

Quels critères fonctionnels pour l'évaluation de l'état de conservation des habitats prairiaux ?

Les liens entre communautés végétales et insectes pollinisateurs dans des habitats prairiaux de la Chaîne des Puys

* * *

MÉMOIRE

Dominante d'approfondissement : Gestion des Milieux Naturels

Pour l'obtention du :

DIPLÔME D'INGÉNIEUR AGROPARISTECH

* * *



Benjamin ALLARD

Soutenu le 07/09/2020

Enseignant référent : Bruno FERRY

Maître de stage : Anne BONIS

Stage effectué du 09/03/2020 au 25/09/2020, à l'UMR 6042 GEOLAB (UCA-CNRS), Clermont-Ferrand

Illustrations de couverture (de gauche à droite et de haut en bas) : Carton entomologique des Diptères ; Vue sur les volcans depuis le Petit Puy de Dôme ; Capture des pollinisateurs en prairie pâturée (à Royat) ; Mélitée noirâtre (Melitea diamina) ; Véroniques petit-chêne (Veronica chamaedrys) ; Dispositif des coupelles colorées au Puy des Goules. Sources des photos : Benjamin Allard

RESUME

Le projet SurPas a pour objectif d'évaluer plusieurs aspects fonctionnels des habitats naturels et d'en examiner les liens avec la structure ou la composition spécifique de l'écosystème. Le travail réalisé lors de ce stage vise à contribuer aux objectifs du projet SurPas en permettant la compréhension et une première sélection de critères d'évaluation de l'état de conservation des habitats prairiaux et pelousaires.

Pour cette étude, 3 unités de végétation fois 3 réplicas ont été utilisés. Une unité de végétation correspond à une unité homogène d'un point de vue floristique, telle que l'association phytosociologique. Ces 9 placettes ont été sélectionnées selon des critères floristiques, d'attractivité potentielle des pollinisateurs, et de composition paysagère sur un rayon de 1 km. Sur chacune de ces placettes a été réalisée une collecte de données sur des unités florales (comptage), des traits floraux (hauteur et aire florale), des pollinisateurs en interactions avec la flore (captures actives au filet à papillon), et des insectes attirés par les couleurs jaune, bleue ou blanche (captures passives à l'aide de coupelles colorées).

Enfin, l'analyse de critères fonctionnels disponibles au regard des interactions avec les pollinisateurs, ou selon le type de gestion (fauche ou pâture), a permis d'identifier de potentiels bons indicateurs pour l'évaluation de l'état de conservation. Ces critères sont : la hauteur de la végétation et l'épaisseur de la litière, renseignant sur la présence potentielle d'habitats d'espèces, et le type de gestion ; la stratégie de pollinisation de la flore, dont la diversité permet de caractériser les ressources florales potentielles ; le type de soudure de la corolle, la couleur des fleurs et la famille des plantes présentes, permettant d'évaluer l'attractivité de l'habitat naturel pour les pollinisateurs. Certains aspects de performance scientifique, de pertinence politique et sur l'acceptabilité du public restent à évaluer lorsque l'ensemble des données attendues seront disponibles.

Mots clés : *Chaîne des Puys ; Critères fonctionnels ; Etat de conservation ; Evaluation ; Habitat naturel ; Interactions flore-pollinisateurs ; Pelouses ; Pollinisation ; Prairies ; Traits floraux.*

ABSTRACT

The SurPas project aims to evaluate several functional aspects of natural habitats and to study their links with the structure and the species composition of the ecosystem. This work contributes to this project by understanding and selecting evaluation criteria for conservation of pastures and grasslands habitats.

For the study, 3 replicates in 3 vegetation units were used. A vegetation unit consists of a homogenous floristic area, like a phytosociological association. These 9 plots were selected for the surveys considering floristic criteria, potential attractivity for pollinators and landscape composition within a 1 km radius. Through the surveys, data about floral units (number), floristic traits (height and floral area), pollinators interacting with flora (active capture with butterfly net) and insects attracted by yellow, blue or white colours (passive captures with coloured cups) have been gathered.

The analysis of available functional criteria regarding interactions with pollinators and the type of management (mowing or grazing) allows to identify potential good indicators for conservation state evaluation. These criteria are : vegetation height and litter thickness which provide data about potential species habitats and type of management ; flora pollination strategy which diversity allows to characterise potential floral resources ; type of corolla weld , flowers colours and plant family that allow to assess natural habitats attractiveness for pollinators. Scientific performance, political relevance and public acceptability remains to be assessed when all data will be available.

Keywords : *Chaîne des Puys ; Conservation status ; Evaluation ; Floral traits ; Functional criteria ; Grasslands ; Lawns ; Natural habitat ; Plant-pollinator interactions ; Pollination.*

Engagement de non-plagiat

① Principes :

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris à autrui.
- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée
- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.
- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux : Ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive. Recopier quasi intégralement un texte ou une partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

② Consignes :

- Il est rappelé que la rédaction fait partie du travail de création d'un rapport ou d'un mémoire, en conséquence lorsque l'auteur s'appuie sur un document existant, il ne doit pas recopier les parties l'intéressant mais il doit les synthétiser, les rédiger à sa façon dans son propre texte.
- Vous devez systématiquement et correctement citer les sources des textes, parties de textes, images et autres informations reprises sur d'autres documents, trouvés sur quelque support que ce soit, papier ou numérique en particulier sur internet.
- Vous êtes autorisés à reprendre d'un autre document de très courts passages *in extenso*, mais à la stricte condition de les faire figurer entièrement entre guillemets et bien sûr d'en citer la source.

③ Sanction :

- En cas de manquement à ces consignes, la direction des études et de la pédagogie ou le correcteur se réservent le droit d'exiger la réécriture du document sans préjuger d'éventuelles sanctions disciplinaires.

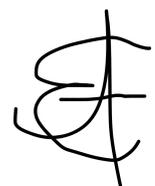
④ Engagement :

Je soussigné(e) Benjamin ALLARD

Reconnais avoir lu et m'engage à respecter l'engagement de non-plagiat

A Clermont-Ferrand le 25/09/2020

Signature :



REMERCIEMENTS

Un grand merci à toutes les personnes qui ont contribué à faire de ce stage une expérience captivante et enrichissante ! J'ai pris plaisir à découvrir le site de la Chaîne des Puys et les problématiques de recherches sur l'état de conservation et les pollinisateurs en prenant part au projet SurPas et Polliflor.

Je remercie Johannes Steiger, directeur du laboratoire GEOLAB, et Frédéric Faure, délégué régional Auvergne-Rhône-Alpes du CNRS, pour m'avoir permis de réaliser ce stage.

Je tiens également à remercier tout particulièrement Anne Bonis, ma maîtresse de stage et coordinatrice du projet SurPas, pour son accueil, son encadrement, sa confiance et ses conseils avisés tout au long de ce stage qui m'ont permis de m'orienter et de mener mes réflexions à bien dans une démarche de recherche scientifique.

Merci également à Bruno Ferry, pour m'avoir suivi et aidé pendant ce stage, notamment lors de cette fin de stage dont les échéances ont été réalisées plus tôt que prévu.

Aussi, je remercie Alice Michelot-Antalik, coordinatrice du projet Polliflor, pour son encadrement via les échanges constructifs réalisés lors de la construction des protocoles et la sélection des placettes pour la Chaîne des Puys, et pour avoir affectueusement accepté de faire partie de mon jury de soutenance de ce mémoire.

Merci à Maxime Burst et Julie Crabot pour leur aide sur R, la botanique ou la bibliographie, et pour la bonne humeur dont ils ont fait preuve chaque jour.

Je tiens à remercier également Paul-Elouen qui fut un super binôme de travail tant sur le terrain que pour les manip' au laboratoire, et avec qui les discussions et les découvertes naturalistes étaient toujours intéressantes !

Merci à tous les doctorants qui m'ont aussi aidé pour la construction de mon dossier de candidature pour un contrat doctoral à l'école de Clermont-Ferrand.

Merci à ma famille, à mes amis, notamment Matthieu et Camille (et Elsa !), et à Sonia, pour leur soutien et pour avoir bien voulu participer aux multiples relectures de ce rapport dans ce si court laps de temps.



Et à tous les GMN pour la superbe année que l'on a passé tous ensemble !

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : SCHEMATISATION DE L'HABITAT NATUREL, DECRIT PAR SES DIMENSIONS DE COMPOSITION, DE STRUCTURE ET DE FONCTION, ET LIEN ENTRE LES FONCTIONS ECOSYSTEMIQUES ET LES SERVICES ECOSYSTEMIQUES.....	11
FIGURE 2 : LOCALISATION DES SITES NATURA 2000 SUIVIS PAR LES 9 EQUIPES DE RECHERCHES DU CONSOTIUM SURPAS, ET SITES PARTICIPANTS AU PROJET POLLIFLOR	18
FIGURE 3 : SITE NATURA 2000 DE LA CHAINE DES PUY.	20
FIGURE 4 : DIAGRAMMES OMBROTHERMIQUES DES VILLES D'ORCIVAL (A L'EST DE LA CHAINE DES PUY) ET DE CLERMONT-FERRAND (A L'OUEST DE LA CHAINE DES PUY), SUR LE DEPARTEMENT DU PUY-DE-DOME.	20
FIGURE 5 : CARACTERISATION DES UNITES DE VEGETATION SURPAS A L'AIDE DE TROIS AFC SUCCESSIVES EFFECTUEES SUR LES DONNEES FLORISTIQUES Q16 EN PRESENCE/ABSENCE. A) AFC SUR L'ENSEMBLE DU JEU DE DONNEE, B) AFC EXCLUANT LES RELEVES DE L'UV PUY_J ET C) AFC EXCLUANT LES RELEVES DES UV PUY_J, ET DES PLACETTES PUY_D3, PUY_M2 ET PUY_M3 ET PROJECTION DES VARIABLES SUPPLEMENTAIRES ASSOCIEE A CETTE AFC (LOCALISATION, BIOMASSE, HABITAT D'ESPECES ET PROPRIETES DU SOL). (© M. BURST)	22
FIGURE 6 : SCHEMA D'EMBOITEMENT DES ELEMENTS D'ECHANTILLONNAGE DU PROJET SURPAS (© SURPAS).....	23
FIGURE 7 : LOCALISATION DES 42 PLACETTES DU PROJET SURPAS SUR LA CHAINE DES PUY (© M. BURST)	25
FIGURE 8 : SCHEMATISATION D'UNE PLACETTE POLLIFLOR (POINTILLE VIOLET), CORRESPONDANT A L'EXTENSION DE LA PLACETTE SURPAS (EN BLEU), ET POSITION DES PIEGES POUR LES CAPTURES PASSIVES DES POLLINISATEURS.....	28
FIGURE 9 : REALISATION DE LA CAPTURE AU FILET D'UN INSECTE EN TRAIN DE BUTINER LORS DU TEMPS D'ARRET DU CHRONOMETRE (PLACETTE A3).....	29
FIGURE 10 : SCHEMATISATION DU TRANSECT DE CAPTURE ACTIVE DES POLLINISATEURS (EN ROUGE), CORRESPONDANT AU PARCOURS DE 5 COULOIRS DECOUPES SUR LA LONGUEUR DE LA PLACETTE POLLIFLOR	29
FIGURE 11 : EXEMPLES D'UNITES FLORALES.....	30
FIGURE 12 : FORME DES UNITES FLORALES POUR LA MESURE DE L'AIRE FLORALE.....	30
FIGURE 13 : DISSECTION D'UNE FLEUR POUR METTRE EN EVIDENCE LES NECTAIRES ET LA ZONE D'EVASEMENT POUR LA MESURE DE PROFONDEUR DU TUBE A NECTAR	31
FIGURE 14 : ILLUSTRATION DE LA POSITION DU TUBE A NECTAR SUR UNE FLEUR (ICI KNAUTIA ARVERNENSIS).....	31
FIGURE 15 : DISPOSITIF DE COUPELLES COLOREES SUR LA PLACETTE C3. LA COUPELLE BLEUE, AU CENTRE, EST ORIENTEE VERS LE SUD.....	31
FIGURE 16 : RICHESSE SPECIFIQUE DES UNITES DE VEGETATION ET LEUR NOMBRE DE FAMILLES ET DE GENRES.....	34
FIGURE 17 : NOMBRE D'ESPECES VEGETALES POTENTIELLEMENT FLEURIES PAR MOIS ET PAR UNITE DE VEGETATION.....	34
FIGURE 18 : CLASSIFICATION ASCENDANTE HIERARCHIQUE (CAH) A PARTIR D'UNE ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCE (AFC) SUR LES DONNEES FLORISTIQUES PAR PLACETTES (DONNEES SURPAS). MISE EN EVIDENCE DE 3 GROUPES PRINCIPAUX : CLUSTER 1 EN NOIR, CLUSTER 4 EN BLEU ET CLUSTER 6 EN MAGENTA.	35
FIGURE 19 : CLASSIFICATION ASCENDANTE HIERARCHIQUE (CAH) A PARTIR D'UNE ANALYSE EN CORRESPONDANCES PRINCIPALES (ACP) SUR LES DONNEES PAYSAGERES ETABLIES SUR UN RAYON DE 1 KM AUTOUR DES PLACETTES (DONNEES BD TOPO ET RPG DE L'IGN).....	35
FIGURE 20 : POSITION GEOGRAPHIQUE DES PLACETTES PRESELECTIONNEES ET VISUALISATION DE LEUR RAYON DE 1 KM	36
FIGURE 21 : LOCALISATION DES PLACETTES SELECTIONNEES POUR LE PROJET POLLIFLOR DANS LA CHAINE DES PUY EN 2020	37
FIGURE 22 : REPARTITION DES UNITES DE VEGETATIONS ET DE LEURS REPLICAS SELON UN GRADIENT ALTITUDINAL	37
FIGURE 23 : RECOUVREMENTS DES UNITES FLORALES SUR LES QUADRATS SELON LES PLACETTES ET LES UNITES DE VEGETATION POLLIFLOR, AVEC DISTINCTION DE LA DEUXIEME SESSION DE TERRAIN REALISEE SUR UNE UNITE DE VEGETATION PATUREE.	38
FIGURE 24 : DIAGRAMMES A MOUSTACHES DU NOMBRE TOTAL D'UNITE FLORALES COMPTEES (A GAUCHE) ET AIRES FLORALES MOYENNES (A DROITE) PAR PLACETTES SELON LES TYPES DE GESTION OBSERVEES "FAUCHE" OU "PATURE"	39
FIGURE 25 : NOMBRE D'INDIVIDUS TOTAL CAPTURES ET PROBABILITE DE PRESENCE DES ORDRES D'INSECTES PAR PLACETTES ET PAR SESSION DE TERRAIN	40
FIGURE 26 : PHENGARIS ARION, L'AZURE DU SERPOLET (WIKIPEDIA COMMONS)	40
FIGURE 27 : RELATIONS ENTRE LE NOMBRE D'INDIVIDUS POLLINISATEURS CAPTURES EN INTERACTION AVEC LA FLORE DE LA PLACETTE ET LE NOMBRE D'UNITES FLORALES, LE NOMBRE DE FLEURS TOTALES, ET LE NOMBRE MOYEN DE FLEURS PAR UNITE FLORALE, PAR PLACETTE ..	41
FIGURE 28 : RESEAU D'INTERACTION ENTRE LA FLORE ET LES POLLINISATEURS (A GAUCHE) ET SA MATRICE DE CORRELATION (A DROITE).	43
FIGURE 29 : CAH SUR LE JEU DE DONNEE D'INTERACTIONS ENTRE LES ORDRES D'INSECTES ET LA FLORE A PARTIR D'UNE AFC.....	44
FIGURE 30 : AFC DES INTERACTIONS ENTRE LA FLORE ET LES POLLINISATEURS ET COLORATION DES ESPECES VEGETALES EN FONCTION DES GROUPES REALISEES A PARTIR D'UNE CAH	44
FIGURE 31 : COLORATION DES INDIVIDUS DE L'AFC (ESPECES VEGETALES) SELON LEUR STRATEGIE DE POLLINISATION	47

