordance entre variables environnementales et communautés de papillons et d'abeilles

Les plans factoriels de l'analyse de co-inertie montrent en majorité de bonnes, voire de très bonnes concordances entre les variables environnementales prises en compte et les communautés de papillons et d'abeilles. Dans ces cas, on peut conclure que les espèces présentes correspondent bien aux conditions offertes par l'habitat du site, tel qu'il a été décrit par le jeu de variables environnementales prises en compte (cf. Section 6.4.5.1).

Les plans factoriels (**Figures 6.41 et 6.42**) révèlent néanmoins un certain nombre de sites pour lesquels la concordance des communautés de papillons et/ou d'abeilles est faible avec les variables d'habitat. Cette faible concordance peut indiquer l'influence de variables environnementales autres que celles prises en compte dans l'analyse. Mais compte tenu des résultats des tests sur la significativité de l'influence des variables environnementales choisies sur les communautés de papillons et d'abeilles (cf. Section 6.4.5.1), on ne peut retenir cette hypothèse.

La faible concordance signifiant que les communautés observées dans les sites en question sont moins liées aux caractéristiques de l'habitat, ceci peut traduire le fait que les espèces qui les constituent n'y sont pas inféodées. Pour les sites TF concernés, cela peut indiquer qu'ils n'offrent pas toutes les ressources nécessaires

aux espèces observées et qu'elles ne les fréquentent que pour une partie de leurs besoins (alimentation ou nidification), voire comme lieu de passage (abeilles et papillons pris en vol).

Les projections des sites HC sur les plans de co-inertie relatifs aux communautés de papillons et aux communautés d'abeilles, montrent que les sites du groupe Est pour lesquels la richesse spécifique des abeilles est nettement inférieure à celle des papillons (cf. **Figure 6.20**) se positionnent le long de l'axe de la variable environnementale fougères (HV42_T2, HV200_T2, HV44_T3 et T4). Ces sites avaient un attrait alimentaire limité par les fougères mais étaient fréquentés par des papillons y transitant.

Le **tableau 6.h** présente une liste de 24 sites montrant, relativement à l'ensemble des autres sites HC, les moins bonnes concordances entre variables environnementales et communautés de papillons et/ou d'abeilles. On constate que ces cas de faibles concordances concernent non seulement des sites TF mais aussi des sites de référence. On constate aussi que les cas de faible concordance concernent rarement à la fois les communautés de papillons et d'abeilles. Il s'agit des sites HV44_T2, HV44_T4, HV44_P1 et HV200_P2, tous localisés dans le secteur Est. Ce secteur présente aussi le plus de cas de faible concordance, dont 5 sites de tranchées forestières. Le groupe Est se trouve aussi être celui au sein duquel la corrélation entre la richesse spécifique des papillons et celle des abeilles est apparue inexistante dans les sites TF (cf. Section 6.4.2), et le nombre d'espèces de papillons (Sp) parfois très supérieur à celui des espèces d'abeilles (Sa) : sites HV42_T1, HV43_T3, HV44_T4. Les valeurs de Sp et Sa des sites sont rappelées dans la 5^{ème} colonne du tableau.

Le secteur Ouest montre un nombre comparable de sites de faible concordance, sans montrer pour autant les mêmes disparités entre les valeurs de Sp et Sa que celles atteintes dans le secteur Est. Les sites à forte disparité Sp vs. Sa (D105_T1 : 13 vs. 6 ; D106_T2 : 20 vs. 6 - cf. **Figure 6.20**) ne figurent d'ailleurs pas dans le **tableau 6.h**. Le secteur Sud ne présente que 4 sites de faible concordance (sur un total de 11) et qui ne concernent que les communautés d'abeilles. Le secteur Nord en présente 3 (sur un total de 8).

Tableau 6.h : Sites d'étude HC de faible concordance entre variables environnementales et communautés de papillons et/ou d'abeilles

Secteurs	Sites	Concordance faible avec communauté de papillons	Concordance faible avec communauté d'abeilles	Sp/Sa
Sud	D92_P2		X	16/9
	D92_T2		X	6/2
	D94_T1		X	13/12
	D94_T3		X	12/8
Ouest	D104_P2	X		6/5
	D104_T1	X		10/9
	D105_P1	X		10/8
	D105_P4		X	9/5
	D105_T2		X	12/7
	D106_P1		X	6/4
	D106_P3		X	8/4
	D106_T4	X		8/8
Nord	HV2_T1		X	8/9
	HV40_P1	X		8/3
	HV40_T2		X	8/6
Est	HV42_P1	X		9/3
	HV42_T1		X	9/3
	HV43_P2	X		16/8
	HV44_P1	X	X	4/3
	HV44_T1	X		9/9
	HV44_T2	X	X	9/6
	HV44_T3		X	15/5
	HV44_T4	X	X	18/4
	HV200_P2	X	X	11/8
Total	R	7 (= 28% des sites R)	6 (= 24% des sites R)	
	TF	5 (= 17% des sites TF)	10 (= 32% des sites TF)	

Sur l'ensemble des 56 sites HC où les abeilles ont été collectées, la proportion de sites de faible concordance pour leurs communautés est de 29% (6 sites R + 10 sites TF) : 71% des sites montrent donc une bonne à très bonne concordance. Sur l'ensemble des 54 sites HC où les papillons ont été identifiés, la proportion de sites de faible concordance pour leurs communautés est de 22% (7 sites R + 5 sites TF) : 78% des sites montrent donc une bonne à très bonne concordance.

Si l'on ne considère que les sites TF (31 sites échantillonnés pour les abeilles, 29 pour les papillons), les proportions de sites à faible concordance sont de 32% (10/31) pour les communautés d'abeilles et de 17% (5/29) pour les communautés de papillons. Autrement dit, les sites TF montrent en majorité une bonne concordance de leurs variables d'habitat avec leurs communautés d'abeilles (68% des sites) et avec leurs communautés de papillons (83% des sites). Au sein de l'ensemble des sites de référence (n = 25), les bonnes concordances sont importantes et plus homogènes entre communautés de papillons et communautés d'abeilles (respectivement 72% et 76%).

● Approche de la fonction Conduit de certaines tranchées forestières

L'analyse de ressemblance des communautés d'abeilles des sites d'étude HC (cf. Section 6.3.2) a montré notamment des tranchées forestières au sein desquelles des sites distincts hébergeaient des communautés très semblables (cf. **Figure 6.10** à **6.13**). Il s'agissait des doublets constitués des sites HV40_T1 et HV40_T2 (distants de 190 m), des sites HV44_T1 et HV44_T2 (distants de 180 m), des sites D92_T1 et D92_T2 (distants de 400 m), des sites D94_T1 et D94_T3 (distants de 500 m) et des sites D106_T1 et D106_T2 (distants de 260 m).

La projection de ces sites sur le plan F1-F2 de l'analyse de co-inertie entre variables environnementales et abondance des abeilles (**Figure 6.44**) montre que pour certains d'entre eux, les communautés concordent bien avec les variables d'habitat (HV40_T1, D92_T1, D106_T2). On constate aussi sur le plan factoriel que pour presque tous ces doublets de sites, les dispersions entre les pointes de leurs flèches (« position » selon les espèces) sont plus faibles que les dispersions entre les points noirs (« position » selon les variables d'habitat). Au sein de ces doublets de sites, les communautés d'abeilles apparaissent plus homogènes entre elles que les habitats qui les hébergent (tels que décrits par les variables utilisées). Le doublet des sites HV44_T1 HV44_T2 montre les mêmes écarts entre points et entre pointes des flèches. L'analyse de co-inertie montre donc un rapprochement et une tendance à l'homogénéisation des communautés d'abeilles entre ces sites au sein des mêmes tranchées forestières, alors que les caractéristiques d'habitat de chacun de ces sites sont plus disparates.

6.5 Observations sur les habitats offerts par les dépendances vertes

6.5.1 Caractéristiques courantes de la végétation des DVR

Lors de la construction de toute nouvelle section routière, afin que les sols remaniés par les travaux de terrassement soient rapidement protégés contre l'érosion, ils sont végétalisés avec des mélanges grainiers destinés à stabiliser rapidement les sols (développement racinaire) et à les protéger des précipitations (développement foliaire). Ces mélanges sont constitués d'un nombre réduit d'espèces (< 15) composés majoritairement (75%) de graminées telles que ray-grass (*Lolium perenne*), fétuque rouge (*Festuca rubra*), fétuque élevée (*Schedonorus arundinaceus*), dactyle (*Dactylis glomerata*). Les dicotylédones qui les composent (25%) sont pour près de la moitié des Fabacées (*Trifolium repens*, *Trifolium pratense*), qui ont la capacité de fixer l'azote atmosphérique. L'ensemencement initial est réalisé de manière hydraulique, associé à un apport d'engrais et amendements.

Cette végétalisation des dépendances vertes routières [SETRA, 1994] a des conséquences sur la qualité de l'habitat offert aux abeilles sauvages, en matière de possibilités de nidification et d'alimentation.

Couvrant quasi-intégralement le sol, cette végétalisation n'offre pas de surface de sol nu utilisable par les abeilles terricoles (la majorité des espèces d'abeilles sauvages). Seuls des pans de sol verticaux et les éventuelles parois rocheuses de certains passages en déblais offrent des sites de nidification aux abeilles terricoles dans les DVR végétalisées de cette manière.

La prédominance des graminées dans les DVR est préjudiciable aussi à l'alimentation des abeilles sauvages et papillons : les plantes à fleurs (dicotylédones, monocotylédones telles que les orchidées et les Asparagacées) utiles aux pollinisateurs y sont très minoritaires.

De plus, les pratiques les plus répandues d'entretien de la végétation herbacée des DVR tendent à renforcer la prédominance des espèces adaptées à des teneurs élevées en nutriments dans le sol, comme les graminées nitrophiles en particulier (ex. brome, dactyle, houlque, ray-grass). L'installation de ces graminées à fort développement est favorisée par l'utilisation des gyrobroyeurs qui fragmentent les herbes et restituent tous les débris au sol. Cette pratique s'apparente à la technique du *mulching* dont le but originel est précisément d'engraisser les sols (restitution de toute la matière organique et des nutriments). Ce type d'entretien des DVR limite fortement la possibilité d'installation des plantes à fleurs : compétition pour l'accès au sol des graines pouvant provenir de l'extérieur de l'emprise (pluie de graines), sol favorisant les espèces nitrophiles, compétition pour l'accès des plantules à la lumière.

L'exportation systématique des produits de coupe de cette végétation des DVR est conseillée pour appauvrir progressivement le sol en azote, le rendant de moins en moins favorable aux graminées nitrophiles, et facilitant l'installation spontanée de dicotylédones ou autres monocotylédones à partir de l'environnement local.

En l'état, la végétalisation courante des DVR dominées par les graminées offre peu de surface de sol nu pour la nidification des abeilles terricoles. Certaines espèces herbacées offrent des tiges creuses utiles pour la nidification des espèces d'abeilles cavicoles (ex. berce commune, achillée millefeuille, chardons).

Les végétaux des strates arbustive et arborée présents dans les DVR peuvent dater d'avant la construction des sections routières (ex. conservation de reliquats de haies, d'arbres isolés), être issus de plantations ou provenir d'implantations spontanées. Les végétaux de ces strates, qui présentent une diversité moins grande que ceux de la strate herbacée n'en constituent pas moins des ressources intéressantes pour les abeilles sauvages en particulier lorsqu'il s'agit d'espèces végétales pouvant être utiles à la fois à leur alimentation et à leur nidification. Dans notre zone d'étude, des espèces arbustives communes comme les ronces (souvent présentes en limite d'emprise à l'endroit des clôtures) et les ajoncs, présentent ce double intérêt : outre leurs fleurs, ils permettent la nidification dans leurs tiges creuses. Ces végétaux sont typiquement issus d'une implantation spontanée. De même, quelques espèces arborées communes telles que le châtaignier, le saule blanc et diverses espèces de la famille des rosacées (alisier torminal, merisier, cormier, sorbier des oiseaux) sont entomogames. Ces arbres sont des sources de bois mort (sur pied ou branchages tombés à terre) utile aux abeilles cavicoles nidifiant dans le bois. Elles y creusent leur nid ou se servent de galeries abandonnées par d'autres insectes. Les arbres, vivants ou morts, sont aussi des supports pour les plantes grimpantes entomogames telles que le lierre, la clématite, l'églatier.