FIGURE 32 : PROPORTION DES ESPECES VEGETALES FLEURIES PRESENTES REGROUPEES PAR LA STRATEGIE DE POLLINISATION QUI PRESENTENT AU MOINS UNE INTERACTION AVEC UN POLLINISATEUR.	47
FIGURE 33 : COLORATION DES INDIVIDUS DE L'AFC (ESPECES VEGETALES) SELON LE TYPE DE SOUDURE DE LEUR COROLLE.....	48
FIGURE 34 : SYRPHÉ (DIPTERA, A GAUCHE) ET ABEILLE MELLIFERE (HYMÉNOPTERA, A DROITE) BUTINANT UNE KNAUTIE D'Auvergne (KNAUTIA ARVERNENSIS)	48
FIGURE 35 : COLORATION DES INDIVIDUS DE L'AFC (ESPECES VEGETALES) SELON LA FORME DE LA FLEUR, A GAUCHE : FORME DU LIMBE ; A DROITE : FORME DU BORD DU PETALE.....	49
FIGURE 36 : COLORATION DES INDIVIDUS DE L'AFC (ESPECES VEGETALES) SELON LEUR SEXUALITE	49
FIGURE 37 : COLORATION DES INDIVIDUS DE L'AFC (ESPECES VEGETALES) SELON LEUR COULEUR DE FLEUR. A GAUCHE : PRINCIPALE ; A DROITE : SECONDAIRE.....	50
FIGURE 38 : COLORATION DES INDIVIDUS DE L'AFC (ESPECES VEGETALES) SELON LA PRESENCE OU L'ABSENCE D'EPERON	51
FIGURE 39 : PROJECTION DES FAMILLES DES ESPECES VEGETALES SUR LE GRAPHIQUE DES INDIVIDUS DE L'AFC DES INTERACTIONS FLORE-POLLINISATEUR	52
FIGURE 40 : REponses SIGNIFICATIVES AUX TESTS DE L'ANOVA DE TYPE II POUR LES COLEOPTERES ET LES LEPIDOPTERES	53
FIGURE 41 : HAUTEUR STANDARD DE LA VEGETATION A L'OPTIMUM DE FLORAISON (A GAUCHE) ET EPAISSEUR DE LA LITIERE (A DROITE) MESURES SUR LES QUADRATS DE RELEVÉ (MAI-JUIN) SELON LE TYPE DE GESTION OBSERVEE SUR LE TERRAIN (FAUCHE OU PATURE). LES P-VALUES SONT CALCULEES A PARTIR D'UN TEST T DE WELCH.....	54

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : COMPOSANTS LIES AUX TROIS DIMENSIONS D'UN ECOSYSTEME SELON DIFFERENTS NIVEAUX D'ORGANISATION DE LA BIODIVERSITE, ET DIFFERENTS EXEMPLES USUELS D'ECHELLES SPATIALES CORRESPONDANTES.....	12
TABLEAU 2 : LISTE DES CONDITIONS PERMETTANT D'EVALUER LA QUALITE D'UN INDICATEUR COMME ETANT UN "BON INDICATEUR"	14
TABLEAU 3 : UNITES DE VEGETATION SURPAS ET CORRESPONDANCES AVEC LES CAHIERS D'HABITATS (HABITATS GENERIQUES ET ELEMENTAIRES) ET LES SYNTAXONS PHYTOSOCIOLOGIQUES (ASSOCIATIONS ET SOUS-ASSOCIATIONS VEGETALES)	21
TABLEAU 4 : SYSTEME DE NOTATION DES IDENTIFIANTS SURPAS	24
TABLEAU 5 : RECAPITULATIF DES VARIABLES RENSEIGNEES AU SEIN DE LA BASE DE DONNEES DE TRAITS FLORAUX ET CLASSIFICATION SELON DES GRANDS TYPES DE VARIABLES.....	27
TABLEAU 6 : TEST DE LA LIAISON ENTRE LES VARIABLES DESCRIPTIVE DES TRAITS FLORAUX ET LES GROUPES OBTENUS A PARTIR DE LA CAH EFFECTUEE SUR LES DONNEES DE L'AFC DES INTERACTIONS FLORE-POLLINISATEURS.....	45
TABLEAU 7 : BILAN DES CRITERES POTENTIELS, IDENTIFIES LORS DES ANALYSES SUR LES CRITERES FONCTIONNELS MENEES DANS LE CADRE DE CE STAGE, POUR L'EVALUATION DE L'ETAT DE CONSERVATION DES HABITATS PRAIRIAUX ET PELOUSAIRES.....	55

GLOSSAIRE DES ACRONYMES

Lors du premier usage de l'acronyme dans le corps de texte, un astérisque * est noté pour indiquer sa présence dans ce glossaire. Ces acronymes présentent des liens actifs vers ce glossaire.

ACM : Analyse des Correspondances Multiples

ACP : Analyse en Composantes Principales

ADNe : *ADN* environnemental

AFC : Analyse Factorielle des Correspondances

ANCOVA : Analyse de la Covariance

ANOVA : Analyse Of Variance

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

CBN : Conservatoire Botanique National

CORINE : Coordination of Information on the Environment

CNPN : Conseil National de la Protection de la Nature

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

DHFF : Directive européenne Habitat-Faune-Flore

EUNIS : European Nature Information System

IGN : Institut National de l'information Géographique et forestière

INRAE : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'alimentation et l'Environnement

INRAP : Institut National de Recherches Archéologiques Préventives

MAA : Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation

MNHN : Muséum National d'Histoire Naturelle

MTES : Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire

MS : Matière Sèche

OFB : Office Français de la Biodiversité

SIG : Système d'Information Géographique

UCA : Université Clermont Auvergne

UMR : Unité Mixte de Recherche

- UMR EDYSAN : Ecologie et Dynamique des Systèmes Anthropisés, CNRS – Université de Picardie Jules Vernes
- UMR GEOLAB : Laboratoire de Géographie Physique et Environnementale, Université de Clermont Auvergne – Université de Limoges – CNRS – INRAP
- UMR LAE : Laboratoire Agronomie et Environnement, Université de Lorraine – INRAE

UMS : Unité Mixte de Service

- UMS PatriNat : Patrimoine Naturel, OFB – CNRS – MNHN

UV : Unité de Végétation

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	9
1.1	CONTEXTUALISATION	9
1.1.1	<i>Problématiques de politiques et de gestion actuelles (le réseau Natura 2000)</i>	9
1.1.2	<i>Problématiques actuelles du domaine scientifique concerné</i>	9
1.2	DEFINITION DES NOTIONS CLES POUR L'ÉVALUATION DE L'ÉTAT DE CONSERVATION D'UN HABITAT NATUREL	10
1.2.1	<i>Notion de biodiversité et d'habitat semi-naturel</i>	10
1.2.2	<i>Notion d'indicateur et critères de sélection</i>	13
1.2.3	<i>Notion d'état de conservation et son évaluation</i>	15
1.3	PRESENTATION DES PROJETS DU CONSORTIUM DE RECHERCHE	17
1.3.1	<i>Projet de recherche SurPas</i>	17
1.3.2	<i>Projet de recherche Polliflor</i>	18
1.4	CONTEXTE DU STAGE	18
1.4.1	<i>Objectifs du stage</i>	18
2	SITE D'ÉTUDE ET MODELE BIOLOGIQUE	20
2.1	SITE D'ÉTUDE DE LA CHAÎNE DES PUYs	20
2.2	GAMME ÉCHANTILLONNÉE VIA LES RELEVÉS SURPAS 2019	21
3	MATÉRIEL ET MÉTHODES UTILISÉS	23
3.1	CRITÈRES DE SÉLECTION DES UNITÉS DE VÉGÉTATION ET ACQUISITION DES DONNÉES NÉCESSAIRES	23
3.2	PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE DES PLACETTES POLLIFLOR	28
3.3	PROTOCOLES	29
3.3.1	<i>Captures actives des pollinisateurs</i>	29
3.3.2	<i>Comptage des unités florales</i>	30
3.3.3	<i>Mesures des traits floraux</i>	30
3.3.4	<i>Captures passive des pollinisateurs</i>	31
3.4	MÉTHODES STATISTIQUES, LOGICIELS ET PACKAGES UTILISÉS	32
4	RESULTATS	34
4.1	SÉLECTION DES PLACETTES POLLIFLOR	34
4.2	CARACTÉRISATION DES UNITÉS DE VÉGÉTATION PAR DES CRITÈRES FONCTIONNELS AGRONOMIQUES ET ÉCOLOGIQUES (RESSOURCES FLORALES, HABITATS D'ESPÈCES, POLLINISATEURS)	38
4.2.1	<i>Description de l'abondance des fleurs présentes dans les 3 unités de végétation sélectionnées</i>	38
4.2.2	<i>Les interactions relevées entre la flore et les insectes</i>	40
4.2.3	<i>Critères de terrain liés aux pratiques agricoles exercées</i>	53
4.2.4	<i>Synthèse des critères identifiés pour l'évaluation de l'état de conservation des habitats prairiaux</i>	55
5	DISCUSSIONS ET PERSPECTIVES	56
5.1	DISCUSSION DES RESULTATS	56
5.2	CRITÈRES ET POTENTIELS INDICATEURS DE L'ÉTAT DE CONSERVATION DES HABITATS PRAIRIAUX ET PELOUSAIRES	59
5.3	LIMITES DES TRAVAUX RÉALISÉS	60
6	CONCLUSION	60
7	BIBLIOGRAPHIE	61

1 INTRODUCTION

1.1 CONTEXTUALISATION

1.1.1 Problématiques de politiques et de gestion actuelles (le réseau Natura 2000)

En réponse à la Convention internationale de Berne du Conseil de l'Europe, en 1979, et à la seconde Conférence des Nations Unies pour l'environnement et le développement, en 1992, la Directive Habitats-Faune-Flore s'inscrit dans une logique de développement durable. Celle-ci promeut le maintien ou le rétablissement du bon état de conservation des espaces naturels à l'échelle de l'Europe, avec la volonté de rester en adéquation avec les activités humaines (COMMISSION EUROPEENNE, 1992).

Dans ce cadre, l'Union Européenne a mis en place le réseau de sites Natura 2000 pour promouvoir la conservation de la biodiversité. Ce réseau rassemble des sites naturels et semi-naturels ayant une grande valeur patrimoniale dans chacun des Etats membres. Ce réseau s'inscrit dans la durée, et tous les 6 ans, les Etats membres de l'Europe doivent produire un rapport sur chaque site Natura 2000 de leur territoire afin d'en évaluer l'état écologique (soit leur « état de santé »). En France, la mise en place du cadrage des méthodes d'évaluation et de la validation des documents d'évaluation de l'état de conservation des habitats à l'échelle nationale ont été confiées au Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN*) et en particulier à l'UMS PatriNat*.