6.5.2 Observations sur les DVR des sites d'étude HS

Hormis le site HS6 se situant dans une section routière mise en service en 2014, tous les sites se situent sur des sections anciennes, mises en service 13 à 33 ans auparavant (**Tableau 6.i**). La végétation des DVR y évolue en s'adaptant aux modes d'entretien pratiqués. Sur l'ensemble des sites d'étude HS, 155 espèces végétales ont été identifiées, elles représentent 46 familles, dont les plus représentées en nombre d'espèces

sont les Astéracées (20 espèces), les Fabacées (n = 16), les Rosacées (n ≥ 13, espèces de ronces non distinguées), les Poacées (n = 10) et les Brassicacées (n = 8). Le détail des espèces végétales de l'ensemble des sites d'étude HS est fourni en **Annexe T.6**. L'analyse synthétique de ces listes est présentée dans le **tableau 6.j**.

Tableau 6.i : Principales caractéristiques de gestion des DVR des sections routières

Sections routières	site HS1	site HS2	site HS3	site HS4	site HS5	site HS6
Communes	Derval	Grand-Fougeray	Loudéac	Plouguernevel	Vallet	Bretignolles
Année de mise en service du tronçon	1987	1982	2002	1994	1995	2014
Trafic journalier moyen du tronçon (v/j)	27000	25000	8000	4000	25000	9000
Nombre de tontes/an	2	1	1	1	1	1
Période(s) de tonte	Juin + octobre	Mai-juin	Juin	Juin	Mai à juillet	Été
Largeur d'accotement tondu ^a	2 m	Jusqu'au bord du fossé	1,5 m	1,6 m	2 m, jusqu'au bord du fossé	Jusqu'au bord du fossé + Limite d'emprise
Hauteur de tonte	10 cm	12 cm	12 cm	12 cm	< 12 cm	8 cm
Devenir des déchets tondu	Laissés sur place	Laissés sur place	Laissés sur place + partiellement exportés depuis 2015	Laissés sur place	Laissés sur place	Laissés sur place
Curage des fossés	Non	Non	Non	Non	Non	Oui
Nombre de débroussaillages/an	1	1	1	1	1	1
Période de débroussaillage	Octobre	Septembre-octobre	Septembre à novembre	Octobre	Septembre à décembre	Octobre à mars
Devenir des déchets débroussaillés	Laissés sur place	Laissés sur place	Laissés sur place + partiellement exportés depuis 2015	Laissés sur place	Laissés sur place	Laissés sur place
Emploi de produits phytosanitaires	Herbicide sous glissière du terre-plein central	Non	Non	Non	Non	Non
Mise en place du « Zéro phyto »	Evolution vers	2015	2005	2013	2012	2010
Plantation de ligneux	non	nc	oui	non	non	Oui
Présence de ruches	non	non	oui (3)	oui (2)	non	non

Tableau 6.j : Principales caractéristique de la végétation des DVR

Sites	HS1	HS2	HS3	HS4	HS5	HS6
Nombre d'espèces herbacées	48	47	44	39	47	68
Nombre d'espèces herbacées entomogames ^b	36 (75%)	35 (74%)	33 (75%)	29 (74%)	34 (72%)	46 (67%)
Nombres d'espèces herbacées entomogames en fleur au moment de l'étude	19 (52%)	22 (62%)	20 (60%)	16 (55%)	22 (64%)	35 (76%)
Nombre d'espèces de graminées	4	3	4	4	5	7
Graminées nitrophiles	Brome stérile Dactyle aggloméré Houlque laineuse	Dactyle aggloméré Pâturin annuel	Brome stérile Brome fausse orge Dactyle aggloméré	Dactyle aggloméré Pâturin annuel	Brome stérile Dactyle aggloméré Houlque laineuse	Brome fausse orge Dactyle aggloméré Houlque laineuse

Sites	HS1	HS2	HS3	HS4	HS5	HS6
						Pâturin annuel Pâturin des prés
Espèces entomogames des fossés	Berce commune Ortie dioïque Carotte sauvage	Berce commune	Berce commune Ortie dioïque	Berce commune Ortie dioïque	Berce commune Ortie dioïque	Ortie dioïque
Nombre d'espèces arbustives	9	13	4	8	10	8
Nombre d'espèces arbustives entomogames ^b	9 (100%)	13 (100%)	4 (100%)	8 (100%)	10 (100%)	8 (100%)
Nombres d'espèces arbustives entomogames en fleur au moment de l'étude	3 (33%)	5 (38%)	1 (25%)	4 (50%)	3 (30%)	1 (12%)
Nombre d'espèces arborées	5	8	2	1	4	1
Nombre d'espèces arborées entomogames ^b	2	3	1	0	1	1
Nombre d'espèces arborées entomogames en fleur au moment de l'étude	1	2	1	0	0	0
Nombre totale d'espèces végétales entomogames	47	51	38	37	45	55

^b : référence Tela Botanica (www.tela-botanica.org)

6.5.2.1 Composition de la strate herbacée

Sur l'ensemble des sites d'étude HS, 124 espèces végétales ont été identifiées dans la strate herbacée. Selon les sites, on en dénombre de 39 à 68. Bien qu'elles couvrent 90% de la surface des sites d'étude, les graminées ne comptent que 10 espèces au total. Selon les sites on en dénombre 3 à 7, dont la majorité (2 à 5 espèces selon les sites) sont indicatrices de sols riches en nutriments : brome stérile (*Anisantha sterilis*), brome fausse orge (*Bromus hordeaceus*), dactyle aggloméré (*Dactylis glomerata*), houlque laineuse (*Holcus lanatus*), pâturin annuel (*Poa annua*), et pâturin des prés (*Poa pratensis*). L'abandon des résidus de tonte sur le sol (équivalent à du *mulching*) depuis de nombreuses années (cf. **Tableau 6.i**) est le facteur déterminant de la présence et de la dominance de ces graminées nitrophiles.

Au-delà des graminées nitrophiles, certaines espèces de dicotylédones s'étant installées spontanément dans les DVR sont elles aussi adaptées aux sols riches en nutriments. On les trouve en particulier dans les zones les plus basses comme les fossés où les nutriments convergent par drainage interne du sol. Il s'agit par exemple de la berce commune (*Heracleum sphondylium*) présente sur cinq sites, de l'ortie dioïque (*Urtica dioica*) présente sur cinq sites et de la carotte sauvage (*Daucus carota*) présente sur un site. Ces trois espèces sont entomogames.

Parmi les plantes herbacées identifiées dans les sites d'étude, 88 sont des espèces entomogames. Sur 1 km de tronçon, on en compte de 29 à 46 selon les sites. On observe sur l'ensemble des sites une proportion relativement importante et remarquablement constante d'espèces entomogames (moyenne = 73%, minimum = 67%, maximum = 75%). La proportion la plus faible est observée dans le site de plus grande diversité floristique (HS6) et qui présente aussi le plus grand nombre d'espèces entomogames (46). Au moment des études de site, 76% des espèces herbacées entomogames du site HS6 étaient en fleur, contre seulement de 52% à 64% sur les autres sites d'étude. Le site HS6, se distingue des précédents par sa plus grande diversité floristique et sa plus grande quantité d'espèces entomogames. Il se situe sur la section routière la plus récemment créée (2014 vs. 1982 à 2002).

Les espèces herbacées les plus répandues sur l'ensemble des sites d'études (présentes sur au moins cinq sites HS) sont l'achillée millefeuille (5), le gaillet accrochant (6), le géranium à feuilles découpées (5), la berce commune (5), la porcelle enracinée (5), le séneçon de Jacob (5), la marguerite (6), le plantain lancéolé (6), le séneçon commun (5), la stellaire holostée (6), la morgeline (6), le pissenlit (6), l'ortie dioïque (5), la véronique des champs (5). Toutes ces espèces sont entomogames.

6.5.2.2 Composition de la strate arbustive

Sur l'ensemble des sites d'étude HS, un total de 19 espèces de la strate arbustive (arbrisseaux et arbustes) a été identifié. Selon les sites, on en dénombre de 4 à 13. La totalité des espèces arbustives identifiées dans ces sites est entomogame. Au moment des études de terrain, la proportion d'espèces entomogames en fleur est plus faible que dans la strate herbacée (12 à 50%). Pour tous les sites cette strate fait l'objet d'une opération de débroussaillage annuelle réalisée entre septembre et mars selon les sites et les circonstances. Les résidus de coupe sont laissés au sol. Une exportation partielle est réalisée depuis 2015 dans la section du site HS3.

Les espèces de la strate arbustive les plus répandues sur l'ensemble des sites d'étude (présentes sur au moins cinq sites HS) sont le noisetier (5), le genêt à balais (5), les ronces (6), les saules (5) et l'ajonc d'Europe (5).

● Composition de la strate arborée

Le nombre total d'espèces de la strate arborée identifiées sur l'ensemble des sites HS est de 12. Selon les sites, on en dénombre de 1 à 8. Le nombre d'espèces arborées entomogames varie de 0 à 3 selon les sites. Un site (HS4) n'en contient pas. Au moment des études de terrain, très peu d'espèces arborées étaient en fleur (0 à 2 espèces selon les sites). Le merisier (*Prunus avium*) et le prunier-cerise (*Prunus cerasifera*) étaient les espèces les plus présentes (trois sites).

La section routière du site HS6 mise en service en 2014, a fait l'objet de plantations de jeunes arbres (associées à une couverture du sol par un film plastique qui prive les abeilles terricoles d'importantes surfaces de sol nu – **Figure 6.45**). Ce type de zone plantée n'a pas été inclus dans le linéaire étudié du site HS6.



Fig. 6.45 – Talus planté dans la DVR de la RN 149/249 (Bretignolles, Deux-Sèvres)
©Héloïse Blanchard

6.5.2.3 Intérêt des DVR étudiées en termes de ressources alimentaires pour les pollinisateurs

Au total 111 espèces végétales entomogames (≈90% des espèces identifiées) ont été identifiées sur l'ensemble des DVR des sites d'étude HS, dont 88 appartiennent à la strate herbacée, 19 à la strate arbustive, et 4 à la strate arborée. Selon les sites d'étude, on compte ainsi de 37 à 55 espèces végétales entomogames par tronçon étudié (1 km de long).

6.5.2.4 Intérêt des DVR étudiées en termes de possibilités de nidification pour les pollinisateurs

Du fait du mode d'entretien de la végétation herbacée indiquée en **section 6.5.1**, le sol des DVR étudiées présente très peu de surface de sol nu utilisable par les abeilles terricoles. En revanche, quelques espèces herbacées à tiges creuses ont été observées (*Cirsium arvense*, *Cirsium vulgare*, *Heracleum sphondylium* présent dans les 6 sites, *Rumex acetosa*, *Rumex acetosella*, *Verbascum sp.*), offrant des possibilités de nidification à certaines abeilles cavicoles. Certaines herbacées fournissent aussi des matériaux d'aménagement des nids, tels que des poils (les chardons, *Achillea millefolium*, *Verbascum sp.*) ou des pétales (ex. *Lotus corniculatus*).