Les objectifs d'évaluation de l'état de la conservation des habitats et de leur suivi au cours du temps requièrent un cadre méthodologique qui soit simultanément adapté à la biodiversité considérée et suffisamment homogène pour permettre de conduire des analyses comparatives entre sites, habitats et dans le temps. Ces outils n'existaient pas lors de la mise en place du réseau Natura 2000. Encore maintenant, le manque de références générales et de méthodologies standardisées et validées pouvant servir de référence à l'échelle nationale ou européenne suscite des interrogations de la part des gestionnaires de ces espaces naturels (HARDEGEN ET AL., 2001).

Pour répondre à ce besoin, l'UMS PatriNat a néanmoins formalisée des propositions-cadres (MACIEJEWSKY ET AL., 2015) pour des méthodologies d'évaluation à l'échelle des sites Natura 2000. Ce cadre pose les éléments d'intérêts fondamentaux de l'évaluation, couplant en particulier la description de la biodiversité sur le plan taxonomique, des critères de fonctionnement écologique via par exemple les processus de cycle de la matière, et les dimensions d'« habitat d'espèces » des communautés végétales pour la faune.

C'est pourquoi le programme de surveillance des milieux terrestres en cours, et piloté par l'UMS PatriNat, cherche à développer une harmonisation et un développement au niveau national de ces méthodologies et référentiels, afin de répondre aussi bien aux exigences européennes en termes d'évaluation et de comparabilité des sites Natura 2000, qu'aux besoins des gestionnaires, ou encore au développement des connaissances nécessaires à la bonne conservation et à l'évaluation des espèces et des habitats d'intérêts communautaires (HARDEGEN ET AL., 2001 ; KLESCZEWSKI, 2007 ; 2012 ; MACIEJEWSKY, 2019).

Dans ce cadre, il reste à proposer des critères d'évaluation concrets, bien adaptés aux habitats agro-pastoraux et aux enjeux qui s'y rattachent, tout en étant accessibles à des gestionnaires avec une bonne faisabilité pour en permettre la mise en œuvre régulière sur le long terme.

1.1.2 Problématiques actuelles du domaine scientifique concerné

L'évaluation de l'état de conservation d'un milieu naturel soulève plusieurs problématiques. Par exemple, la connaissance des espèces et des interactions qui les constituent est un sujet complexe qu'il faut pouvoir intégrer dans cette évaluation. Aussi, la création d'un référentiel est nécessaire afin de pouvoir définir l'état de conservation d'une entité étudiée, tout comme le choix de critères et d'indicateurs pour évaluer l'écart de l'état observé à l'état optimal en référence, ou les méthodes à appliquer et les seuils à partir desquels considérer les changements d'états de conservation (MACIEJEWSKY ET AL., 2015).

En France, la formation climacique majoritaire sur le territoire est la forêt. L'ouverture des milieux par les sociétés humaines et leur entretien via le développement de l'agriculture et de l'élevage a permis le maintien

de ces nouvelles niches écologiques d'habitats herbacés et de sous-arbrisseaux au cours du temps (BENSETTITI ET AL., 2005). Les habitats agropastoraux dépendent donc majoritairement de l'activité humaine pour leur maintien, si les contraintes climatiques et édaphiques ne réalisent pas un blocage de la dynamique de végétation naturelle en étant défavorable à l'installation d'arbres (MACIEJEWSKY, 2012).

La gestion durable et le bon état des habitats reposent aussi sur des intérêts communs entre les gestionnaires d'espaces naturels et les usagers des terres, tels que les agriculteurs (MEA, 2005). L'évaluation de l'état de conservation doit donc être adaptée au contexte et aux enjeux socio-économiques du territoire, tout en permettant les comparaisons de l'état de conservation entre régions et pays. Il semble donc pertinent que les critères d'évaluation de l'état de conservation se situent dans un cadre de multifonctionnalité, couplant autant que possible des valeurs agronomiques, écologiques, environnementales et sociétales.

La fonction de pollinisation, principalement évaluée dans le cadre de ce stage, représente un service écosystémique d'une grande valeur pour l'humanité (DE MANINCOR, 2019). En 2005, ce service rendu par les insectes pollinisateurs a été estimé à 153 milliards d'euros (GALLAI ET AL., 2009), ce qui représente une valeur de production des cultures par les abeilles sauvages, ou par les abeilles domestiques, en moyenne 3000 \$/ha (KLEIJN ET AL., 2015). Seulement, les populations de pollinisateurs déclinent fortement, avec plus de 75 % de la biomasse des insectes volants disparu en 27 ans dans les zones protégées allemandes (HALLMANN ET AL., 2017). Cette tendance est également observée en France, avec 56 % des espèces d'insectes d'intérêts communautaires évaluées dans le cadre de Natura 2000 qui présentent un état défavorable, dont le déclin est plus important pour les espèces associées aux écosystèmes de prairies, landes et fourrés (COULMIN ET AL., 2020).

La présence des insectes pollinisateurs sur un territoire est lié à la capacité du milieu à offrir une alimentation suffisante et de qualité, avec la présence à proximité de sites favorables à leur nidification (DECOURTYE ET AL., 2007). La végétation des espaces naturels ou semi-naturels constituent alors des réservoirs biologiques (DECOURTYE ET AL., 2007). Les habitats agropastoraux forment donc des écosystèmes d'intérêt majeur pour préserver les pollinisateurs, dont la richesse en abeilles est positivement affectée par la qualité de ces habitats semi-naturels (LE FEON, 2010).

La sélection de critères permettant d'évaluer et de comprendre la composante « fonction de pollinisation » des écosystèmes apporterait un appui pour l'évaluation de l'état de conservation. Afin d'approcher cette fonction, une mesure des interactions entre les plantes et les pollinisateurs du milieu peut être utilisé (GOULNIK ET AL., 2020). Il est admis que les traits floraux des espèces végétales (forme, couleur, ... définition dans la partie 3.1) permettent d'expliquer les effets d'attraction et de diversité des insectes pollinisateurs présent dans un milieu, sans pour autant savoir quel trait en particulier est responsable de quel effet ni précisément sur quels espèces de pollinisateurs en particulier (FORNOFF ET AL., 2016 ; GOULNIK, 2019). Il semble donc intéressant de caractériser ces éléments fonctionnels sur des relevés botaniques réalisés conjointement à des captures d'insectes pollinisateurs pour étudier leurs effets ou leurs caractères prédictifs sur les cortèges de pollinisateurs présents.

1.2 DEFINITION DES NOTIONS CLES POUR L'ÉVALUATION DE L'ÉTAT DE CONSERVATION D'UN HABITAT NATUREL

1.2.1 Notion de biodiversité et d'habitat semi-naturel

La biodiversité :

La biodiversité correspond à l'ensemble des variations entre, ou au sein, des organismes vivants et/ou des écosystèmes (NATIONS UNIES, 1992). Elle intègre entre autres les notions de richesse spécifique, d'abondance, d'équitabilité, mais peut également se référer de façon indirecte aux processus écologiques et aux interactions présentes entre espèces (NORSE et al., 1986 et OTA, 1987 *in* (NOSS, 1990)). Cette notion de biodiversité peut se raisonner à différents niveaux d'organisations emboîtés : au niveau de la région biogéographique, du paysage ; au niveau de l'écosystème, de la communauté ; au niveau de la population, de l'espèce ; ou au niveau de l'organisme et de son patrimoine génétique (NOSS, 1990 ; DALE, BEYER, 2001). Ainsi, à l'échelle d'une

région telle qu'un site Natura 2000, il est possible de parler de la diversité et de l'abondance des écosystèmes qui la compose, ou encore des espèces qui y seraient remarquables et de la dynamique des populations de ces espèces. La biodiversité de cette région englobe l'ensemble de ces éléments.

L'habitat (semi-)naturel : (COMMISSION EUROPEENNE, 1992)

Historiquement, l'usage du terme « habitat » est ambiguë. Dans les faits, il est nécessaire de distinguer dans ce terme les notions « d'habitat d'espèces » et « d'habitat naturel ».

« L'habitat d'espèce » est à rapprocher de la notion de « niche écologique » en désignant le milieu dans lequel se trouve une espèce (définition originelle de la niche écologique), ou le domaine de tolérance d'une espèce vis-à-vis d'un milieu (définition actuelle, de Hutchinson) (PECHEUR, 2008). La notion « d'habitat naturel » doit se rapprocher de la notion « d'écosystème », défini comme un « *complexe dynamique formé de communautés de plantes, d'animaux et de micro-organismes [la biocénose] et de leur environnement non vivant [le biotope] qui, par leur interaction, forment une unité fonctionnelle* » (NATIONS UNIES, 1992). L'Homme peut faire partie intégrante de l'écosystème (HARRINGTON ET AL., 2010).

Ainsi, selon l'article 1^{er} de la Directive européenne Habitat-Faune-Flore (DHFF*), un habitat naturel est défini comme une « *zone terrestre ou aquatique se distinguant par leurs caractéristiques géographiques, abiotiques et biotiques, qu'elle soit entièrement naturelle ou semi-naturelle* » (COMMISSION EUROPEENNE, 1992). Il s'agit donc d'un écosystème complet, ouvert, sur lequel on impose des limites spatiales précises (MACIEJEWSKY ET AL., 2015), permettant par exemple sa représentation sur une carte. L'habitat naturel peut, tout comme l'écosystème, être décrit à différentes échelles spatiales.

Trois dimensions primaires sont reconnues d'un écosystème : sa composition, sa structure et ses fonctions (FRANKLIN & al, 1981 in (NOSS, 1990)) (DALE, BEYER, 2001).

A chaque dimension correspond un ensemble de composants qui permettent d'apprécier un écosystème. Ainsi, la « composition » d'un habitat peut être approchée par l'identité des espèces ou des communautés locales (cf. la notion de « patches » dans le Tableau 1), leur diversité ou leur quantité, ou leur recouvrement sur un espace géographique donné. La « structure » d'un habitat désigne les paramètres abiotiques, et des composants géométriques du paysage, de la répartition des espèces ou de la végétation (forme, stratification, ouverture ...). Enfin, les « fonctions » de l'écosystème, ou

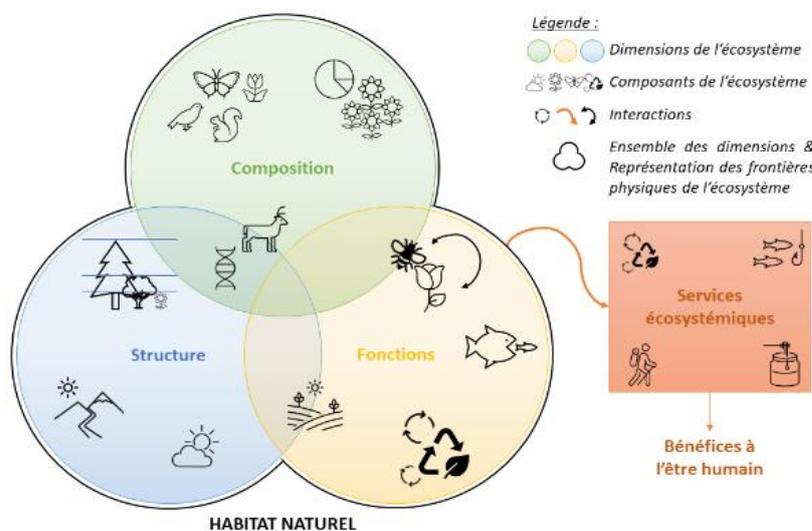


Figure 1 : Schématisation de l'habitat naturel, décrit par ses dimensions de composition, de structure et de fonction, et lien entre les fonctions écosystémiques et les services écosystémiques.

processus écosystémiques, regroupent flux de matières et d'éléments physico-chimiques qui caractérisent l'écosystème, leurs dynamiques et les interactions biotiques-abiotiques qui les pilotent. Ces processus biologiques permettent le fonctionnement et le maintien des écosystèmes. Ils peuvent inclure les processus, dit services écosystémiques, qui procurent des services utiles à l'être humain (Tableau 1 et Figure 1).

Ces trois dimensions sont interconnectées (Figure 1) (NOSS, 1990). Ainsi un même composant de l'écosystème peut décrire plusieurs dimensions à la fois, comme la génétique des espèces qui peut tout aussi bien être vue comme faisant partie de la composition de l'écosystème (avec l'usage d'ADNe*), ou au sein de la structure de l'écosystème (avec l'étude du polymorphisme et des variabilités morphologiques).