Des végétaux de la strate arbustive très bien représentés dans les DVR fournissent aussi des supports de nidification importants (tiges creuses) pour les abeilles cavicoles : ronces (*Rubus sp.*), ajoncs (ex. *Ulex europaeus*), chèvrefeuille des bois (*Lonicera periclymenum*). D'autres comme les saules, fournissent aussi des matériaux d'aménagement des nids (poils).

Parmi les papillons observés (**Tableau 6.b**), une partie des espèces utilise des Brassicacées comme plante hôte au stade chenille (Aurore, Piéride du chou, Piéride de la rave, Piéride du navet). Présentes sur quasiment tous les sites, elles peuvent bénéficier du champ de colza voisin, mais aussi de Brassicacées présentes dans la DVR : pieds de *Brassica napus*, de *Brassica nigra* et de *Brassica rapa* (cf. **Annexe T.6**). Quatre espèces s'alimentent exclusivement de la Grande ortie (*Urtica dioica*) au stade chenille (Paon du jour, Petite tortue, Carte géographique, Vulcain). Elles sont absentes des 2 premiers sites uniquement. La Grande ortie a été identifiée dans toutes les DVR sauf celle du site HS2. Trois espèces (Procris, Satyre/Mégère, Tircis) utilisant comme plantes hôtes des monocotylédones (Poacées, Cypéracées, Juncacées) trouvent dans la végétation dominante des DVR de quoi les alimenter au stade chenille. Enfin, deux espèces (Point de Hongrie et Piéride de la moutarde) utilisent des Fabacées comme plante hôte. Ces deux espèces, de même que la Carte Géographique et le Procris, se trouvaient au mois d'avril au début de leurs périodes d'activité respectives. On ne les observe d'ailleurs que dans les deux derniers sites étudiés.

6.5.3 Observations sur les dépendances vertes du réseau électrique (DVE)

6.5.3.1 Ressources alimentaires dans les tranchées forestières

Au total, sur les 56 sites d'étude HC, 205 taxons végétaux ont été identifiés (192 identifiés au niveau de l'espèce et 13 au niveau du genre). La grande majorité est constituée d'herbacées pour la plupart entomogames. On y trouve aussi quelques arbrisseaux et sous-arbrisseaux eux aussi entomogames (bruyères, thym, genêts, ronces, églantiers, bourdaine...).

Sur un total de 31 tranchées forestières étudiées, dans 11 cas la végétation est dominée par la fougère aigle (*Pteridium aquilinum*), pouvant atteindre 2 m de haut par endroits (cf. **Figure 6.46**). Pendant la période estivale, la présence importante de cette espèce limite fortement les autres espèces végétales, notamment celles apportant des ressources alimentaires pour les abeilles et les papillons. Cependant, nous avons observé que sous le couvert dense de fougère aigle pouvait se développer par endroits de petites populations d'espèces végétales visitées par les abeilles et les papillons (ex. renoncules).

Dans quelques tranchées forestières (n = 5), la domination de la fougère aigle se fait en association avec les ronces exclusivement. Ces dernières peuvent fournir une ressource alimentaire sur une période étendue de l'année (juin à août) en fonction de la diversité des espèces présentes. Elles offrent aussi des possibilités de nidification pour les espèces rubicoles, mais elles sont aussi très limitantes pour les plus petites espèces végétales entomogames. Une tranchée forestière était entièrement colonisée par les ronces (D94_T1).



Fig. 6.46 – Une tranchée forestière colonisée par la fougère aigle (*Pteridium aquilinum*) ©Violette Le Féon



Fig. 6.47– Carte géographique (*Araschnia levana*) sur un massif de ronces dans une tranchée forestière ©Violette Le Féon

6.5.3.2 Possibilités de nidification dans les tranchées forestières

Ni les tiges creuses des fougères aigles sèches sur pied, ni celles en tapis au sol, ne constituent des supports de nidification pour les abeilles sauvages cavicoles. Par contre les ronces, souvent relativement abondantes (Figure 6.47), offrent dans de nombreuses tranchées forestières des possibilités de nidification aux espèces rubicoles.

Des possibilités de nidification sont offertes aux espèces cavicoles grâce au bois mort généré par les opérations d’entretien de la végétation arborée. Il s’agit d’une part des souches des arbres abattus, et d’autre part de branches sèches souvent regroupées en lisière de la tranchée forestière (Figure 6.48).



Fig. 6.48 – Branchages secs bien exposés laissés en lisière de tranchée forestière ©Violette Le Féon



Fig. 6.49 – Surface de sol nu autour d’un pied de pylône ©Violette Le Féon

Les tranchées forestières offrent de façon ponctuelle des surfaces de sol nu générées de façon fortuite : traces des passages de roues des véhicules d’entretien de RTE ou de particuliers, sol remanié autour des pieds de pylône suite à des travaux. La figure 6.49 montre les abords immédiats d’un pied de pylône ayant fait l’objet de travaux. Ces travaux ont généré des surfaces de sol nu horizontales et verticales propices à diverses espèces d’abeilles terricoles (cet endroit présente l’avantage d’être sablonneux et bien exposé). Dans des sections en pente, aux abords d’affleurements rocheux, des zones de sol maigre fournissent parfois des surfaces de sol nu.

6.5.3.3 Milieux maintenus ouverts par les lignes électriques

Les tranchées forestières identifiées correspondent dans la majorité des cas à des coupes réalisées spécialement dans les massifs forestiers pour y faire passer les lignes électriques. Le milieu forestier a été ouvert pour implanter l'infrastructure linéaire de transport électrique, tel par exemple que la ligne La Traverse-Lubersac implantée en 1970 dans les environs de Meuzac (Haute-Vienne ; Latitude : 45,5700 ; Longitude : 1,4033°) (Figure 6.50a et b).

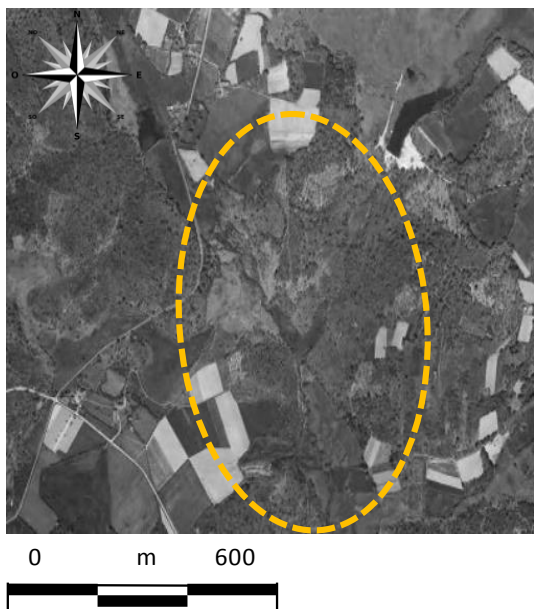


Fig. 6.50a – Photo aérienne de l'occupation du sol dans les environs de Meuzac (Haute-Vienne) en 1964

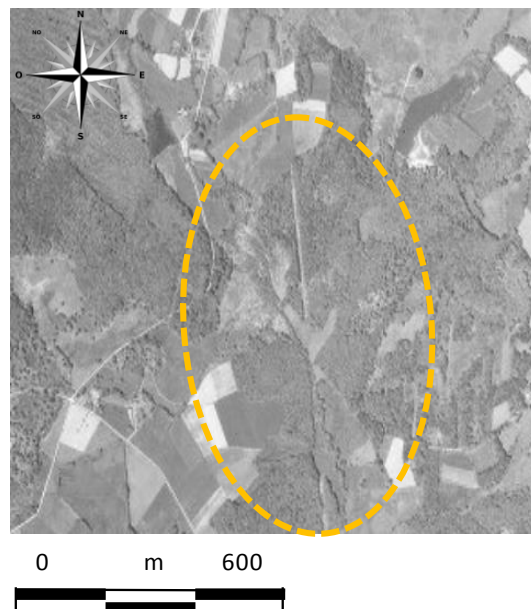


Fig. 6.50b – Photo aérienne de l'occupation du sol dans les environs de Meuzac (Haute-Vienne) en 1974

L'analyse de l'historique des sites (et notamment de photographies aériennes anciennes) a révélé que dans un contexte de déprise agricole et de recolonisation par la forêt des terrains agropastoraux abandonnés, l'entretien de la dépendance verte permet de maintenir un reliquat de milieu ouvert dans des paysages où la végétation ligneuse gagne du terrain. Les figures 6.51a et b en fournissent un exemple dans les environs de Meuzac (Haute-Vienne ; Latitude : 45,5926° ; Longitude : 1,3822°). Les zones maintenues ouvertes grâce aux DVE apparaissent nettement en 2010.

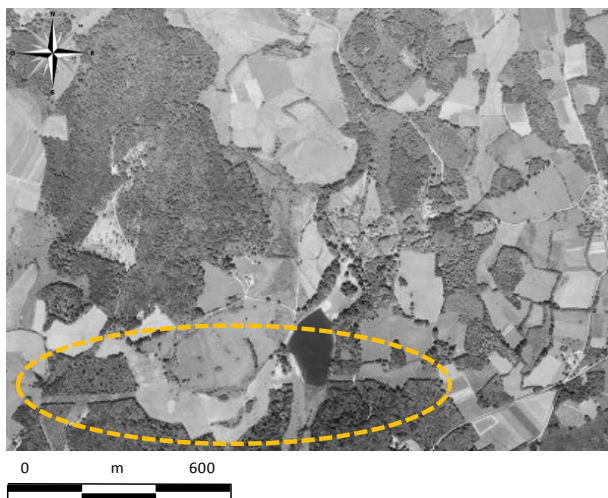


Fig. 6.51a – Photo aérienne de l'occupation du sol dans les environs de Meuzac (Haute-Vienne) en 1969

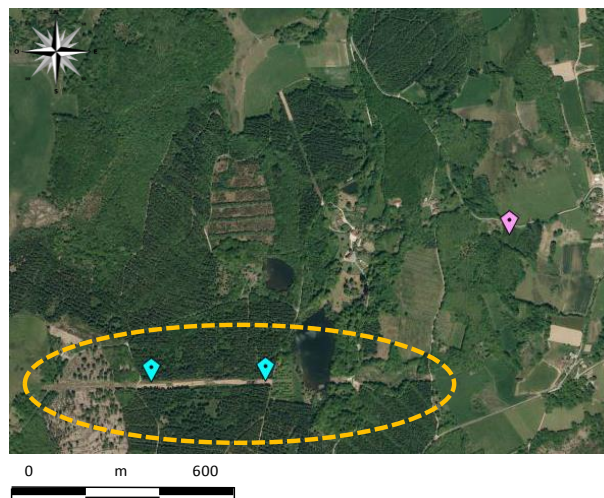


Fig. 6.51b – Photo aérienne de l'occupation du sol dans les environs de Meuzac (Haute-Vienne) en 2010

Grâce à une série chronologique de photos aériennes nous avons pu constater ainsi que les pelouses calcaires dans les environs de Nontron (sites D104, D105, D106) étaient le reliquat de formations beaucoup plus étendues lorsque des troupeaux de moutons les fréquentaient²⁸. Ces terrains sont aujourd'hui colonisés par des boisements secs à chêne pubescent jusqu'au bord des dépendances vertes (**Figure 6.52**).



Fig. 6.52 - Pelouse sèche (site D105_T4) préservée à l'endroit d'une DVE (Rudeau-Ladosse, Dordogne)
©Violette Le Féon

6.5.4 Propositions pour tirer profit du potentiel des DVE pour les abeilles sauvages

Les sites en tranchée forestière se caractérisent par la présence de ressources diversifiées pour la nidification des abeilles sauvages.

Pour les espèces nidifiant dans le bois, le bois mort produit sur place par les opérations d'entretien peut être mis à profit. Les branchages peuvent être regroupés en fagots dans les endroits les plus ensoleillés. S'ils doivent être dégagés de l'axe de la tranchée, ils seront rassemblés en lisière, du côté de la tranchée le plus exposé possible au sud (**Figure 6.48**).