Tableau 1 : Composants liés aux trois dimensions d'un écosystème selon différents niveaux d'organisation de la biodiversité, et différents exemples usuels d'échelles spatiales correspondantes

Source : (DALE, BEYER, 2001 ; NIEMI, MCDONALD, 2004 ; NOSS, 1990)

NIVEAUX D'ORGANISATIONS Exemples usuels d'échelles spatiales	DIMENSIONS DE L'ECOSYSTEME		
	COMPOSITION	STRUCTURE	FONCTION
<p>REGION BIOGEOGRAPHIQUE, PAYSAGE</p> <p>Exemples d'échelle spatiale : Continent, Pays, Région administrative</p>	<p>Identité :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Des patchs - Des individus <p>Diversité :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Distribution - Richesse des types de patch 	<p>Hétérogénéité spatiale :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Taille du patch - Forme et distribution - Fragmentation - Connectivité 	<p>Processus géomorphologique et hydrologique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Persistance des patchs - Erosion - Hydrologie <p>Cycles :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cycle des nutriments - Cycle des flux d'énergies <p>Perturbations, évolutions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Origine anthropique - Origine naturelle
<p>ECOSYSTEME, COMMUNAUTE</p> <p>Région administrative, Site Natura 2000, Commune</p>	<p>Identité :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Des patchs - Des individus <p>Diversité :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Abondance - Fréquence - Richesse - Equitabilité des espèces - Diversité des espèces et associations - Présence et proportion des espèces cibles - Courbes de diversité et dominance - Distribution des formes de vie - Coefficients de similarité 	<p>Conditions stationnelles :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conditions du substrat et sol - Pente <p>Aspect de la végétation :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Stratification - Biomasse vivante et morte - Ouverture de la canopée - Caractéristiques des trouées <p>Éléments caractéristiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Abondance et distribution des caractéristiques physiques - Présence et distribution de l'eau et des ressources - Couvert neigeux 	<p>Productivité :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Biomasse - Productivité <p>Processus et interactions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Herbivorie - Parasitisme - Prédation - Colonisation <p>Cycles :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Décomposition - Exportation - Cycle des nutriments <p>Perturbations, évolutions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Successions - Perturbations à petite échelle
<p>POPULATION, ESPECE</p> <p>A l'échelle du territoire de vie des espèces concernées, Transect, Placette</p>	<p>Identité :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Présence / Absence des espèces - Diversité génétique <p>Diversité :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Abondance - Fréquence - Importance - Couvert - Biomasse - Densité 	<p>Population :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dispersion - Aire de répartition - Structure de la population <p>Polymorphisme :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Variabilité morphologique - Variabilité génétique 	<ul style="list-style-type: none"> - Démographie - Changement de population - Physiologie - Taux de croissance - Histoire de la vie - Phénologie - Acclimatation - Adaptation

Localement, un milieu aux conditions écologiques homogènes abritera un groupement d'espèces végétales relativement constant. Cette hypothèse est celle de l'approche phytosociologique (GEHU, 2010 ; KLESCZEWSKI ET AL., 2010), qui permet d'attribuer un nom à une végétation située sur une aire homogène donnée. Ce nom, appelé association végétale, permettra ainsi de caractériser, de définir et de classer les habitats naturels grâce à la communauté végétale qui y est présente (GEHU, 2010).

La classification des habitats mise en place par l'Union Européenne et amendée en 1992 se nomme CORINE* Biotopes Elle repose ainsi sur la notion d'association végétale comme base pour définir l'habitat naturel à l'échelle de l'Europe (DEBAIVE ET AL., 2012 ; KLESCZEWSKI, 2012). Cette classification a permis de nommer les habitats qui présentent les plus forts enjeux, dits « d'intérêt communautaire » et inscrit à l'annexe I de la directive Habitat-Faune-Flore. Ces habitats répondent ainsi à un ou plusieurs des critères suivants (COMMISSION EUROPEENNE, 1992 ; 2013) :

- Ils sont en danger de disparition dans leur aire de répartition naturelle ;
- Ils ont une aire de répartition naturelle réduite par la suite de leur régression ou en raison de leur aire intrinsèquement restreinte ;
- Ils constituent des exemples remarquables de caractéristiques propres à l'une ou à plusieurs des six régions biogéographiques suivantes : alpine, atlantique, continentale, macaronésienne, méditerranéenne et boréale.

Depuis la mise à jour des annexes en 2013 avec l'Europe des 28, la typologie de référence européenne est EUNIS* ; elle corrige certaines erreurs et précise la précédente typologie, élargit son aire de validité, et s'enrichit de nouveaux descriptifs d'habitats (COMMISSION EUROPEENNE, 2013). Ces habitats d'intérêts communautaires sont décrits, en France, dans les cahiers d'habitat Natura 2000 (BENSETTITI ET AL., 2005).

Aujourd'hui, le Prodrome des Végétations de France est le référentiel national de phytosociologie. Après avoir réalisé un premier projet de déclinaison des végétations françaises au niveau des sous-alliances (PVF1) dans les années 90, un second projet, en cours, initié en 2006 et baptisé « Prodrome des Végétations de France 2 » (PVF2), poursuit ce travail jusqu'aux associations végétales (habitat élémentaire) (BIORET, ROYER, 2009).

1.2.2 Notion d'indicateur et critères de sélection

Un indicateur est une caractéristique mesurable d'une dimension de l'écosystème (de composition, de structure ou de fonction) (NIEMI, MCDONALD, 2004). Il résume l'état et l'évolution d'un système et permet d'en suivre les variations par rapport à un objectif opérationnel (HARRINGTON ET AL., 2010 ; JAVELLE, SOUHEIL, 2011).

Les indicateurs sont utilisés pour évaluer les conditions environnementales d'un milieu, pour mesurer la réponse d'un écosystème aux pressions qui lui sont exercées, sans pour autant toujours identifier la cause de la perturbation, ou encore pour prévoir les changements futurs à partir des tendances de ces indicateurs lors d'un suivi à long terme (DALE, BEYER, 2001 ; NIEMI, MCDONALD, 2004). Il s'agit donc d'un outil pouvant avoir une vocation descriptive (diagnostiquer, mesurer un état actuel), prescriptive (extrapoler, prédire un état futur), ou normative (porter un jugement, évaluer a posteriori) (JAVELLE, SOUHEIL, 2011), permettant ainsi une aide à la décision et une identification d'actions de gestion ou de remédiation réalisables sur le site.

Dans l'idéal, un indicateur doit permettre de capturer la complexité d'un écosystème pour comprendre les aspects clés de cet environnement, tout en simplifiant l'information pour qu'elle soit facilement calculable (p. ex. statistiquement) et interprétable, et qu'il puisse être standardisé et comparable (HARRINGTON ET AL., 2010). Cependant, pour une complexité grandissante du système surveillé, le coût de collecte, d'analyse et de reportage d'un indicateur augmente (NIEMI, MCDONALD, 2004).

Un bon indicateur doit pouvoir respecter un maximum de ces critères (NOSS, 1990 ; DALE, BEYER, 2001 ; NIEMI, MCDONALD, 2004) (Tableau 2).

Tableau 2 : Liste des conditions permettant d'évaluer la qualité d'un indicateur comme étant un "bon indicateur"

Performance scientifique

- Suffisamment sensible pour prévenir d'un changement imminent ;
- Applicable sur une large zone géographique ;
- Réponse pertinente et sensible à un gradient de pression unique, connu et identifiable ;
- Répondre au stress de manière prédictible et non ambiguë ;
- Facilement mesurable, collectable, calculable, interprétable, à moindre coût ;
- Réalisable de manière répétée avec une faible variabilité de réponse ;
- Relativement indépendant de la taille de l'échantillon ;

Pertinence politique

- Etablir des tendances pour mesurer la performance des programmes et politiques environnementales ;
- Capable de fournir une évaluation continue couvrant un large spectre de gradients clés et de perturbations de l'écosystème ;
- Evaluer les problèmes existants et émergents ;
- Anticiper un changement imminent, avant que l'impact ne soit significatif et plus ou moins irréversible sur l'écosystème, pour être prévenu par des actions de gestions ;
- Capable de différencier et de diagnostiquer les tendances et les origines des pressions et stress anthropiques conduisant à des déficiences ;

Acceptabilité du public

- Faciliter la communication avec le public ;
- Facilement compréhensible avec une métrique qui l'est également.

La performance scientifique correspond à l'attente d'une bonne fiabilité et d'une bonne réponse de l'indicateur à des variations de la composante observée, idéalement dans une gamme étendue de milieux. Elle intègre également des besoins protocolaires liés à la collecte des informations nécessaires à la réalisation de l'indicateur.

La pertinence politique relève quant à elle des objectifs de gestion. Il faut pouvoir évaluer l'état présent et dans l'idéal pouvoir se projeter dans l'avenir à l'aide des résultats que peut mettre en évidence l'indicateur. Cette projection est possible si l'indicateur est sensible à un précurseur de la perturbation évaluée, permettant d'anticiper le changement et non de corriger une perturbation actuellement subie.

Enfin, le dernier point, l'acceptabilité du public, est important pour le gestionnaire et le décideur de politiques (NIEMI, MCDONALD, 2004), car l'indicateur pourra aussi être démonstratif de l'efficacité de mesures de gestions, ou de la nécessité de leur mise en place, et ce de manière intelligible. Avec une bonne acceptabilité du public vis-à-vis de l'indicateur, il pourra servir d'appui aux actions de communications réalisées.

Répondre à l'ensemble de ces critères est sans aucun doute peu probable pour un seul indicateur. Il convient donc d'identifier des ensembles d'indicateurs cohérents (NOSS, 1990), qui permettent l'obtention de bons compromis dans les qualités de l'indication globale (DALE, BEYER, 2001) via des compléments apportés par chaque indicateur. Ce cortège d'indicateurs doit ainsi être composé au moins de trois indicateurs, informant chacun sur une composante clé de la dimension 1) de composition, 2) de structure, et 3) de fonctionnement de

l'habitat étudié (DALE, BEYER, 2001 ; DEBAIVE ET AL., 2012). Ce cortège d'indicateur pourra aussi permettre élargir le spectre des pressions et des conditions environnementales étudiées.

Pour identifier les indicateurs qui satisfassent à ces critères, il convient de répondre à des questions déterminantes (NOSS, 1990 ; NIEMI, MCDONALD, 2004 ; JAVELLE, SOUHEIL, 2011) :

- A quel(s) objectif(s) ces indicateurs doivent ils répondre et à partir de quel(s) paramètre(s) décrivant l'habitat ? Bien identifier les raisons de ses choix est important.
- L'indicateur visé reflète-t-il bien l'objet que l'on souhaite étudier (p. ex. gradient de pression du pâturage) ?
- L'indicateur visé est-il scientifiquement valide (selon les connaissances théoriques et les données existantes à son sujet) ?
- Quelles sont les limites d'utilisation de l'indicateur visé (contexte d'utilisation, spatial et temporel) ?
- A-t-on la capacité (moyens humains et financiers) de collecter, mesurer et interpréter l'indicateur visé, et ce sur toute la période de l'étude ou du suivi à réaliser ?
- L'indicateur visé fait-il sens auprès des acteurs du territoire, du public, des décisionnaires ?

Du point de vue de l'analyse des données d'évaluation et de leur interprétation à une échelle nationale, intersites, il est très important que les indicateurs d'état de conservation soient collectés *in situ* par des méthodes standardisées, harmonisées, et validées scientifiquement (HARDEGEN ET AL., 2001 ; NIEMI, MCDONALD, 2004).

Le cas des espèces comme indicateur : l'utilisation des espèces comme indicateur, nommées alors espèces indicatrices, ou bioindicateurs, est traditionnelle en écologie, pour le contrôle de la pollution, en agriculture et foresterie, ou dans la gestion de l'espace naturel (NOSS, 1990). Ces indicateurs possèdent souvent un fort intérêt pour le public, notamment s'il s'agit d'espèces remarquables, et sont relativement faciles à mesurer et à faible coût. Il convient cependant de faire attention à leur utilisation, car, par exemple, s'ils permettent d'identifier des gradients de pressions, ils ne permettent pas leur compréhension. Lawton & Gaston (2001) *in* (NIEMI, MCDONALD, 2004) ont identifiés 3 cas pour lesquels ce type d'indicateur est utilisable :

- 1) Pour refléter l'état biotique ou abiotique d'un environnement ;
- 2) Pour mettre en évidence l'évolution d'impacts environnementaux ;
- 3) Pour indiquer la diversité d'autres espèces, taxons ou communautés dans une aire donnée.

Aussi, il est plus pertinent d'élaborer un indicateur se basant sur plusieurs espèces que de se focaliser sur une espèce unique ou remarquable (comme une espèce parapluie, clé-de-voûte, phare, ingénieur ...) (NIEMI, MCDONALD, 2004).

Une attention particulière doit être prêtée à l'utilisation d'indices (i.e. un calcul intégrant différentes variables écologiques) comme indicateurs. En effet, l'usage d'indices comme seuls indicateurs peuvent provoquer une perte d'informations importante, car ils ont souvent tendance à sursimplifier et à généraliser les processus biologiques. De plus, pour ne pas faire d'erreurs d'interprétation et pour garder une bonne ligne de gestion, il faut également avoir conscience de comment ces indices ont été calibrés et sur quels gradients ils s'appliquent (NIEMI, MCDONALD, 2004).

1.2.3 Notion d'état de conservation et son évaluation

L'évaluation de l'état de conservation des habitats naturels

La Directive Habitats-Faune-Flore (COMMISSION EUROPEENNE, 1992) définit dans son article 1 la conservation comme « *un ensemble de mesures requises pour maintenir ou rétablir les habitats naturels et les populations d'espèces de faune et de flore sauvages dans un état favorable [...]* ». L'état de conservation correspond alors à « *l'effet de l'ensemble des influences agissant sur un habitat naturel ainsi que sur les espèces*

typiques qu'il abrite, qui peuvent affecter à long terme sa répartition naturelle, sa structure et ses fonctions ainsi que la survie à long terme de ses espèces typiques sur le territoire visé [...] ».

L'objectif est donc d'élaborer un diagnostic scientifique du territoire étudié, en vue d'une gestion active ou passive en faveur de la biodiversité (DEBAIVE ET AL., 2012). Cependant, la Commission Européenne ne propose pas de définition opérationnelle de l'état de conservation à l'échelle du site pour la mise en place d'objectifs de gestion (MACIEJEWSKY ET AL., 2015). L'état de conservation d'un habitat est considéré comme « favorable » par la DHFF lorsque les conditions suivantes sont toutes réunies (COMMISSION EUROPEENNE, 1992) :

- « *L'aire de répartition naturelle [d'un habitat ou d'une population] ainsi que les superficies qu'il couvre au sein de cette aire sont stables ou en extension ; et*
- *la structure et les fonctions spécifiques nécessaires à son maintien à long terme existent et sont susceptibles de perdurer dans un avenir prévisible ; et*
- *l'état de conservation des espèces qui lui sont typiques est favorable »*

L'évaluation de l'état de conservation doit donc suivre une méthodologie permettant de caractériser plusieurs « paramètres d'évaluation » imposés par la DHFF : l'aire de répartition (des populations, de l'habitat), la surface couverte de l'habitat, la structure et les fonctions de celui-ci (dont l'adéquation de l'habitat aux espèces) et ses perspectives futures (COMMISSION EUROPEENNE, 2015 ; MACIEJEWSKY ET AL., 2015).

Les paramètres d'évaluation « aire de répartition » et « surface couverte de l'habitat » sont pertinents pour la description d'un habitat naturel à l'échelle biogéographique (*Tableau 1*). Mais à l'échelle du site, seuls les paramètres d'évaluation liés à la description de la structure et des fonctions (correspondant à l'état de l'écosystème), ainsi que ses perspectives futures, sont pertinents à évaluer (MACIEJEWSKY ET AL., 2015).

A l'échelle d'un site, les paramètres d'évaluation actuellement proposés ont donc trait aux dimensions de l'habitat (composition, structure et fonction), avec une évaluation des pressions dans la partie relative aux « perspectives futures ». Pour chaque paramètre d'évaluation, Maciejewsky et al. (2015) précisent que la mise en place d'indicateurs pourra être utilisée pour définir l'état des différents composants de l'habitat.

L'évaluation de l'état de conservation dans le cadre de la DHFF présente trois niveaux de notation : « **Favorable** », « **Défavorable – Inadéquat** », et « **Défavorable – Médiocre** » ; pouvant être simplifiés dans les documents d'objectifs en « **Bon** », « **Moyen** » et « **Mauvais** » (COMMISSION EUROPEENNE, 2015 ; DEBAIVE ET AL., 2012 ; KLESCZEWSKI ET AL., 2010 ; MACIEJEWSKY ET AL., 2015). Dans le cas où les données sont insuffisantes à l'évaluation de l'état de conservation, elle sera notée « **Inconnue** » (COMMISSION EUROPEENNE, 2015).

Pour pouvoir affecter une note à un habitat ou à une partie de cet habitat, il faut définir un **état de référence** à partir duquel pourront être comparés les états de conservation observés *in situ*. Ce référentiel pourra différer selon les régions, ce qui rend nécessaire un travail de fond pour décliner les états de référence de l'état favorable depuis l'échelle européenne ou nationale à des situations locales (MACIEJEWSKY ET AL., 2015).

Méthode de définition de l'état de référence d'un habitat naturel

La première étape consiste à préciser la ou les cible(s) de l'évaluation (population, communautés, ...) et les critères pour la décrire (richesse floristique, nombre d'espèces oligotrophes, espèces endémiques, ...). Elle se poursuit par la définition d'un état de référence pour une région naturelle ou un site naturel donné. L'état de référence peut dans un premier temps partir d'un état favorable défini par des critères valides à l'échelle européenne (tels que la présence d'espèces caractéristiques donnée par les cahiers d'habitat), puis l'adapter aux conditions locales si besoin.

Cet état de référence correspondra à un « état optimal » souhaité auquel pourra être comparé l'état observé et les pressions, notamment celles contrôlées par l'action anthropique, qui pilotent l'état de conservation. Cet

« état optimal » est une cible opérationnelle pour le gestionnaire, sur lequel il pourra définir des objectifs à long terme (MACIEJEWSKY ET AL., 2015). Le raisonnement proposé par le MNHN est le suivant (MACIEJEWSKY ET AL., 2015) :

- 1) Définir un gradient de l'état défavorable vers l'état optimal pour un habitat naturel dans différents sites ;
- 2) Choisir des indicateurs pour chaque critère des paramètres d'évaluation ;
- 3) Définir des valeurs-seuils chiffrées pour chaque indicateur à partir desquels on considère l'état de conservation comme favorable et comme étant l'état optimal souhaité ;
- 4) Définir les bornes de l'échelle d'évaluation de l'état de conservation :
 - a. Les seuils choisis pour l'état optimal souhaité est la référence, ils correspondront donc au maximum de l'échelle (100%) ;
 - b. Les seuils choisis pour l'état favorable correspondent au passage des états altérés à l'état favorable ;
 - c. Les seuils choisis pour l'état défavorable – médiocre correspondent au passage de cet état à l'état défavorable – inadéquat.

L'évaluation de l'état de conservation passe donc par la création d'une grille d'évaluation, renvoyant face à chaque paramètre d'évaluation les indicateurs mesurés et leurs seuils pour la mise en place d'une note à l'état de conservation. Cette grille d'évaluation doit idéalement être accompagnée d'une justification des choix d'indicateurs, avec leurs correspondances aux composants de l'habitat naturel et le sens de leurs réponses aux pressions observées.

En dépit de ce cadrage général réalisé par l'UMS PatriNat du MNHN, une problématique demeure quant à la caractérisation et à l'élaboration du gradient de l'état défavorable vers l'état optimal des différents sites d'un habitat naturel pour l'évaluation de son état de conservation. Sur quels critères élaborer celui-ci ? L'état favorable est-il réellement à l'une des extrémités du gradient observé ou est-il positionné sur une séquence intermédiaire ? Traditionnellement, l'élaboration du gradient des différents sites d'un habitat naturel peut s'effectuer à dire d'expert. Cependant, la méthode d'évaluation à dire d'expert rencontre des difficultés liées à l'objectivation de l'avis réalisé pour son utilisation dans une démarche scientifique, mais aussi sur la qualité de l'avis porté, et la transposition de la méthode vers d'autres régions voire même d'autres habitats d'une même région. La réflexion liée à cette méthodologie a pour vocation d'être précisée ou d'évoluer dans le cadre du projet SurPas par la caractérisation de l'état de conservation à l'aide de données quantifiables et facilement objectivables.

La notation de l'état de conservation peut être mise en regard de tendances permettant d'évaluer les fluctuations de l'état de conservation dans le temps ; elles sont notées : « **En progression** », « **Stable** » ou « **En dégradation** », et « **Inconnue** » le cas échéant (COMMISSION EUROPEENNE, 2015).

L'évaluation de l'état de conservation permet d'aboutir à une note donnant une idée de « l'état de santé » de l'habitat naturel (BERNARD ET AL., 2013), mais elle ne permet pas à elle seule de comprendre les causes d'éventuels problèmes (DEBAIVE ET AL., 2012). Pour cela, il est possible d'accompagner l'évaluation de l'état de conservation par d'autres indicateurs permettant de mettre en évidence les facteurs de dégradation, et/ou d'imaginer l'usage d'indicateurs pour l'évaluation de l'état de conservation qui permettent de comprendre pourquoi la note est mauvaise (DEBAIVE ET AL., 2012).

1.3 PRESENTATION DES PROJETS DU CONSORTIUM DE RECHERCHE

1.3.1 Projet de recherche SurPas

Débuté en 2019, le projet SurPas, pour « **Surveillance des habitats agro-pastoraux** », vise à mettre en évidence des états de références et des critères d'évaluation pour la surveillance de l'état de conservation des habitats de pelouses et de prairies en France continentale, dans le cadre de Natura 2000.

Le choix des lieux d'études s'est ainsi réalisé sur des habitats naturels d'intérêt communautaire, ainsi que les associations phytosociologiques qui en dérivent ou qui s'en approchent par intensification ou extensification des pratiques agricoles.

Le projet SurPas présente trois grands objectifs :

- La production de connaissances sur les critères d'états de conservation et des « états de références » adaptés à chaque site, à leur variabilité, et à leurs objectifs de gestion Natura 2000 ;
- Le test de la sensibilité de plusieurs critères d'évaluation de l'état de conservation, floristiques et fonctionnels, au regard des contrastes écologiques et de la gestion agropastorale ;
- Le test de la faisabilité des protocoles proposés.

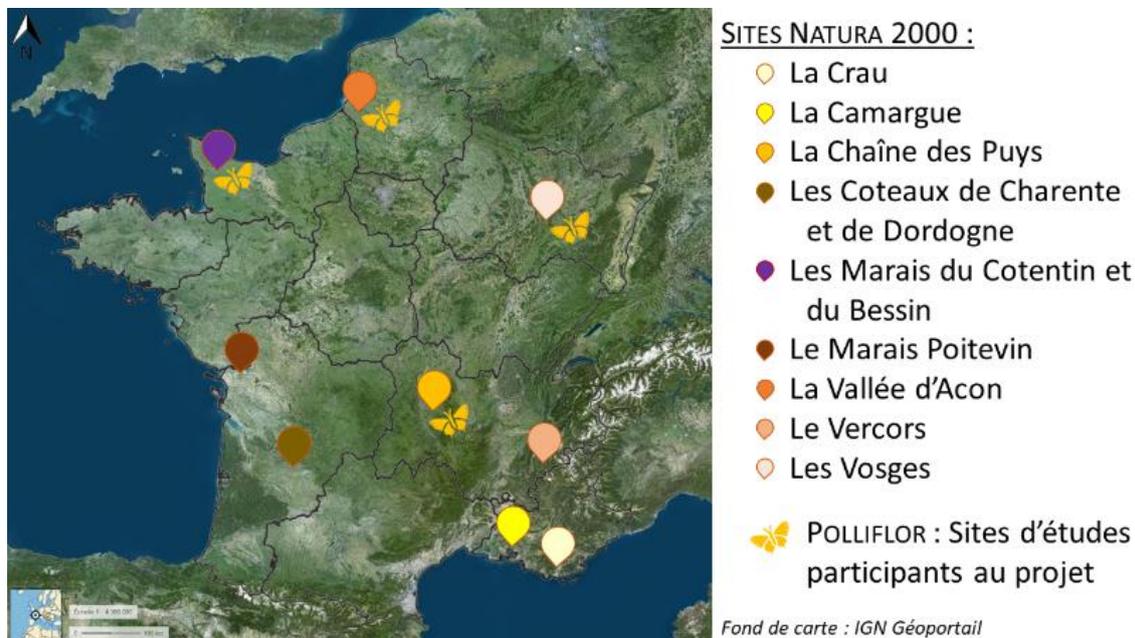


Figure 2 : Localisation des sites Natura 2000 suivis par les 9 équipes de recherches du consortium SurPas, et sites participants au projet Polliflor

Le consortium de recherche SurPas rassemble 9 équipes de recherche en interaction avec les gestionnaires des sites Natura 2000 (Figure 2) : de Crau, de Camargue, du Vercors, des Vosges, de la Chaîne des Puys, du Marais Poitevin, des Coteaux de Charente et de Dordogne, du Marais du Cotentin et du Bessin et de la Vallée d'Acon.

Il est financé par le MTES* et piloté par l'UMS PatriNat (MNHN-OFB), avec au sein du comité de pilotage des représentants du MTES, du CNPN*, du MAA* ainsi que des CBN*. Ce projet a été initié par Anne Bonis (Chargée de recherche CNRS, UMR GEOLAB*, UCA – CNRS) qui le coordonne en collaboration avec Olivier Chabrierie (Maître de conférence, UMR EDYSAN*, Université de Picardie Jules-Vernes – CNRS).

1.3.2 Projet de recherche Polliflor

Au sein du projet SurPas, le projet Polliflor vise plus spécifiquement l'acquisition de connaissances sur les pollinisateurs en lien avec les plantes sur lesquelles ils butinent. L'objectif final est de pouvoir trouver des critères fonctionnels pour l'évaluation de l'état de conservation des milieux prairiaux sur le plan de la pollinisation des espèces végétales des prairies et pelouses et de l'accueil des pollinisateurs.

Initié et coordonné par Alice Michelot-Antalik (Maître de conférence, LAE* Université de Lorraine – INRAE), ce projet se réalise sur les sites Natura 2000 des Vosges, de la Chaîne des Puys, du Marais du Cotentin et du Bessin, et sur la Vallée d'Acon (Figure 2).

1.4 CONTEXTE DU STAGE

1.4.1 Objectifs du stage

Le travail réalisé lors de ce stage vise à contribuer aux objectifs du projet SurPas qui consiste à évaluer plusieurs aspects fonctionnels de l'écosystème et d'en examiner les liens avec la structure ou la composition spécifique des habitats.

In fine, cette évaluation doit permettre la sélection de critères d'évaluation de l'état de conservation des habitats prairiaux et pelousaires :

- qui permettront de documenter les dimensions taxonomiques et le fonctionnement écologique ;
- qui contribueront à la compréhension des liens présents entre différentes dimensions des habitats et donc entre les différents critères ;
- et aussi d'apprécier les effets des pratiques agro-pastorales sur l'état de conservation des habitats de pelouses et de prairies à travers la recherche d'indicateurs de ces pratiques.

Dans le cadre de mon stage, les objectifs sont :

- Préparer et réaliser le terrain pour le projet traitant des liens entre ressources florales et pollinisateurs (Polliflor, coord. Dr Alice Michelot-Antalik) dans le site Natura 2000 de la Chaîne des Puys ;
- Sur la base des données disponibles, évaluer la capacité d'accueil des insectes sur les couverts végétaux, et en particulier les insectes pollinisateurs.