De même les éventuelles souches issues d'abattages, si elles ne peuvent demeurer dans l'axe de la tranchée, seront déplacées du côté le mieux exposé au soleil.

Les quelques passages dans les tranchées forestières liés à diverses activités, dont les interventions à partir des pylônes électriques, génèrent des surfaces de sol nu qui sont propices à des espèces d'abeilles nidifiant dans le sol (**Figure 6.14**). Les surfaces entourant les pieds de certains pylônes, pourraient être maintenues libres de végétation (par simple griffage superficiel au plus). Les sols recherchés doivent être chauds et secs. Il s'agira donc de surfaces autour de pylônes situés sur des pentes ou dans des points hauts, ces endroits étant plus sensibles à l'érosion (**Figure 6.16**) et offrant de bonnes conditions d'exposition.

Les éventuelles parois de sol verticales dégagées par les tranchées forestières (et/ou les implantations de pylônes) et exposées au sud, peuvent aussi être maintenues libres de végétation (**Figure 6.49**).

Les passages de véhicules de services constituent des chemins le long des tranchées forestières. Ces chemins (parfois simples passages de roues) sont mis à profit par des abeilles pour nidifier dans les zones où le sol est sec et chaud. Il s'agira de maintenir libre de végétation ce type de surfaces érodées, qui se situent aussi plutôt sur des terrains en pente ou en hauteur.

Enfin, pour les espèces d'abeilles nidifiant dans les tiges creuses de végétaux, la présence de ronces dans de nombreuses tranchées forestières est une aubaine. Les tranchées forestières pourront donc conserver une partie de leur surface couverte par les ronces. Chaque année un débroussaillage partiel pourra en être réalisé, de façon à régénérer les massifs sans pour autant priver totalement les abeilles de cette ressource.

²⁸ <http://www.pnr-perigord-limousin.fr>

Les ronces sont aussi une ressource alimentaire importante pour les abeilles et d'autres insectes pollinisateurs (**Figure 6.47**). Toutefois, c'est la strate herbacée qui fournit l'essentiel de la diversité floristique proposable pour l'alimentation des abeilles sauvages. L'implantation dans les tranchées forestières d'une végétation herbacée dans laquelle les dicotylédones pourraient se développer nécessite un entretien de type fauchage ou pâturage (**Figure 6.52**). A défaut de ce type d'entretien, les ronces ont la capacité de couvrir l'ensemble de la surface. Même si ce type d'entretien est mis en place, il est important de conserver par endroits des massifs de ronces.

A défaut ou en complément d'un entretien orienté en faveur de la strate herbacée pour la ressource alimentaire, des arbrisseaux et arbustes (plantations) peuvent servir à diversifier la ressource alimentaire et servir à contenir l'expansion des ronciers. On peut citer par exemple le sureau, le noisetier, le genêt, l'ajonc, l'épine noire et certains saules. L'entretien de cette végétation nécessitera des interventions mécaniques.

De nombreuses tranchées forestières sont marquées par une forte présence de la fougère aigle (**Figure 5.3**). Dans certains cas elle est même omniprésente (**Figure 6.46**). L'abondance de fougère aigle restreint les possibilités de colonisation par d'autres espèces végétales et donc l'intérêt des tranchées forestières pour les abeilles sauvages et autres insectes pollinisateurs. Toute opération en faveur des abeilles sauvages dans une tranchée de ce type devra donc commencer par la libération de tout ou partie de la surface occupée par les fougères (cf. les techniques d'éradication des fougères, que ce soit par fauchage ou au moyen de rouleau briseur de tiges).

7

Discussion

Le rôle des dépendances vertes d'infrastructures linéaires de transport pour la conservation de certains insectes pollinisateurs dans des territoires anthropisés a été envisagé de longue date par quelques rares auteurs [Master, 1975 ; Pyle, 1976]. Cet intérêt a été décrit plus récemment en France, en particulier à propos des bords de routes [De Redon de Colombier, 2008]. Le travail réalisé dans le cadre du projet PolLinéraire a permis d'apporter des connaissances plus ou moins substantielles sur les fonctions Habitat, Source et Conduit des dépendances vertes selon les résultats des études de sites Habitat-Source (dans des dépendances vertes routières) et des études de sites Habitat-Conduit (dans des dépendances vertes de lignes électriques à haute tension). Les études sur le potentiel des dépendances vertes en faveur des insectes pollinisateurs sauvages restent à ce jour peu nombreuses au niveau international, mais les dépendances vertes routières et celles des réseaux électriques sont toutefois jusqu'à aujourd'hui les plus prises en compte pour la préservation de ces insectes [Wojcik & Buchmann, 2012 ; Lee, 2016 ; Wojcik et al., 2016]. Les abeilles identifiées dans les dépendances vertes d'ILT et dans les milieux de référence dans le cadre de PolLinéraire vont aussi contribuer à la connaissance générale sur la distribution spatiale des espèces d'abeilles en France. Des dépendances vertes ont d'ailleurs révélé la présence d'espèces jusqu'alors inconnues dans les zones considérées.

7.1 Habitat pour les abeilles et papillons dans les dépendances vertes

Pour les communautés de papillons et d'abeilles, en termes de richesse spécifique, les comparaisons entre les sites (surface d'un site $\approx 1000 \text{ m}^2$) de référence (sites R de types prairies, landes, pelouses sèches) et les sites des emprises de lignes électriques en tranchées forestières (sites TF) ont fourni des moyennes similaires (absence de différences significatives sur le plan statistique – c'est-à-dire $p > 0,05$). Pour les papillons (total de 59 espèces identifiées sur un ensemble de 25 sites de référence et total de 66 espèces sur un ensemble de 29 sites de tranchées forestières), la moyenne des richesses spécifiques dans les sites de référence était de $10,1 \pm 0,9$ espèces, et de $10,9 \pm 0,7$ espèces dans les sites TF. Pour les abeilles (total de 67 espèces sur un ensemble de 25 sites de référence), la moyenne des richesses spécifiques dans les sites de référence était de $6,2 \pm 0,7$ espèces, avec une abondance moyenne de $12,4 \pm 2,0$ abeilles/site. Dans les tranchées forestières (total de 96 espèces sur un ensemble de 31 sites), la moyenne des richesses spécifiques était de $6,8 \pm 0,5$, avec une abondance moyenne de $12,0 \pm 0,9$ abeilles/site. Les mêmes équivalences d'abondances et de richesses spécifiques entre emprises de lignes électriques en tranchées forestières et prairies semi-naturelles environnantes ont été observées en Suède par Hill et Bartomeus (2017) pour des bourdons (ensemble de 19 espèces). Ces résultats concordent avec un des enseignements issus de la revue systématique conduite par Villemey et al. (2018) qui est que d'une façon générale, les dépendances vertes d'ILT semblent héberger des communautés de pollinisateurs aussi riches, voire plus riches, que les milieux environnants.

En un site donné, la composition des communautés d'insectes pollinisateurs (diversité, abondance) varie au cours de la saison, en fonction de la phénologie des différentes espèces et en lien avec l'évolution des ressources disponibles localement au cours de l'année [Williams et al., 2001 ; Banaszack et al., 2014]. La visite des sites à une seule date [Kasten et al., 2016] n'a donc pas pour but de décrire l'intégralité des espèces de papillons ou d'abeilles sauvages qui les fréquentent. Elle trouve son utilité dans la multiplication des sites et la possibilité d'appréhender les variations spatiales des communautés. Réaliser l'ensemble des visites sur un bref laps de temps permet de minimiser l'influence de l'évolution saisonnière sur les résultats. Les valeurs quantitatives de richesses spécifiques et d'abondances produites dans le cadre du protocole d'étude de Pollinéaire valent en termes de comparaison spatiale à un moment donné (juin-juillet 2015) dans la zone géographique considérée, mais elles ne peuvent pas être comparées aux valeurs issues d'études exhaustives réalisées sur plusieurs mois ou plusieurs années. Ces dernières aboutissent logiquement à des effectifs d'espèces bien supérieurs comme par exemple de 70 à 122 espèces d'abeilles sauvages dans des prairies et pâturages en Grande-Bretagne, Suède, Pologne et Allemagne [Westphal et al., 2008].

La présence d'espèces d'abeilles parasites significativement plus importante dans les tranchées forestières que dans les sites de référence (en abondance et en richesse spécifique) indique un bon état des populations de leurs espèces hôtes [Sheffield et al., 2013]. Des espèces hôtes confirmées par la littérature²⁹ ont d'ailleurs été identifiées dans les sites en tranchées forestières. La moitié de ces sites contenait des espèces parasites, contre un quart seulement des sites de référence. Les surfaces de sol nu, plus abondantes dans les sites en tranchées forestières que dans les sites de référence, peuvent en être une raison, de nombreuses espèces hôtes étant terricoles. Aux Etats-Unis (Maryland), Russell et al. (2005) avaient également constaté une plus grande diversité d'espèces parasites (et d'espèces cavicoles – *cavity-nesting*) dans les emprises de lignes électriques que dans les prairies environnantes.

Utilisées en écologie du paysage et dans la recherche de l'influence de facteurs environnementaux [Dray et al., 2003 ; Millán de la Peña et al., 2003 ; Le Féon et al., 2010], des analyses de co-inertie ont été mises en œuvre pour l'ensemble des sites d'étude HC afin d'évaluer l'influence des caractéristiques d'habitat sur les communautés de papillons et d'abeilles. Les variables de caractérisation de l'habitat (richesse floristique, taux de recouvrement du sol par les plantes entomogames en fleur, importance de la surface de sol nu, abondance de bois mort, abondance de ronces, abondance de fougères) ont été croisées avec les données d'inventaire des papillons (présence/absence des espèces) d'une part, et les données d'inventaire des abeilles (abondance des espèces) d'autre part. On constate que pour une large majorité de sites en tranchées forestières, la concordance est bonne à très bonne entre les communautés et les caractéristiques de l'habitat : 68% des sites pour les communautés d'abeilles et 83% des sites pour les communautés de papillons. Il existe une bonne correspondance générale entre les communautés de ces sites et les caractéristiques d'habitat qu'ils offrent. A titre de comparaison, la concordance est bonne pour les trois quarts des sites de référence, pour les communautés de papillons comme pour les communautés d'abeilles.

Sur la base des analyses en composantes principales et des analyses de co-inertie, les sites de tranchées forestières étudiés se distinguaient des sites de référence par leur plus faible richesse floristique et leur plus faible taux de recouvrement par des plantes en fleur. Par contre les sites en tranchée forestière offraient d'autres ressources utiles aux abeilles, comme des surfaces de sol nu, du bois mort (branchages, souches) et fréquemment des ronces (ressource alimentaire abondante, voire envahissante, et ressource de nidification pour les espèces rubicoles). Ces caractéristiques d'habitat sont cohérentes avec celles identifiées par Hopwood (2008) comme facteurs déterminants de l'abondance et de la diversité des abeilles dans des dépendances vertes routières aux Etats-Unis (Kansas). Les ressources de nidification caractérisant les sites en tranchées forestières peuvent se combiner aux ressources alimentaires présentes sur place ou bien à celles présentes dans le voisinage (cf. les relations potentielles mises en évidence par les comparaisons de communautés entre sites TF et R à distance de vol). Russell et al. (2005) ont mis en évidence des déplacements entre les emprises

²⁹ <http://www.atlashymenoptera.net>

des lignes électriques, riches en possibilités de nidification, et les prairies avoisinantes où les abeilles sauvages vont s'alimenter. Les résultats obtenus dans le cadre de Pollinéaire permettent d'envisager la même possibilité de circulation entre certains sites TF et R voisins (cf. Section 7.2).

La présence des ressources de nidification et d'alimentation (ronces) dans les tranchées forestières se sont avérées être toujours fortuite : ornières à l'endroit des pistes et espaces décapés autour de pylônes à l'occasion d'interventions techniques (sol nu), délaissés des coupes de bois (bois mort), libre développement des ronciers. Or, les valeurs de richesses spécifiques atteintes pour les papillons comme pour les abeilles (ex. 14 espèces) dans certains sites TF, attestent du potentiel d'amélioration que l'on peut escompter pour des tranchées forestières dans un contexte biogéographique donné, grâce à un entretien favorisant la diversité floristique d'herbacées entomogames et le maintien de sites de nidification (sol nu, bois mort, ronces). L'envahissement par les fougères se fait au détriment des ressources alimentaires et de nidification des abeilles. Des propositions ont été formulées dans ce rapport pour tirer profit du potentiel des emprises du réseau électrique en tranchée forestière pour les abeilles sauvages. Prenant en compte les contraintes d'exploitation de ces sites, elles visent à répondre aux attentes nouvelles des exploitants de réseaux pour contribuer à la préservation des insectes pollinisateurs et au maintien du service de pollinisation qu'ils offrent [Russel et al., 2005 ; Wojcik & Buchmann, 2012 ; Wojcik et al., 2016].

En règle générale les tranchées forestières sont des coupures réalisées dans des massifs forestiers préexistants. Mais dans certains cas où la forêt s'étend spontanément (comme par exemple la forêt de chêne pubescent par endroits en Dordogne), l'entretien des dépendances vertes des lignes électriques permet de maintenir une partie des milieux ouverts initiaux, tels que des pelouses sèches³⁰, particulièrement favorables aux insectes pollinisateurs [Krauss et al., 2009 ; Jauker et al., 2013].

L'étude de la fonction Habitat des dépendances vertes de lignes électriques à haute tension traversant des zones boisées a montré que ces sites de tranchées forestières hébergaient de nombreuses espèces d'abeilles et de papillons de jour, parmi lesquelles des espèces communes, des espèces faiblement documentées, mais aussi des espèces menacées. Ces résultats sont cohérents avec ceux de plusieurs études sur les communautés de papillons dans des dépendances vertes routières en Grande-Bretagne, aux Etats-Unis et en Finlande [Munguira & Thomas, 1992 ; Ries et al., 2001 ; Saarinen et al., 2005 ; Valtonen et al., 2006]. Concernant les abeilles, ils sont analogues aux observations de Wagner et al. (2014) dans des emprises forestières de lignes électriques aux Etats-Unis (Connecticut), notamment à propos d'espèces rares, voire réputées disparues régionalement. Pour les abeilles sauvages, Russell et al. (2005) avaient aussi constaté la plus grande richesse en espèces rares dans les emprises des lignes électriques que dans les prairies environnantes. De même que cela a déjà été évoqué dans un contexte biogéographique très différent pour des dépendances vertes routières (en Australie [Lentini et al., 2012]), les dépendances vertes en tranchées forestières étudiées dans le projet Pollinéaire ont révélé qu'elles contribuaient au pool régional d'espèces d'abeilles.

Sur un total de 950 espèces d'abeilles recensées en France, 3 sont classées « En danger critique » selon l'UICN, 16 sont classées « En danger », 13 sont classées « Vulnérables », 77 sont « Quasi-menacées » et 506 sont classées en « Préoccupation mineure » [Rasmont et al., 2017]. Les autres espèces, soit 35 % du total, sont classées dans le statut DD (*Data deficient*, « Données insuffisantes »). Les trois premières catégories citées forment le groupe des espèces dites menacées [Nieto et al., 2014]. Dans le cadre du projet Pollinéaire, trois espèces d'abeilles qui ont été identifiées dans les sites en tranchée forestière sont classées comme quasi-menacées d'extinction et une espèce est menacée (classée Vulnérable) : *Bombus confusus* (dans un site de Haute-Vienne). A titre de comparaison, dans les sites de référence, quatre espèces quasi-menacées ont été identifiées ainsi qu'une espèce menacée (classée En danger). Par ailleurs, quinze espèces correspondant au statut DD ont été identifiées dans les sites TF, contre seulement quatre dans les sites de référence.

Parmi les espèces de papillons identifiées dans les sites en tranchée forestière, deux relèvent de la Directive Habitats [Conseil de l'Europe, 1992] : le Comma (*Hesperia comma*) et le Damier de la succise

³⁰ [http://www.pnr-perigord-limousin.fr/Visiteurs/Decouvrir/Les-milieux-naturels/Les-pelouses-calcaires/\(language\)/fre-FR](http://www.pnr-perigord-limousin.fr/Visiteurs/Decouvrir/Les-milieux-naturels/Les-pelouses-calcaires/(language)/fre-FR)

(*Euphydryas aurinia*) qui fait l'objet d'un statut de protection en France [JORF, 2007]. Aux Etats-Unis (Iowa, Minnesota, Wisconsin), après une évaluation menée spécifiquement de juillet à octobre 2015, les dépendances vertes routières sont envisagées comme un habitat pouvant permettre la sauvegarde du Monarque (*Danaus plexippus*), espèce de papillon qui subit un fort déclin depuis 10 ans du fait des pratiques agricoles [Kasten et al., 2016].

Dans le cadre du projet Pollinéaire, sur l'ensemble des espèces de papillons identifiées, près des trois quarts étaient des espèces communes aux sites en tranchée forestière et aux sites de référence. Une proportion de 20% des espèces s'est avérée être exclusive des sites de tranchées forestières. Pour les abeilles, cette proportion était de 42% (espèces présentant de faibles effectifs), 36% des espèces s'avérant communes aux tranchées forestières et aux sites de référence. La part importante d'espèces d'abeilles observées exclusivement dans les tranchées forestières suggère que ces dernières leur offrent des conditions d'habitat que les milieux semi-naturels pris comme référence ne leur offrent pas ou plus.

Le fait qu'une part importante des espèces d'abeilles sauvages collectées (y compris des espèces classées menacées et quasi-menacées par l'UICN) puisse trouver dans des dépendances vertes de lignes électriques des conditions de subsistance, atteste de l'intérêt de ces espaces pour la sauvegarde d'espèces rares et/ou en déclin. Mais ce constat pose en même temps question quant à l'état général de l'habitat pour les insectes pollinisateurs dans les milieux semi-naturels avoisinants, alors même que la majorité des sites étudiés se trouvaient dans un périmètre *a priori* relativement préservé (à l'intérieur du parc naturel régional Périgord-Limousin). Une étude conduite en Allemagne à travers 63 aires semi-naturelles protégées vient de conclure qu'en 27 ans, 75% de la biomasse d'insectes volants y avait disparu [Hallmann et al., 2017]. De récentes revues de la littérature [Goulson et al., 2015 ; Potts et al., 2016] indiquent que l'intensification des pratiques agricoles ainsi que la fragmentation et la disparition des habitats semi-naturels dans les espaces ruraux sont des causes majeures de déclin des insectes pollinisateurs.

7.2 Fonctions Source et Conduit des dépendances vertes

Très peu d'études ayant porté sur la dispersion d'insectes le long des dépendances vertes d'ILT (aucune ne portait sur des insectes pollinisateurs), la revue systématique conduite par Villemey et al. (2018) conclue qu'il n'est pas possible de se prononcer aujourd'hui sur leur rôle de corridor. Cette même synthèse souligne dans ses perspectives pour la recherche, l'intérêt d'évaluer la contribution des dépendances vertes à la biodiversité à l'échelle du paysage. Dans le cadre du projet Pollinéaire, contrairement à la fonction Habitat, les études des fonctions Source et Conduit des dépendances vertes n'ont pas pu bénéficier de résultats directement interprétables tels que des captures en nombre suffisant d'abeilles sauvages dans les champs de colza avoisinant les dépendances vertes routières (méthode envisagée pour évaluer la fonction Source) ou des analyses de similarité de communautés dans des dépendances vertes d'ILT interconnectées et environnées de milieux non attractifs (méthode envisagée initialement pour évaluer la fonction Conduit). A défaut, certaines observations et résultats moins directs ont apporté cependant des éléments de réponse aux interrogations sur les fonctions Source et Conduit.

Le nombre de sites d'étude HS qu'il a été possible de prendre en compte et le nombre d'abeilles qu'il a été possible d'y collecter étaient trop faibles pour permettre une analyse quantitative de l'éventuel rôle source des dépendances vertes (en l'occurrence routières) pour la mosaïque paysagère environnante (en l'occurrence des cultures de colza voisines des routes). Le site de dépendance verte routière qui a permis le plus de captures d'abeilles sauvages a en même temps montré la présence de plus d'abeilles sauvages dans le champ de colza en bordure de dépendance verte que du côté opposé. Les observations complémentaires réalisées sur les abeilles mellifères ont fourni, de façon plus marquée, le même constat. Alors que la présence des abeilles mellifères dans les dépendances vertes routières étudiées était quasi-nulle (en raison des contextes recherchés pour les sites d'étude HS), dans les champs de colza de trois sites, on les a trouvées en plus grand nombre du côté bordant la dépendance verte que du côté opposé des champs. Tel que cela a déjà été décrit pour les

bourdons et l'abeille mellifère [Ohashi & Thomson, 2009 ; Hanley & Wilkins, 2015 ; Buatois & Lihoreau, 2016], on peut émettre l'hypothèse d'un cheminement préférentiel (« *trapline foraging* ») de ces abeilles au sein de l'espace dépourvu d'obstacles transversaux que constituent les DVR pour rejoindre une ressource alimentaire attractive. La dépendance verte jouerait à la fois le rôle de Source (source intermédiaire, car les abeilles mellifères observées n'y nichaient pas) pour la culture avoisinante, et de Conduit pour cheminer depuis la ruche jusqu'au champ de colza.

Dans le cadre des études en tranchées forestières, à plusieurs reprises des papillons de jour ont été observés ne faisant que transiter au sein de l'emprise, et ce en particulier lorsque les lieux offraient peu de richesse floristique et/ou des ressources alimentaires peu abondantes (par exemple en présence d'une proportion importante de fougères). Au long de ces tranchées forestières, des sites TF espacés de quelques centaines de mètres ont montré des communautés d'abeilles assez semblables (indices de Bray-Curtis). L'analyse de co-inertie réalisée entre les communautés d'abeilles de ces mêmes sites et leurs variables d'habitat a confirmé la possibilité de rapprochements de communautés d'abeilles entre sites TF le long des tranchées forestières. Ainsi, même si des caractéristiques d'habitat des sites en question apparaissent dans certains cas plutôt hétérogènes, des relations semblent pouvoir s'établir entre des sites distants au sein d'une même tranchée forestière et conduire à des rapprochements des communautés. Ces situations ont été observées en Dordogne (Rudeau-Ladosse, Saint-Front-la-Rivière) et en Haute-Vienne (Meuzac, Rochechouart).

Au sein des sites d'étude HC, les similarités des communautés d'abeilles entre certains sites en tranchée forestière et des sites de référence situés à distance de vol des abeilles ont fourni d'autres signes de relations possibles entre des dépendances vertes et des éléments de la trame paysagère environnante. Ces situations ont été observées en Dordogne (Milhac-de-Nontron, Rudeau-Ladosse) et en Haute-Vienne (Meuzac). Ces résultats concordent avec les déplacements d'abeilles rapportés par Russel et al. (2005) à partir d'emprises de lignes électriques aux Etats-Unis (cf. Section 7.1). Ils concordent d'une façon plus générale avec les conclusions de la revue systématique sur les insectes et les dépendances vertes réalisée par Villemey et al. (2018) en ce qui concerne les relations constatées entre les communautés d'insectes au sein des dépendances vertes et avec le paysage environnant.