Ces objectifs demandent de mener à bien les séquences d'études suivantes :

- Caractérisation des unités de végétation selon des critères adaptés au projet Polliflor ;
- Réalisation de la sélection de ces unités de végétation sur la Chaîne des Puys ;
- Réalisation des relevés de données spécifiques au projet Polliflor sur le terrain, à savoir :
 - o Le comptage des unités florales ;
 - o La mesure des traits floraux sélectionnés dans le projet Polliflor ;
 - o La capture active de pollinisateurs en interactions avec la flore ;
 - o La capture passive des pollinisateurs et insectes floricoles.
- Identifier, collecter et analyser les critères fonctionnels permettant la compréhension de l'attractivité de la flore et des ressources nectarifères et pollinifères disponibles pour les pollinisateurs :
 - o Etablir une base de données de traits floraux à partir de données bibliographiques en prévision de la caractérisation de la flore en interaction avec les pollinisateurs ;
 - o Analyser les interactions entre la flore et les pollinisateurs capturés sur le terrain à l'aide des données floristiques relevées et des traits floraux collectés dans la base de données.
- Identifier les données de pratiques agropastorales disponibles et rechercher d'éventuelles précisions ;
- Identifier des critères pouvant être considérés comme de bons candidats pour l'évaluation de l'état de conservation des habitats prairiaux et pelousaires :
 - o Synthétiser les critères et les données disponibles dans SurPas et les stages réalisés précédemment dans les équipes de recherches participant au consortium ;
 - o Identifier des critères potentiels à partir des analyses réalisées pendant ce stage, notamment pour caractériser les pratiques agropastorales et la pollinisation.

Ce stage permettra ainsi de participer à la réponse aux problématiques de politique et de gestion dans le cadre de Natura 2000 à travers la proposition de critères potentiels d'évaluation de l'état de conservation des habitats agropastoraux.

Il répondra également aux problématiques scientifiques liées à la connaissance des liens entre ces critères et les composantes de l'écosystème qu'ils décrivent, notamment sur les aspects de pollinisation en recherchant quels traits floraux sont les plus efficaces pour décrire l'abondance et la nature des pollinisateurs présents dans les habitats agropastoraux de la Chaîne des Puys, en considérant l'existence d'un système de récompense, de barrière physique (accessibilité) aux ressources et d'attraction chez les végétaux pour les pollinisateurs (GOULNIK, 2019).

Note : Ce rapport ayant été rendu avant la fin du stage et de l'obtention des dernières données, les analyses réalisées porteront essentiellement sur la première session de terrain réalisée de mai à juillet. Certains résultats pourront ainsi faire l'objet d'une discussion renvoyant vers des tâches à venir qui viendront préciser ou confirmer ce qui a été réalisé ici.

2 SITE D'ETUDE ET MODELE BIOLOGIQUE

2.1 SITE D'ETUDE DE LA CHAÎNE DES PUY

Le site Natura 2000 sur lequel les relevés sont effectués dans le cadre du projet SurPas et pour ce stage est le site Natura 2000 de la Chaîne des Puys (Figure 3), inclus dans le territoire du Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne.

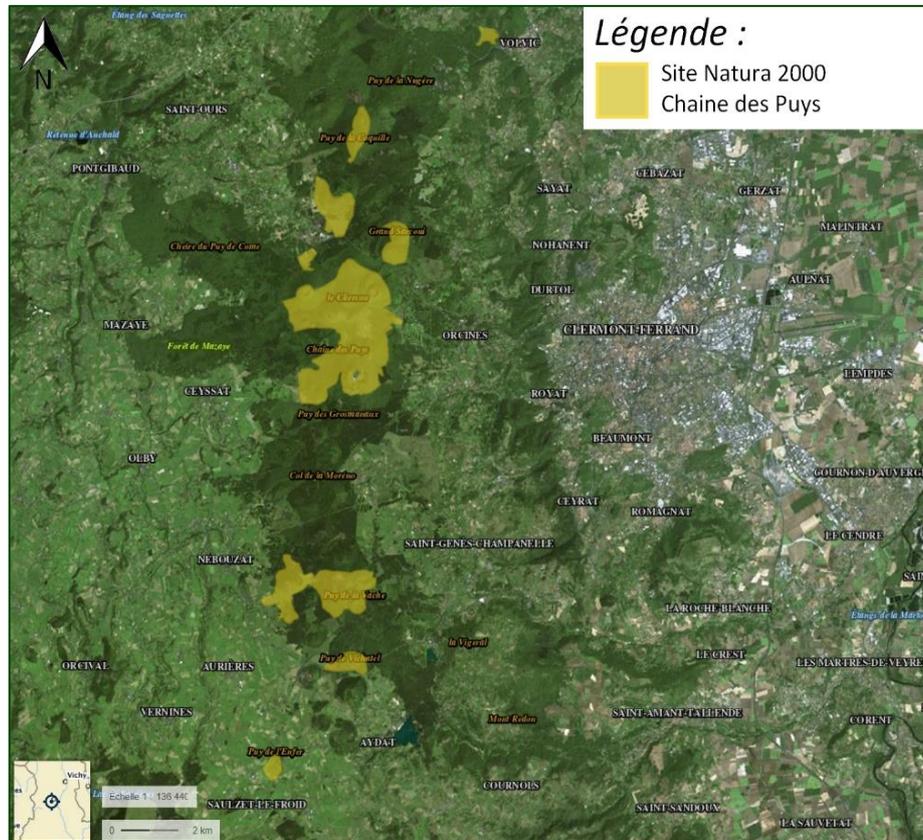


Figure 3 : Site Natura 2000 de la Chaîne des Puys. Source : IGN Géoportail

Situé dans le département du Puy-de-Dôme, le site Natura 2000 s'étend sur une superficie de 2 037 ha, et d'une altitude allant de 799 m à 1 465 m (correspondant au sommet du volcan du Puy-de-Dôme) (MNHN, 2019). Le climat est montagnard, à tendance subalpine pour le sommet du Puy-de-Dôme, et sous l'influence au nord et à l'est d'un climat continental, et au sud et ouest d'un climat océanique. Ces influences se traduisent par de fortes sécheresses estivales et des orages automnaux et printaniers à l'est, avec des températures plus chaudes (p. ex. Clermont-Ferrand) et des précipitations plus régulières, et températures plus fraîches à l'ouest de la Chaîne des Puys (p. ex. Orcival) (Figure 4).

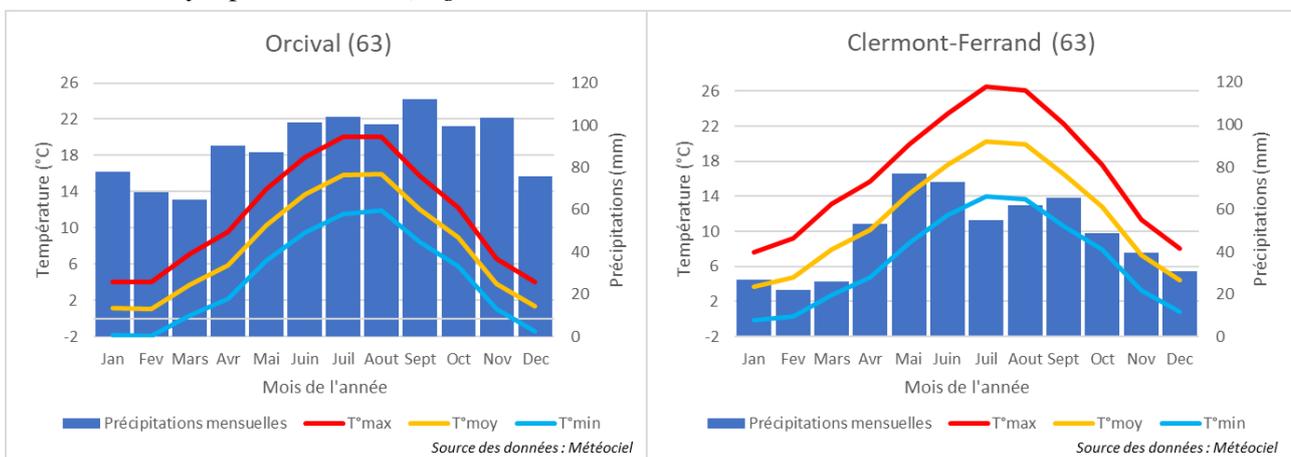


Figure 4 : Diagrammes ombrothermiques des villes d'Orcival (à l'est de la Chaîne des Puys) et de Clermont-Ferrand (à l'ouest de la Chaîne des Puys), sur le département du Puy-de-Dôme. (Source des données : Météociel)

Ce site Natura 2000 a été classé selon la Directive Habitat-Faune-Flore (DHFF) et vise en priorité les pelouses et landes d'altitudes situées sur les flancs et les sommets de 90 volcans d'Auvergne, couvrant aujourd'hui 21% de la surface du site. L'activité historique réalisée sur ces milieux est le pâturage, essentiellement ovin, avec aujourd'hui l'ajout d'une activité sylvicole sur les forêts caducifoliées couvrant 71% du territoire (MNHN, 2019). La mosaïque paysagère étant importante et les conditions géo-climatiques variées, le site Natura 2000 accueille un riche patrimoine naturel avec le recensement de 35 habitats naturels d'intérêt communautaire (MNHN, 2019).

Enfin, le site Natura 2000 de la Chaîne des Puys est sujet à une forte sollicitation touristique et de loisirs. Avec plus de 100 manifestations annuelles, le site est apprécié des visiteurs lointains comme des locaux. Le pastoralisme et l'animation de ce territoire pour l'entretien de ces milieux doivent donc intégrer des besoins multifonctionnels en favorisant les pratiques les plus favorables à la conservation d'un bon état de conservation des habitats naturels (MNHN, 2019).

2.2 GAMME ECHANTILLONNEE VIA LES RELEVES SURPAS 2019

Les 42 placettes SurPas présentes sur la Chaîne des Puys représentent 8 associations végétales déclinées en 14 sous-associations différentes (*Tableau 3*). Ces associations phytosociologiques sont rattachées à 4 habitats génériques déclinés en 5 habitats élémentaires par correspondance avec les cahiers d'habitats Natura 2000 (BENSETTITI ET AL., 2005). Seules deux unités de végétation ne sont pas rattachées à un habitat générique, car elles ne correspondent pas à un habitat d'intérêt communautaire (*Tableau 3*).

Tableau 3 : Unités de végétation SurPas et correspondances avec les cahiers d'habitats (habitats génériques et élémentaires) et les syntaxons phytosociologiques (associations et sous-associations végétales)

Unité de végétation	Code habitat générique	Code habitat élémentaire	Association	Sous-association
<i>PUY_A</i>	6510	6510-3	<i>Knautio arvernensis – Arrhenatheretum elatioris</i>	<i>malvetosum moschatae</i>
<i>PUY_B</i>	6230	6230-4	<i>Festuco rubrae – Genistetum sagittalis</i>	
<i>PUY_C</i>	6510	6510-3	<i>Knautio arvernensis – Arrhenatheretum elatioris</i>	<i>typicum</i>
<i>PUY_D</i>	6510	6510-7	<i>Heracleo lecoqii – Arrhenatheretum elatioris</i>	<i>heracleetosum sphondylii</i>
<i>PUY_E</i>	6210	6210-19	<i>Ranunculo bulbosi – Brachypodietum pinnati</i>	<i>typicum</i>
<i>PUY_F</i>	4030	4030-13	<i>Galio saxatilis – Vaccinietum myrtilli</i>	<i>senecietosum adonidifolii</i>
<i>PUY_G</i>	6210	6210-19	<i>Diantho monspessulani – Brachypodietum pinnati</i>	<i>leucanthemetosum vulgaris</i>
<i>PUY_H</i>	4030	4030-13	<i>Galio saxatilis – Vaccinietum myrtilli</i>	<i>nardetosum strictae</i>
<i>PUY_I</i>	4030	4030-13	<i>Galio saxatilis – Vaccinietum myrtilli</i>	<i>dianthetosum monspessulani</i>
<i>PUY_J</i>	-	-	<i>Festuco commutatae – Cynosuretum cristati</i>	
<i>PUY_K</i>	6210	6210-19	<i>Diantho monspessulani – Brachypodietum pinnati</i>	<i>typicum</i>
<i>PUY_L</i>	6210	6210-19	<i>Ranunculo bulbosi – Brachypodietum pinnati</i>	<i>trifolietosum repentis</i>
<i>PUY_M</i>	4030	4030-13	<i>Galio saxatilis – Vaccinietum myrtilli</i>	<i>senecietosum & dianthetosum</i>
<i>PUY_N</i>	-	-	<i>Cynosuro cristati – Lolietum perennis</i>	

Les unités de végétation ont été sélectionnées pour refléter un gradient d'intensification-extensification des pratiques agropastorales. Les analyses réalisées en 2019 à la suite des relevés de terrain ont permis la distinction des unités de végétation le long de ce gradient (Figure 5).