Etudier plus efficacement les relations « transversales » entre les dépendances vertes et la trame paysagère environnante, que cette dernière soit naturelle ou bien cultivée tel qu'il était envisagé de le faire à travers les études de sites HS, nécessiterait un temps d'étude plus long qu'une seule saison, afin de ne pas rendre l'étude aussi vulnérable aux aléas climatiques qu'elle a pu l'être cette fois. Pouvoir attester du rôle de source de pollinisateurs sauvages des dépendances vertes pour les plantes sauvages et cultivées environnantes serait un atout supplémentaire pour inciter les gestionnaires de réseaux et les acteurs locaux à la mise en œuvre rapide d'actions en faveur des insectes pollinisateurs sauvages. Une étude récente a montré que le niveau de pollinisation de trois cultures dans l'est des Etats-Unis (New-Jersey, Pennsylvanie) est bien corrélé avec le nombre d'espèces d'abeilles présentes localement et que plus les effectifs de chaque espèce sont faibles (abondance), plus il est nécessaire de disposer d'espèces nombreuses (richesse) pour atteindre un niveau de pollinisation donné [Winfrey et al., 2018].

7.3 Etat des populations d'abeilles dans la zone d'étude

Les captures d'abeilles et les observations de papillons réalisées dans le cadre du projet Pollinéaire confirment que les dépendances vertes d'ILT ne sont pas des « déserts » [Villemey et al., 2018]. Les espèces d'abeilles identifiées dans les sites d'études HS et HC, dans les dépendances vertes aussi bien que dans les sites de référence voisins, vont permettre de compléter des inventaires passés ou en cours (régionaux, nationaux, voire européens). Ces données intéressent par exemple les gestionnaires du parc naturel régional Périgord-Limousin, des gestionnaires des listes départementales d'espèces, des responsables de synthèses (ex. bases de

données des espèces du massif armoricain, des espèces de France et d'Europe³¹). Ces données sont essentielles pour compléter les listes rouges au niveau national et européen [Nieto et al., 2014].

Ainsi par exemple *Andrena minutula* (l'andrène des pâquerettes) qui comme 1101 espèces – soit près de 57% de la faune d'abeilles d'Europe - fait l'objet du statut DD à l'échelle européenne (liste rouge des abeilles d'Europe), a été observée dans une dépendance verte routière des Deux-Sèvres (1 spécimen) et dans sept sites de tranchées forestières en Dordogne et Haute-Vienne (16 spécimens), mais dans aucun site de référence.

Les données rapportées peuvent servir à confirmer des présences d'espèces dans des zones lacunaires en information à l'intérieur de leur aire de répartition connue. De façon plus inattendue, en particulier pour des sites de dépendances vertes, ces données peuvent avoir révélé la présence d'espèces à l'extérieur de leur aire de répartition connue à ce jour. Ceci a été le cas pour le spécimen de *Lasioglossum subfulvicorne/fratellum* (famille des Halictidés) capturé dans une dépendance verte routière des environs de Loudéac (Côtes d'Armor) et pour le spécimen de *Bombus confusus* (famille des Apidés) capturé dans une tranchée forestière des environs de Meuzac (Haute-Vienne).

Ces captures *a priori* surprenantes peuvent révéler des populations en phase d'expansion ou de migration du fait du changement climatique [Kerr et al., 2018], ou encore peut-être des situations pédo-climatiques très particulières associées à des dépendances vertes. On sait aussi que les voies de communication terrestres routières et ferroviaires et l'intensification des échanges favorisent la dissémination accidentelle des espèces animales et végétales [MEDD, 2006]. La contribution des réseaux de transport terrestre intérieurs (routes, autoroutes, chemin de fer) à la dispersion des insectes [Carrasco et al., 2010] est mise en évidence pour des espèces invasives et/ou à enjeux économique (par exemple la chrysomèle des racines du maïs [Himmel et al., 2005]). Pour un spécimen capturé à des centaines de kilomètres de l'aire de répartition connue de son espèce (*Lasioglossum subfulvicorne/fratellum*), l'hypothèse d'une dispersion accidentelle assistée par l'homme ne peut être exclue. L'interprétation de ce résultat doit tenir compte du fait que peu d'inventaires d'abeilles sauvages ayant jusqu'à présent été réalisés dans les dépendances vertes d'ILT en France, on ne peut exclure l'hypothèse que nous sous-estimons la présence actuelle de certaines espèces dans ces espaces. En tout état de cause, à l'heure où de nombreuses zones du territoire national manquent de données sur les abeilles sauvages présentes, où des espèces sont en déclin et où sous l'effet du changement climatique les zones de répartition des espèces évoluent, les listes d'espèces produites par le projet Pollinéaire seront utiles aux bases de données existantes.

³¹ <https://fr.groups.yahoo.com/neo/groups/apoidea-gallica/info>

8

Conclusion

Comme l'indique la revue systématique sur les insectes et les dépendances vertes d'ILT réalisée dans le cadre du programme Ittecop 2014 (projet COHNECS-IT), contrairement à la fonction Habitat, l'étude des fonctions Source et Conduit pour des insectes pollinisateurs sauvages au sein de dépendances vertes d'infrastructures linéaires de transport n'avait jamais été tentée (en zone de climat tempéré du moins). Bien qu'ayant dû évoluer pour s'adapter aux circonstances rencontrées sur le terrain, le projet Pollinéaire aboutit à des résultats relatifs aux trois fonctions (Habitat, Source, Conduit). Ils sont plus ou moins substantiels selon les résultats apportés par les études de sites Habitat-Source (conduites dans des dépendances vertes routières dans le nord-ouest de la France) et les études de sites Habitat-Conduit (conduites dans des dépendances vertes de lignes électriques à haute tension en tranchées forestières dans les départements de Dordogne et Haute-Vienne).

Pour les communautés de papillons, il ressort que les richesses spécifiques dans les sites en tranchée forestière et dans les milieux de référence (prairies, landes, pelouses sèches) de la zone étudiée sont tout à fait comparables. Pour les communautés d'abeilles, les richesses spécifiques sont elles aussi parfaitement comparables, de même que les abondances. Ces résultats concordent avec la littérature internationale sur ce point. La présence d'abeilles parasites significativement plus nombreuses en termes d'espèces (richesse) et de spécimens (abondance) dans les sites en tranchée forestière, y indique un relativement meilleur état des populations des espèces hôtes. Les surfaces de sol nu, plus abondantes dans les sites de tranchées forestières que dans les sites de référence, peuvent en être une raison, de nombreuses espèces hôtes étant terricoles.

Pour la majorité des sites en tranchée forestière, on observe une bonne à très bonne concordance (résultat de l'analyse de co-inertie) entre les caractéristiques de l'habitat et les communautés d'abeilles ($\approx 70\%$) d'une part, et les communautés de papillons ($\approx 80\%$) d'autre part. Les sites en tranchée forestière se distinguent des sites de référence par la disponibilité de ressources de nidification telles que sol nu, bois mort et ronces (résultat de l'analyse en composantes principales). Ces dernières étant aussi une ressource alimentaire, parfois très abondante à envahissante. Les tranchées forestières sont parfois envahies de fougère aigle (*Pteridium aquilinum*) au détriment des ressources alimentaires et de nidifications utiles aux abeilles et papillons.

Les tranchées forestières hébergent une grande diversité d'espèces d'abeilles communes mais aussi des espèces faiblement documentées (statut DD de l'UICN), ainsi que des espèces menacées et contribuent de fait au pool régional d'espèces d'abeilles. Ainsi par exemple, 42% des espèces d'abeilles identifiées dans la zone d'étude des sites d'étude HC sont présentes exclusivement dans les sites en tranchée forestière. Pour les papillons, 20% des espèces sont exclusives des sites en tranchées forestières.

Des sites (TF) distants de quelques centaines de mètres les uns des autres au sein des tranchées forestières, montrent des similitudes dans les communautés d'abeilles qu'ils hébergent (indices de Bray-Curtis), signes de relations au sein des tranchées forestières (fonction Conduit des emprises). De même, des similarités

entre communautés d'abeilles de sites TF et de sites de référence à distance de vol, indiquent la probabilité de relations entre tranchées forestières et éléments de la trame paysagère environnante. Ces résultats vont d'une part contribuer à combler le manque de connaissance actuel quant à la dispersion des insectes pollinisateurs le long des dépendances vertes d'ILT (corridors), et d'autre part compléter les connaissances rassemblées à ce jour sur les relations entre dépendances vertes et paysage environnant (cf. revue systématique COHNECS-IT).

Il est apparu que les identifications d'abeilles réalisées à l'occasion du projet Pollinéaire constituent des apports substantiels à la connaissance générale sur la distribution des espèces d'abeilles en France. Elles vont pouvoir compléter des inventaires régionaux, nationaux, voire européens.

A travers ses résultats en termes d'habitat, de contribution au pool régional d'insectes pollinisateurs, d'îlot de conservation d'espèces rares, exclusives, voire en danger d'extinction, à travers ses résultats quantitatifs et qualitatifs relatifs aux échanges avec le paysage environnant, de même qu'au sein même des dépendances vertes, le projet Pollinéaire éclaire diverses facettes de l'intérêt des dépendances vertes pour la sauvegarde des insectes pollinisateurs sauvages. Des études plus spécifiques peuvent être envisagées pour approfondir certains aspects mis en évidence à propos des déplacements longitudinaux et transversaux des abeilles et des papillons. Le potentiel des dépendances vertes en tant qu'habitat est quant à lui affirmé et pourrait d'ores et déjà être mis à profit par les gestionnaires d'ILT en relation avec la nature des territoires traversés.

9

Références

- Albouy V., Le Conte Y., 2014. *Nos abeilles en péril*. Versailles, Editions Quae, 192 p.
- Banaszak J., Banaszak-Cibicka W., Szefer P., 2014. Guidelines on sampling intensity of bees (Hymenoptera: Apoidea: Apiformes). *Journal of Insect Conservation*, 18, 651-656.
- Bellmann H., 1999. Guide des abeilles, bourdons, guêpes et fourmis d'Europe, Delachaux et Niestlé, Paris, 336 p.
- Bennett V.J., 2010. Addressing the primary threats that jeopardize the last remaining Oregon silverspot butterfly (*Speyeria zerene hippolyta*) populations. Future for Wildlife Grant Program, Oregon Zoo, Portland.
- Bhattacharya M., Primack R.B., Gerwein J., 2003. Are roads and railroads barriers to bumblebee movement in a temperate suburban conservation area? *Biological Conservation* 109, 37-45.
- Biesmeijer J.C., Roberts S.P.M., Reemer M., Ohlemüller R., Edwards M., Peeters T., Schaffers A.P., Potts S.G., Kleukers R., Thomas C.D., Settele J., Kunin W.E., 2006. Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science*, 313, 351-354.
- Blanchard H., 2015. Dépendances vertes des infrastructures linéaires de transport: influence de la diversité floristique et des modes de gestion sur les abeilles et les papillons de jour, Rapport de stage de Master 2 Biodiversité Ecologie Environnement, 85 p. + annexes.
- Blitzer E.J., Dormann C.D., Holzschuh A., Klein A.-M., Rand T.A., Tscharrntke T., 2012. Spillover of functionally important organisms between managed and natural habitats. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 146, 34-43.
- Breeze T.D., Vaissière B.E., Bommarco R., Petanidou T., Seraphides N. et al., 2014. Agricultural policies exacerbate Honeybee pollinisation service supply-demand mismatches accross Europe, *PLoS ONE* 9(1) : e82996. doi :10.1371/journal.pone.0082996.
- Buatois A., Lihoreau M., 2016. Evidence of trapline foraging in honeybees, *Journal of Experimental Biology* 219, 2426-2429.
- Burel F., Baudry J., 1999. *Écologie du paysage. Concepts, méthodes et applications*, Paris, TEC & DOC, 362 p.
- Burkle L. A. Marlin J. C., Knight T. M., 2013. Plant-pollinator interactions over 120 years : loss of species, co-occurrence and function. *Science* 339, 1611-1615.
- BWARS (Bees, Wasps & Ants Recording Society), 2015.
- Carrasco L.R., Mumford J.D., Macleod A., Harwood T., Grabenweger G., Leach A.W., Knight J.D., Baker R.H.A., 2010. Unveiling human-assisted dispersal mechanisms in invasive alien insects: Integration of spatial stochastic simulation and phenology models, *Ecological Modelling* 221, 2068-2075.
- Chifflet R., Klein E.K., Lavigne C., Le Féon V., Ricroch A.E., Lecomte J., Vaissière B.E., 2011. Spatial scale of oilseed rape pollen dispersal by insects in an open agricultural landscape. *Journal of Applied Ecology* 48, 689-696.