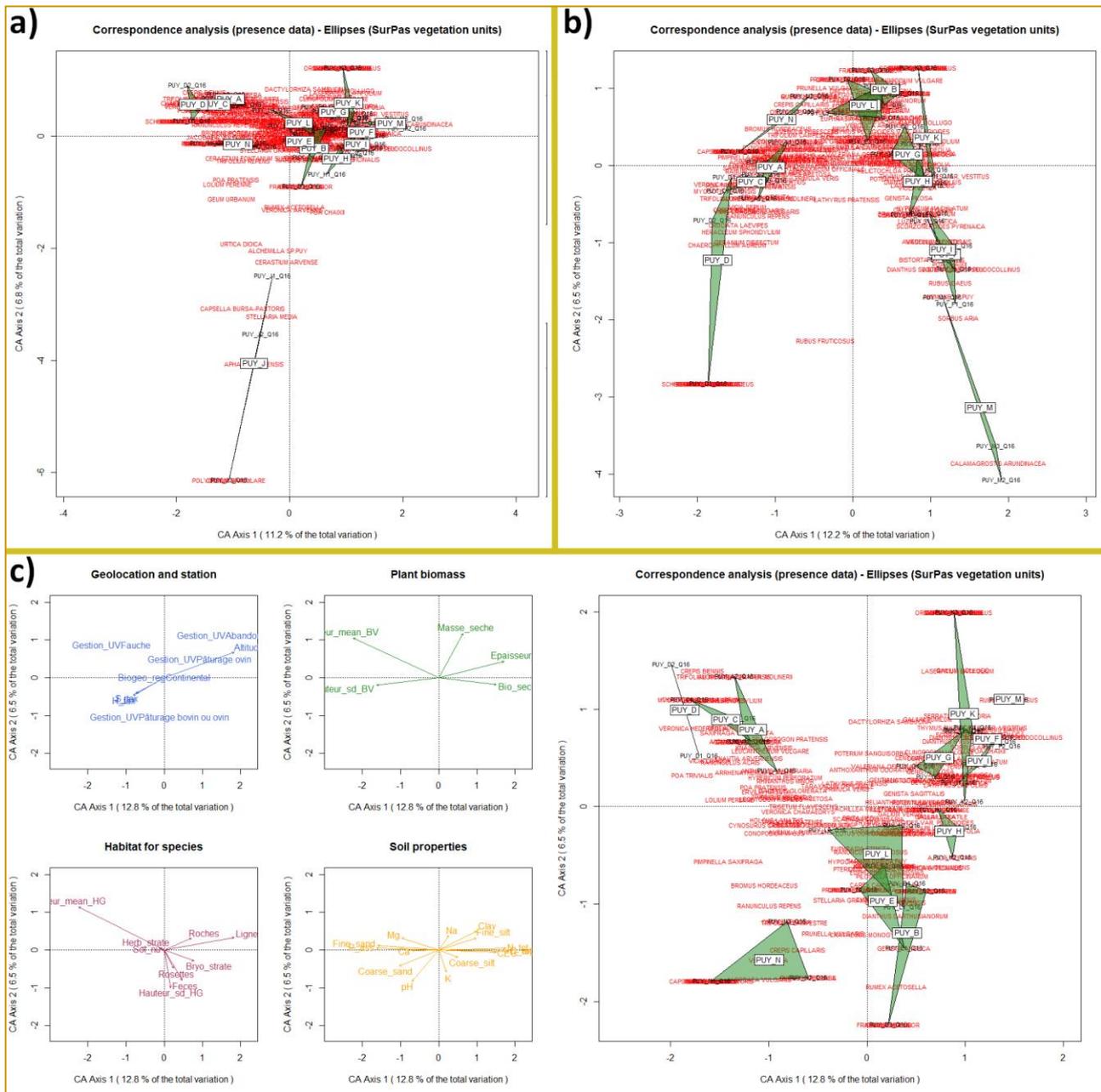


Figure 5 : Caractérisation des unités de végétation SurPas à l'aide de trois AFC successives effectuées sur les données floristiques Q16 en présence/absence. a) AFC sur l'ensemble du jeu de données, b) AFC excluant les relevés de l'UV PUY_J et c) AFC excluant les relevés des UV PUY_J, et des placettes PUY_D3, PUY_M2 et PUY_M3 et projection des variables supplémentaires associée à cette AFC (Localisation, Biomasse, Habitat d'espèces et Propriétés du sol). (© M. Burst)

La réalisation d'une première Analyse Factorielle des Correspondances (AFC*) sur les jeux de données floristiques en présence/absence des relevés effectués sur les quadrats centraux Q16 (cf. 3.1 Critères de sélection des unités de végétation et acquisition des données nécessaires) distingue l'unité PUY_J des autres (Figure 5a). Celle-ci se caractérise par sa forte eutrophisation, il s'agit de communautés de l'étage montagnard, acidiphiles et converties en parcs de nuit sur les monts des Dômes (THEBAUD ET AL., 2014).

Une seconde AFC réalisée sur ce jeu de données en excluant l'unité PUY_J fait ressortir la particularité des placettes PUY_D3, PUY_M2 et PUY_M3 (Figure 5b). Ces placettes correspondent à des situations d'abandon, plus récente pour PUY_D3. L'association phytosociologique *Galio saxatilis* – *Vaccinietum myrtilli* correspondant au PUY_M traduit en effet une communauté végétale montagnarde, mésophile sur substrat

volcanique, en dynamique vers des fourrés ou la forêt (THEBAUD ET AL., 2014). Cette dynamique observée conforte l'idée de la présence de la déprise agricole de cet habitat naturel.

Enfin, le retrait de ces placettes pour la réalisation d'une troisième AFC (Figure 5c) illustre la présence de différents groupes et d'un gradient selon l'axe 1 et 2. Le premier groupe d'unité de végétation (UV*), en haut à gauche sur le graphique, regroupe les placettes de prairie de fauche (PUY_A, PUY_C et PUY_D) ; le second groupe étendu correspond aux placettes dont le mode de gestion est la pâture. Ces unités pâturées se situent le long d'un gradient d'extensification des pratiques agropastorales le long de l'axe 1 et 2. De gauche à droite et de bas en haut : PUY_N est la plus intensive et est pâturée par des bovins, avec des communautés végétales méso-eutrophile à nitratophile (THEBAUD ET AL., 2014) ; l'ensemble PUY_E, PUY_B, PUY_L sont intermédiaires, également en pâture par des bovins ; puis l'unité PUY_H est la plus intensive des pâtures en ovin, suivi de l'ensemble PUY_F, PUY_G, PUY_I et PUY_K en pâtures ovines situées sur les sommets des Dômes ; et enfin PUY_M en situation abandonnée.

3 MATERIEL ET METHODES UTILISEES

3.1 CRITERES DE SELECTION DES UNITES DE VEGETATION ET ACQUISITION DES DONNEES NECESSAIRES

Plan d'échantillonnage SurPas :

Les éléments d'échantillonnages du projet SurPas se déclinent à plusieurs échelles (Figure 6) :

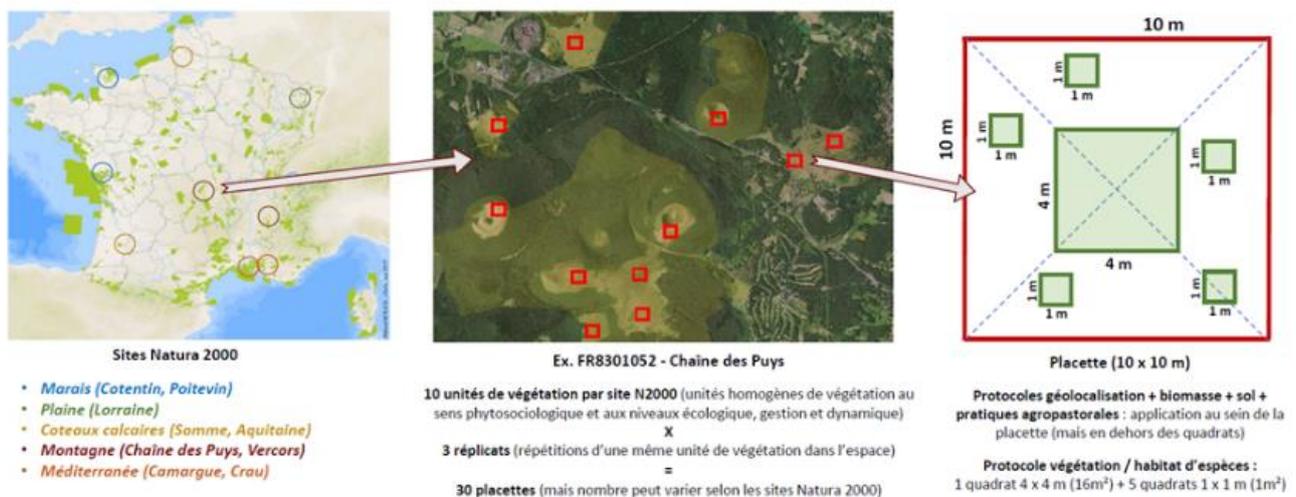


Figure 6 : Schéma d'emboîtement des éléments d'échantillonnage du projet SurPas (© SurPas)

A l'échelle du consortium, les sites d'études de chaque équipe de recherche correspondent aux sites Natura 2000 auxquels se rattachent les secteurs d'échantillonnage. Pour un site Natura 2000, il a été effectuée la sélection d'au minimum 10 unités de végétation (UV*) avec pour chaque UV 3 répliqués. Il y a ainsi un minimum de 30 placettes suivies par site Natura 2000.

L'unité de végétation (UV*) correspond à un ensemble floristique homogène dans un lieu donné, pouvant être rattaché à une association ou à une sous-association phytosociologique.

Le réplica correspond à une répétition de l'UV homogène dans l'espace. Ceux-ci doivent tous correspondre au même habitat naturel, et doivent être situés dans :

- (i) des patchs d'habitats naturels séparés au minimum de plusieurs centaines de mètres (afin de limiter l'autocorrélation spatiale entre ces réplicas) et dans des parcelles différentes ;
- Si (i) impossible =>* (ii) des patchs d'habitats naturels distincts séparés par des distances inférieures à la centaine de mètres, idéalement dans des parcelles différentes ;
- Si (ii) impossible =>* (iii) le même patch d'habitat et la même parcelle mais avec des placettes espacées de plusieurs centaines de mètres.
- Si (iii) impossible =>* (iv) Signaler les cas particuliers de réplicas situés au sein du même patch d'habitat, même parcelle et placettes espacées de moins d'une centaine de mètres.

Une placette correspond à la zone de prélèvement, il s'agit d'un carré de 10 m de côté. A cette échelle sont réalisés les protocoles de géolocalisation, de prélèvement de biomasse végétale, de prélèvement de sol et de renseignement des pratiques agropastorales.

Au sein d'une placette est disposé un quadrat central de 4*4 m, soit 16 m² (nommé Q16), et 5 quadrats de 1*1 m, soit 1 m² (nommés Q1). Les quadrats de 1 m² sont disposés aléatoirement sur la surface de la placette en évitant les chevauchements entre quadrats. Les relevés floristiques et le renseignement des données d'habitat d'espèces sont réalisés sur ces quadrats. Le prélèvement de biomasse végétale se réalise sur minimum de 5 surfaces de 20*20 cm (pour atteindre 40 g MS*) aléatoirement dans la placette (mais hors des quadrats) et sont matérialisées temporairement pour l'opération. Ces différents éléments d'échantillonnage font l'objet d'un système de notation pour nommer les identifiants, expliqué dans le Tableau 4. Ce système sera utilisé par la suite, notamment pour désigner les unités de végétation et placettes sélectionnées pour Polliflor.

Tableau 4 : Système de notation des identifiants SurPas

<i>Elément</i>	<i>Composition de l'identifiant</i>	<i>Exemple</i>
<i>Placette</i>	3 lettres prédéfinies pour le site Natura 2000	Chaîne des Puy = « PUY »
<i>Unité de végétation</i>	ID Placette + Lettre alphabétique	PUY + Unité A = « PUY_A »
<i>Réplica = Placette</i>	ID UV + Numéro de réplica	PUY_A + Réplica 1 = « PUY_A1 »
<i>Quadrat 16 m² (Q16)</i>	ID Réplica + Q16	PUY_A1 + Q16 = « PUY_A1_Q16 »
<i>Quadrat 1 m² (Q1)</i>	ID Réplica + Q1 + Numéro du Q1	PUY_A1 + Q1 + Quadrat 1 m ² n°1 = « PUY_A1_Q1-1 »

Sites d'études SurPas sélectionnés pour le site Natura 2000 de la Chaîne des Puy :

Le choix initial pour décrire la diversité de la végétation, du sol et des pratiques agricoles a conduit à choisir 42 placettes correspondant à 14 unités de végétation différentes, avec 3 réplicas par unité (Figure 7).

Dans le cadre du projet Polliflor, un sous-échantillonnage a été réalisé afin de sélectionner 3 unités homogènes essentiellement sur la base de leur intérêt sur le plan des ressources florales. Les 3 réplicas pour chaque UV devaient respecter des critères de similarité au niveau du paysage, du couvert fleuri et des espèces végétales présentes sur les placettes (cf. 4.1. Sélection des placettes Polliflor (p34)).