- Conseil de l'Europe, 1992. Directive 92/43/CEE du Conseil du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages, JO L 206 du 22.7.1992, p. 7.
- De Redon de Colombier L., 2008. Intérêts écologiques des bords de routes en milieu agricole intensif, *Thèse du Muséum National d'Histoire Naturelle*, 178 p.
- De Voghel S., 2016. Managing vegetation under overhead high-tension lines: from a constraint to an opportunity for biodiversity, *Proceedings of the international conference IENE 2016, Lyon, France, 30 Aug.-2nd Sept., 2016*.
- Direction Générale des Infrastructures, des Transports et de la Mer (DGITM), 2010. Préserver la biodiversité en favorisant la pollinisation aux bords des routes (dépliant).
- Dray S., Chessel D., Thioulouse J., 2003. Co-inertia analysis and the linking of ecological data tables, *Ecology* 84, 3078-3089.
- Dupont P., 2001. Plan national d'actions en faveur des *Maculinea* 2011-2015, OPIE-MEEDM, 130 p.
- Erritzoe J., Mazgajski T.D., Rejt L., 2003. Bird casualties on European roads - A review. *Acta Ornithologica* 38, 77-93.
- Ekroos J., Piha M., Tiainen J., 2008. Role of organic and conventional field boundaries on boreal bumblebees and butterflies. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 124, 155-159.
- Falk S., 2015. Field guide to the Bees of Great Britain and Ireland. Bloomsbury Publishing, 432 p.
- Fargier A., 2013. Méthodologie d'évaluation environnementale locale et globale pour l'insertion d'ouvrages ferroviaires dans les territoires, *Thèse de l'Ecole Centrale de Nantes*, 390 p.
- Foley J.A., DeFries R., Asner G.P., Barford C., Bonan G., Carpenter S.R., Chapin F.S., Coe M.T., Daily G.C., Gibbs H.K., Helkowski J.H., Holloway T., Howard E.A., Kucharik C.J., Monfreda C., Patz J.A., Prentice I.L., Ramankutty N., Snyder P.K., 2005. Global consequences of land use. *Science* 309, 570-574.
- Forman R.T.T., Sperling D., Bissonette J.A., Clevenger A.P., Cutshall C.D., Dale V.H., Fahrig L., France R., Goldman C.R., Heanue K., Jones J.A., Swanson F.J., Turrentine T., Winter T.C., 2003. Road Ecology Science and Solutions, Island Press, 481 p.
- François D., 2014. *L'ingénierie écologique dans le domaine des infrastructures de transport terrestre, in Ingénierie écologique : action par et/ou pour le vivant*, Editions Quae, Versailles, 181 p.
- Gallai N., Salles J.M., Settele J., Vaissière B.E., 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68, 810 - 821.
- Gardener M., 2014. Community Ecology. Analytical methods using R and Excel. Pelagic Publishing. Exeter. 556 p.
- Garibaldi L., Steffan-Dewenter I., Winfree R., Aizen M.A., et al., 2013. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science* 339, 1608-1611.
- Garibaldi L.A., Carvalheiro L., Vaissière B.E., Gemmill-Herren B. et al., 2016. Mutually beneficial pollinator diversity and crop productivity outcomes in small and large farms. *Science* 351, 387-391.
- Gathmann A., Tscharrnke T., 2002. Foraging ranges of solitary bees. *Journal of Animal Ecology* 71, 757-764.
- Geslin B., Gauzens B., Baude M., Dajoz I., Fontaine C., Henry M., Ropars L., Rollin O., Thébaud E., Vereecken N.J., 2017. Massively introduced managed species and their consequences for plant-pollinator interactions. *Advances in Ecological Research* 57, 147-199.
- Goulson D., Nicholls E., Botias C., Rotheray E.L., 2015. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers, *Scienceexpress*, 16 p. 10.1126/science.1255957.
- Greenleaf S.S., Williams N., Winfree R., Kremen C., 2007. Bee foraging ranges and their relationship to body size. *Oecologia* 153, 589-596.
- Grixti J.C., Wong L.T., Cameron S.A., Favret C., 2009. Decline of bumble bees (*Bombus*) in the North American Midwest. *Biological Conservation* 142, 75-84.

- Hallmann C.A., Sorg M., Jongejans E., Siepel H., Hofland N., Schwan H., Stenmans W., Müller A., Sumser H., Hörrn 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(10): e0185809. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>.
- Hambäck P.A., Summerville K.S., Steffan-Dewenter I., Krauss J., Englund G., Crist T.O., 2007. Habitat specialization, body size, and family identity explain lepidopteran density–area relationships in a cross-continental comparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 104, 8368-8373.
- Hanley M.E., Wilkins J.P., 2015. On the verge? Preferential use of road-facing hedgerow margins by bumblebees in agro-ecosystems, *Journal of Insect Conservation* 19, 67-74.
- Henriksen C.I., Langer V., 2013. Road verges and winter wheat fields as resources for wild bees in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 173, 66–71.
- Henry M., Béguin M., Requier F., Rollin O., Odoux J.-F., Aupinel P., Aptel J., Tchamitchian S., Decourtye A., 2012. A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees. *Science* 336, 348-350.
- Hill B., Bartomeus I., 2017. The potential of electricity transmission corridors in forested areas as bumblebee habitat, *Royal Society Open Science* 3: 160525.
- Holzschuh A., Steffan-Dewenter I., Kleijn D., Tschardt T., 2007. Diversity of flower-visiting bees in cereal fields: effects of farming system, landscape composition and regional context, *Journal of Applied Ecology* 44, 41-49.
- Hopwood J.L., 2008. The contribution of roadside grassland restorations to native bee conservation, *Biological Conservation* 141, 2632-2640.
- Hummel H.E., Bertossa M., Hein D.F., Wudtke A., Urek G., Modic S., Ulrichs Ch., 2005. The western corn rootworm *Diabrotica virgifera virgifera* en route to Germany, *Communications in agricultural and applied biological sciences* 70, 677-686.
- Inouye, D.W., 2013. Pollinators, Role of. In: Levin S.A. (ed.) *Encyclopedia of Biodiversity*, second edition, Volume 6, pp. 140-146. Waltham, MA: Academic Press.
- Jauker B., Krauss J., Jauker F., Steffan-Dewenter I., 2013. Linking life history traits to pollinator loss in fragmented calcareous grasslands. *Landscape Ecology*, 28, 107-120.
- JORF (journal officiel de la République française), 2007. Arrêté du 23 avril 2007 fixant les listes des insectes protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection.
- Kasten K., Stenoien C., Caldwell W., Oberhauser K.S., 2016. Can roadside habitat lead monarchs on a route to recovery? *Journal of Insect Conservation* 1-1.
- Kerr J.T., Pindar A., Galpern P., Packer L., Potts S.G., Roberts S.M., Rasmont P., Schweiger O., Colla S.R., Richardson L.L., Wagner D.L., Gall L.F., Sikes D.S., Pantoja A., 2018. Climate change impacts on bumblebees converge across continents. *Science* 349, 177-180.
- Klein A.M., Vaissière B.E., Cane J.H., Steffan-Dewenter I., Cunningham S.A., Kremen C., Tschardt T., 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society of London B* 274, 3-313.
- Krauss J., Alfert T., Steffan-Dewenter I., 2009. Habitat area but not habitat age determines wild bee richness in limestone quarries. *Journal of Applied Ecology* 46, 194-202.
- Kruess A., Tschardt T., 2002. Contrasting responses of plant and insect diversity to variation in grazing intensity. *Biological Conservation* 106, 293-302.
- Kuussaari M., Hyvönen T., Härma O., 2011. Pollinator insects benefit from rotational fallows. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 143, 28-36.
- Lafranchis T., *Papillons de France – Guide de détermination des papillons diurnes*, Diatheo, 351 p.
- Le Bris C., 2011. *Gestion des dépendances routières et bordures de champs à l'échelle de la région Centre*, Association Hommes et Territoires, Orléans, 79 p.
- Le Féon V., Burel F., Chifflet R., Henry M., Ricroch A., Vaissière B.E., Baudry J., 2013, Solitary bee abundance and species richness in dynamic agricultural landscapes, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 166, 94-101.

- Le Féon V., Schermann-Legionnet A., Delettre Y., Aviron S., Billeter R., Bugter R., Hendrickx F., Burel F. 2010. Intensification of agriculture, landscape composition and wild bee communities: A large scale study in four European countries. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 137, 143-150.
- Le Viol I., Mocq J., Julliard R., Kerbiriou C., 2009. The contribution of motorway stormwater retention ponds to the biodiversity of aquatic macroinvertebrates. *Biological Conservation* 142, 3163-3171.
- Lee J., 2016. What's all the buzz about? Pollinator decline, *Proceedings of the 11th international symposium Environmental Concerns in Rights-of-Way Management*, Jean Doucet (editor), 371-377.
- Lentini P.E., Martin T.G., Gibbons P., Fischer J., Cunningham S.A., 2012. Supporting wild pollinators in a temperate agricultural landscape: Maintaining mosaics of natural features and production. *Biological Conservation* 149, 84-92.
- Leonhardt S.D., Gallai N., Garibaldi L.A., Kuhlmann M., Klein A.M., 2013. Economic gain, stability of pollination and bee diversity decrease from southern to northern Europe. *Basic and Applied Ecology* 14, 461-471.
- Livory A., Lair X., Sagot P., Baldock D., 2013. Inventaire analytique des andrènes (*Andrena*) de la Manche (*Hymenoptera Andrenidae*). *L'Argiope* 80-81, 36-119.
- MAAPRAT, 2012, Guide des bonnes pratiques phytosanitaires – Entretien des espaces verts et voiries – Ecophyto 2018. 37 p.
- Magrach A., González-Varo J.P., Boiffier M., Vilà M., Bartomeus I., 2017. Honeybee spillover reshuffles pollinator diets and affects plant reproductive success, *Nature Ecology & Evolution*. doi : 10.1038/s41559-017-0249-9.
- Mahé G., 2015. Les bourdons du massif armoricain – Atlas de la Loire-Atlantique, *Penn Ar Bed* 221, Brest, 84 p.
- Mallard F., 2014. Développement d'une méthode d'évaluation quantitative des effets des infrastructures de transport terrestre sur les milieux naturels, *Thèse de l'Ecole Centrale de Nantes*, 457 p.
- Mandelik Y., Winfree R., Neeson T., Kremen C., 2012. Complementary habitat use by wild bees in agro-natural landscapes. *Ecological Applications* 22, 1535-1546.
- Martinière D., 2015. Pollinisateurs sauvages et dépendances vertes des infrastructures linéaires de transport, Rapport de stage de Master 2 Expertise Faune & Flore, Inventaires et indicateurs de biodiversité, 30 p. + annexes.
- Masters J., 1975. Occurrence of *Speyeria idalia* (Nymphalidae) on remnant prairie in northwest Wisconsin. *Journal of the Lepidopterists' Society* 29, 76-77.
- MEDD, 2006. Mobilité, transport et environnement – Rapport de la Commission des comptes et de l'économie de l'environnement. La documentation française, 405 p.
- MEDDE, 2013a. Gestion raisonnées des dépendances vertes, Fiche thématique, 7 p.
- MEDDE, 2013b. Soutien à la compétitivité économique, lutte contre la fracture territoriale, transition écologique et énergétique, 9 p.
- Millán de la Peña N., Butet A., Delettre Y., Morant P., Burel F., 2003. Landscape context and carabid beetles (Coleoptera : Carabidae) communities of hedgerows in western France, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 94, 59-72.
- Morandin L.A., Winston M.L., Abbott V.A., Franklin M.T., 2007. Can pastureland increase wild bee abundance in agriculturally intense areas? *Basic and Applied Ecology* 8, 117-124.
- Munguira M.L., Thomas J.A., 1992. Use of road verges by butterfly and burnet populations, and the effect of roads on adult dispersal and mortality. *Journal of Applied Ecology* 29, 316-329.
- Newbold T., Hudson L.N., Hill S.L., Contu S., Lysenko I. et al., 2015. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity, *Nature* 250(7545), 45-50. doi: 10.1038/nature14324.
- Nieto A., Robert, 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., Tomozii B.,

- Window J., Michez, D. 2014. European Red List of bees. Luxembourg: Publication Office of the European Union.
- Öckinger E., Smith H.G., 2007. Semi-natural grasslands as population sources for pollinating insects in agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology* 44, 50-59.
- Ohashi K., Thomson J.D., 2009. Trapline foraging by pollinators: its ontogeny, economics and possible consequences for plants, *Annals of Botany* 103, 1365-1378.
- Ollerton J., Winfree R., Tarrant S., 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos* 120, 321-326.
- Pasquet R.S., Peltier A., Hufford M.B., Oudin E., Saulnier J., Paul L., Knudsen J.T., Herren H.R., Gepts P., 2008. Long-distance pollen flow assessment through evaluation of pollinator foraging range suggests transgene escape distances, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 105, 13456-13431.
- Patiny S., Michez D., Rasmont P., 2009. Survey of wild bees in West-Palaeartic region. *Apidologie* 40, 313-331.
- Pianfetti L., François D., 2012. Les applications des techniques de génie végétal et écologique dans les transports terrestres, *Actes du colloque Génie végétal Génie écologique*, 13 décembre 2012, Paris : Association française pour le génie biologique (AGÉBio) et Union nationale des entreprises du paysage (UNEP).
- Pineau C., Berthier N., 2013. Les techniques de gestion alternative aux phytosanitaires sur le réseau routier national non concédé, *Annales de l'AFPP, 3^{ème} Conférence sur l'entretien des zones non agricoles – espaces verts des villes, forêts, jardins amateurs, golfs, terrains de sport, zones aquatiques, voies de communication, sites industriels*, Toulouse, 15-17 oct. 2013, pp. 549-577.
- Potts S.G., Biesmeijer J.C., Kremen C., Neumann P., Schweiger O., Kunin W.E., 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology and Evolution* 25, 345-353.
- Potts S.G., Imperatriz-Fonseca V., Ngo H.T., Aizen M.A., Biesmeijer J.C., Breeze T.D., Dicks L.V., Garibaldi L.A., Hill R., Settele J., Vanbergen A.J., 2016. Safeguarding pollinators and their values to human well-being, *Nature* 000, 1-10.
- Pujols J.P., 2010. Solutions alternatives aux traitements phytosanitaires sur périmètres protégés, SNCF-RFF (Ed.), 80 p.
- Pyle R.M., 1976. Conservation of Lepidoptera in the United States, *Biological Conservation* 9, 55-75.
- Rasmont P., Franzen M., Lecocq T., Harpke A., Castro L., Cederberg B., Dvořák L., Fitzpatrick U., Gonseth Y., Haubruge E., Mahé G., Manino A., Neumayer J., Ødegaard F., Paukkunen J., Pawlikowski T., Reemer M., Roberts S.P.M., Straka J., Schweiger O. 2015. Climatic Risk Atlas of European Bumblebees. Pensoft publishing: Sofia.
- Rasmont P., Genoud D., Gadoum S., Aubert M., Dufrêne E., Le Goff G., Mahé G., Michez D., Pauly P., 2017. Hymenoptera Apoidea Gallica : liste des abeilles sauvages de Belgique, France, Luxembourg et Suisse. Atlas Hymenoptera, Université de Mons, Mons, Belgium.
- Réseau Biodiversité pour les Abeilles (RBA), Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN), Office pour les Insectes et leur Environnement (OPIE), UMR Bioemco, 2012. Aménagement d'accotements routiers du réseau national en faveur des insectes pollinisateurs, Rapport d'étape 2011, 84 p.
- 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., Potts S.G., Viana B.F., 2008. Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? *Ecology Letters* 11, 499-515.
- Ries L., Debinski D.M., Wieland M.L., 2001. Conservation value of roadside prairie restoration to butterfly communities. *Conservation Biology* 15, 401-411.
- Russel K.N., Ikerd H., Droege S., 2005. The potential conservation value of unmowed powerline strips for native bees, *Biological Conservation* 124, 133-148.
- Saarinen K., Valtonen A., Jantunen J., Saarnio S., 2005. Butterflies and diurnal moths along road verges: Does road type affect diversity and abundance? *Biological Conservation* 123, 403-412.

- Scheper J., Holzschuh A., Kuussaari M., Potts S.G., Rundlöf M., Smith H.G., Kleijn D., 2013. Environmental factors driving the effectiveness of European agri-environmental measures in mitigating pollinator loss – a meta-analysis, *Ecology Letters* 16(7), 912-920.
- Scohier A., Ouin A., Farruggia A., Dumont B., 2013. Is there a benefit of excluding sheep from pastures at flowering peak on flower-visiting insect diversity? *Journal of Insect Conservation* 17, 287-294.
- SETRA, 1994. La végétalisation, outil d'aménagement. Guide technique, 111 p.
- SETRA, 2004. Entretien des dépendances vertes. Guide pratique, Réf 0406, 131 p.
- SETRA, 2007. Biodiversité et infrastructures de transports terrestres. Note d'information n° 79, Série Economie-Environnement-Conception, 14 p.
- SETRA, 2009. Fauchez mieux, le fauchage raisonné. Note d'information Chaussées-Dépendances n° 122, 22 p.
- SETRA, 2011. Infrastructures de transport, biodiversité et territoire – L'apport de l'écologie du paysage. Note d'information n° 95, Série Economie-Environnement-Conception, 28 p.
- SETRA, 2013, Entretien des dépendances - Eléments de réflexion sur les stratégies de choix des outils de fauchage et de débroussaillage, Guide méthodologique, Réf 1246, 35 p.
- Sheffield C.S., Pindar A., Packer L., Kevan P.G., 2013. The potential of cleptoparasitic bees as indicator taxa for assessing bee communities. *Apidologie* 44, 501-510.
- Shuler R.E., Roulston T.H., Farris G.E., 2005. Farming practices influence wild pollinator populations on squash and pumpkin. *Journal of Economical Entomology* 98, 790-795.
- Skórka P., Lenda M., Moroń D., Kalarus K., Tryjanowski P., 2013. Factors affecting road mortality and the suitability of road verges for butterflies. *Biological Conservation* 159, 148-157.
- Sjödin N.E., Bengtsson J., Ekblom B., 2008. The influence of grazing intensity and landscape composition on the diversity and abundance of flower-visiting insects. *Journal of Applied Ecology* 45, 763-772.
- Steffan-Dewenter I., Münzenberg U., Bürger C., Thies C., Tschardt T., 2002. Scale-dependent effects of landscape context on three pollinator guilds, *Ecology* 83, 1421-1432.
- Steffan-Dewenter I., Potts S.G., Packer L., 2005. Pollinator diversity and crop pollination services are at risk. *Trends in Ecology and Evolution* 20, 651-652.
- Straka J., Černá K., Macháčková L., Zemenová M., Keil P., 2014. Life span in the wild : the role of activity and climate in natural populations of bees, *Functional Ecology* 28, 1235-1244.
- Valtonen A., Saarinen K., Jantunen J., 2006. Effect of different mowing regimes on butterflies and diurnal moths on road verges, *Animal Biodiversity and Conservation* 29: 133-148.
- Villemey A., Jeusset A., Vargac M., Bertheau Y., Coulon A., Touroult J., Vanpeene S., Castagneyrol B., Jactel H., Witte I., Deniaud N., Flamerie de Lachapelle F., Jaslier E., Roy V., Guinard E., Le Mitouard E., Ruel V., Sordello R., 2018. Can linear transportation infrastructure verges constitute a habitat and/or a corridor for insects in a temperate landscape? A systematic review, *Environment Evidence* 7:5, 33 p.
- Wagner D.L., Ascher J.S., Bricker N.K., 2014. A transmission right-of-way as habitat for wild bees (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila) in Connecticut. *Annals of the Entomologist Society of America* 107, 1110-1119.
- Westphal C., Steffan-Dewenter I., Tschardt T., 2003. Mass flowering crops enhance pollinator densities at a landscape scale. *Ecology Letters* 6, 961-965.
- Westphal C., Bommarco R., Carré G., Lamborn E., Morison N., Petanidou T., Potts S.G., Roberts S.P.M., Szentgyörgyi H., Tscheulin T., Vaissière B.E., Woyciechowski M., Biesmeijer J.C., Kunin W.E., Settele J., Steffan-Dewenter I., 2008. Measuring bee diversity in different European habitats and biogeographical regions. *Ecological Monographs* 78, 653–671.
- Westrich P., 1996. Habitat requirements of central European bees and the problems of partial habitats. The Conservation of Bees (ed. A. Matheson, S. L. Buchmann, C. O'Toole, P. Westrich, & I. H. Williams), pp. 1-16. Academic Press, London, UK.
- Williams N.M., Minckley R.L., Silveira F.A., 2001. Variation in native bee faunas and its implications for detecting community changes, *Conservation Ecology* 5 (1): 7. (<http://www.consecol.org/vol5/iss1/art7/>)

- Willis K.J., Jeffers E.S., Tovar C., Long P.R., Caithness N., Smit M.G.D., Hagemann R., Collin-Hansen C., Weissenberger J., 2012. Determining the ecological value of landscapes beyond protected areas. *Biological Conservation* 147, 3-12.
- Winfree, R., Aguilar, R., Vázquez, D.P., Lebuhn, G. & Aizen, M.A., 2009. A meta-analysis of bees' responses to anthropogenic disturbance. *Ecology* 90, 2068-2076.
- Winfree R., Aguilar R., Vázquez D.P., Lebuhn G., Aizen M.A., 2009. A meta-analysis of bees' responses to anthropogenic disturbance. *Ecology* 90, 2068–2076.
- Winfree R., Bartomeus I., Cariveau D.P., 2011. Native pollinators in anthropogenic habitats, *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 42, 1-22.
- Winfree 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* 359, 791-793.
- Wojcik V.A., Buchmann S., 2012. Pollinator conservation and management on electrical transmission and roadside rights-of-way: A review. *Journal of Pollination Ecology* 7(3), 16-26.
- Wojcik V., Beesley P, Brenton B., Brown E., Hallmark S., 2016. Innovations in right-of-way management that support pollinators, ecosystem services, and safe energy transmission, *Proceedings of the 11th international symposium Environmental Concerns in Rights-of-Way Management*, Jean Doucet (editor), 249-258.
- Zielin S.B., Littlejohn J., de Rivera C.E., Smith W.P., Jacobson S.L., 2016. Ecological investigations to select mitigation options to reduce vehicle-caused mortality of a threatened butterfly, *Journal of Insect Conservation* 20, 845-854.
- Zurbuchen A., Bachofen C., Müller A., Hein S., Dorn S., 2010. Are landscape structures insurmountable barriers for foraging bees? A mark-recapture study with two solitary pollen specialist species. *Apidologie* 41, 497–508.