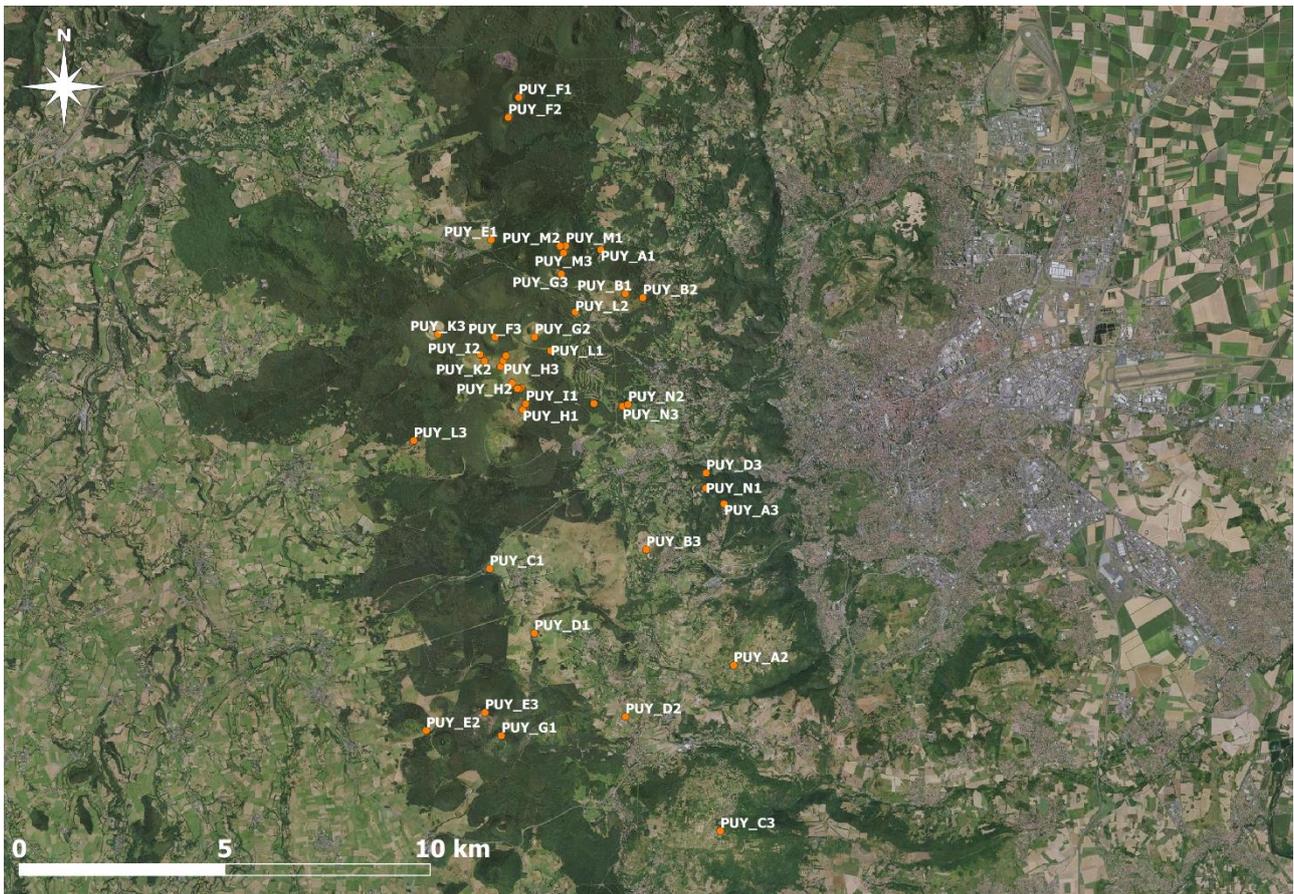


Figure 7 : Localisation des 42 placettes du projet SurPas sur la Chaîne des Puys (© M. Burst)

Données relevées lors du terrain 2019 et leurs disponibilités :

La session de terrain 2019 a permis la collecte de données topographiques, pédologiques, floristiques et d'habitat d'espèces sur l'ensemble des placettes SurPas (*ANNEXE I*). Le renseignement de données agricoles a également été en partie réalisé (*ANNEXE III*).

Les descriptions d'horizons pédologiques ont été réalisées à la tarière, ne permettant pas d'évaluer directement la structure du sol. Les analyses ont été faites sur les horizons présentant plus de 80% des racines du profil, correspondant généralement au premier horizon.

Les données d'habitat d'espèces correspondent à l'identification de caractéristiques ou de milieux présumés intéressants pour l'accueil de la biodiversité. Celles-ci ont été réalisées sur les Q1. La biodiversité considérée correspond aux arthropodes, plus particulièrement les araignées, les insectes coprophages, les pollinisateurs et les carabes.

Les données agricoles disponibles ont été renseignées à partir d'observations sur le terrain. Les données agricoles renseignées à l'aide d'enquêtes agropastorales restent cependant incomplètes, car les contacts attendus avec les agriculteurs n'ont pas toujours donné suite (4 réponses sur 15 dans la Chaîne des Puys). Le contexte lié au COVID-19 n'ayant pas été favorable à la collecte de ces données, leur renseignement a été repoussé.

Ce manque ne permet pas d'obtenir une gradation des unités de végétation selon une intensité de gestion calculée. La mise en place d'un référentiel – même potentiel – n'a donc pas été possible, tout comme le test de critères pour l'évaluation de conservation des habitats prairiaux et pelousaires sur les données agropastorales.

Données de traits floraux pour la caractérisation des UV et leur sélection Polliflor :

Un trait biologique correspond à une caractéristique permettant la description biologique, écologique ou comportementale d'une espèce ou d'une partie de celle-ci (p. ex. sa croissance, sa stratégie de reproduction, sa taille, son préférendum de température ...) (HARRINGTON ET AL., 2010). Les traits floraux décrivent donc les caractéristiques de la fleur, telles que sa couleur ou la quantité et la qualité du nectar produit.

Les traits floraux des espèces végétales présentes dans les placettes SurPas forment une donnée utile tant pour la sélection des placettes Polliflor que pour l'analyse ultérieure des données d'interactions flore-pollinisateurs. Cependant, peu de bases de données de traits floraux sont aisément disponibles, et leur caractérisation sur le terrain est souvent délicate.

Afin de combler ce manque, une base de données des traits floraux de la flore rencontrée dans les placettes SurPas a été créée à partir de données de la bibliographie. Les sources de données sont :

- Des bases de données existantes :
 - o e-FloraSys (LAE - INPL, 2009) ;
 - o Baseflor (JULVE, 1998) ;
 - o BiolFlor (UFZ, BFN, 2020) ;
 - o Tela Botanica (ASSOCIATION TELA BOTANICA, 2020) ;
 - o Les herbiers numériques de l'Identification Assistée par Ordinateur (GOUJON, 2020) ;
 - o Le site internet Biologie de l'ENS Lyon (THOMAS, BUSTI, 2009).
- Des flores et ouvrages de références :
 - o Flora Gallica (TISSON, DE FOUCAULT, 2014) ;
 - o Guide Delachaux des fleurs de France et d'Europe (STREETER ET AL., 2017) ;
 - o Les Orchidées de France, Belgique et Luxembourg (BOURNERIAS ET AL., 2005) ;
 - o Flore Forestière Française, Tome 1 (RAMEAU ET AL., 1989) ;
 - o Reconnaître facilement 220 plantes mellifères (PRITSCH, DRONNEAU, 2020).

52 variables sont renseignées pour chaque espèce rencontrée dans le projet SurPas : 6 renseignent des informations sur la taxonomie ; 3 sur la phénologie (pour la période de floraison maximale) et l'habitat de prédilection de la plante ; 5 sur la stratégie de reproduction et de dissémination ; 26 variables permettent de décrire la fleur ; 10 portent sur les ressources nectarifères et mellifères accompagnées d'informations sur l'accueil des pollinisateurs ; et enfin, 2 variables permettent de renseigner le collecteur et les sources des informations collectées pour l'espèce (*Tableau 5*).

322 taxons sont présents dans la base de données. Sur cet ensemble, 56,5% des taxons ont au moins un champ de description de la fleur collectée. Les champs relatifs à la taxonomie et à la phénologie des espèces, ainsi que les sources, sont entièrement renseignés pour l'intégralité des espèces de la base.

La complétude des espèces angiospermes (hors graminoides, i.e. *Juncaceae*, *Poaceae* et *Cyperaceae*) dans la base de données a été évaluée comme étant prioritaire. Ces espèces représentent 74,2% de l'ensemble des taxons de la base de données, avec 59,8% de ces espèces qui ont au moins un champ de description de la fleur collectée. Sur les données considérées comme prioritaires, 46,3% sont complétées.

Un effort supplémentaire a été réalisé sur les espèces présentant des interactions avec les pollinisateurs capturés sur la Chaîne des Puys. Ainsi, 80% des données ont été complétées sur cet échantillon. Les informations manquantes sont pour les variables : de stratégie de la plante (*Ordre de maturation des pièces florales*) ; de description de la fleur (*Taille de l'inflorescence et de la fleur (qui n'ont pas été jugées prioritaires car feront l'objet d'une collecte sur le terrain), Longueur et largeur du labelle*) ; et des ressources et l'accueil des pollinisateurs (*Présence, quantité et qualité du nectar et du pollen, Profondeur de tube à nectar, Accueil des pollinisateurs*).

Tableau 5 : Récapitulatif des variables renseignées au sein de la base de données de traits floraux et classification selon des grands types de variables.

Les chiffres indiqués entre parenthèses renseignent le nombre de variables utilisées pour caractériser l'élément.

Taxonomie	Phénologie et Habitat	Stratégies	Description de la fleur	Ressources et accueil	Sources
Espèce (<i>nom valide et du terrain</i>) (2)	Mois de début de floraison	Stratégie de pollinisation	Taille de la plante	Nectar, qualité et quantité (3)	Collecteur des données
Autorité	Mois de fin de floraison	Type de sexualité des fleurs	Type et taille d'inflorescence (2)	Pollen, qualité et quantité (3)	Sources utilisées
Nom complet	Habitat de prédilection	Ordre de maturation	Couleurs (3)	Profondeur du tube à nectar	
Famille		Type de fruit	Type de forme et taille des fleurs (5)	Capacité mellifère et d'accueil (2)	
Identifiant INPN CD_REF		Stratégie de dissémination	Nombre de pétales et sépales (2)	Taxons d'insectes visiteurs	
			Taille du labelle (2)		
			Soudure des pièces florales (4)		
			Forme des pétales et sépales (7)		

Données paysagères pour la caractérisation des UV et leur sélection pour Polliflor :

Les données paysagères proviennent des informations de la BD TOPO © 2019 et du RPG © 2018 de l'IGN*.

Les données sont extraites sur un rayon de 1 km autour du centroïde de chaque placette SurPas (dit buffer), comme la limite choisie de l'autocorrélation spatiale entre les populations d'insectes volants entre deux placettes limitrophes. Ce choix a été réalisé selon la moyenne de déplacement des pollinisateurs volants dans leur milieu de vie, qui est par exemple de 400 m pour les papillons non migrateurs et de 1 km pour les carabes (GASSER ET AL., 2004), et en majorité dans un rayon inférieur à 2 km pour une abeille mellifère (JANSSENS ET AL., 2006), dont on sait depuis longtemps que l'aire de récolte varie fortement avec la disponibilité des ressources mellifères du milieu (LECOMTE, 1960).

Les données extraites dans chaque buffer de 1 km et rattachées à une placette SurPas sont :

- L'occupation du sol à partir des couches HAIES.shp et ZONE_DE_VEGETATION.shp de la BD TOPO ©;
- Les terres agricoles à partir de la couche PARCELLES_GRAPHIQUES.shp du RPG ©, accompagnée du fichier de codification des cultures « Table de codification des cultures principales.csv » disponible sur le site du gouvernement (www.data.gouv.fr).

L'occupation du sol permet de donner des indications paysagères sur les linéaires de haies, et les types de forêts (p. ex. forêt ouverte, forêt fermée de feuillus ou de conifères) et des milieux ouverts (p. ex. landes ligneuses, estives) présents sur le territoire.

Les terres agricoles sont regroupées selon les libellés « Groupe de Culture » afin de simplifier les comparaisons entre placettes. Ces informations permettront notamment d'écarter de la sélection de placettes pour Polliflor celles qui sont trop proches de cultures mellifères (p. ex. colza, tournesol) pouvant représenter une forte concurrence en termes d'attractivité des pollinisateurs.

Dans chaque buffer de 1 km, la surface de chaque élément extrait de la BD TOPO © et du RPG © est mesurée, ainsi que les linéaires de haies, pour permettre la comparaison des placettes SurPas sur le plan paysager.

3.2 PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE DES PLACETTES POLLIFLOR

Critères de sélection et hypothèses :

La mise en place du projet Polliflor a demandé la réalisation d'un sous-échantillonnage des placettes SurPas pour la collecte de données sur les pollinisateurs : 3 unités de végétation avec 3 répliques, soit 9 placettes.

L'objectif est de maximiser le nombre et la diversité d'interactions potentielles entre les pollinisateurs et la flore présente (i.e. l'action par un insecte de venir butiner une fleur, à savoir la consommation de nectar ou de pollen sur celle-ci). Pour cela, nous avons posé plusieurs hypothèses :

- Le nombre d'interactions potentielles augmente avec le recouvrement végétal fleuri du milieu ;
- La diversité des interactions potentielles, i.e. la diversité des taxons d'insectes et de plantes en interactions, augmente avec la diversité floristique du milieu ;
- Il existe une corrélation positive entre la diversité des traits floraux présents dans un milieu et la diversité des insectes pollinisateurs en interaction avec la flore locale (BORGY ET AL., 2017) ;
- Les angiospermes, hors graminoides, sont les végétaux présentant la (quasi-)exclusivité des interactions avec les pollinisateurs via leurs ressources nectarifères et pollinifères.

Par ailleurs, une attention particulière est donnée au contexte paysager, en cherchant une bonne similarité du paysage au sein d'une unité de végétation et entre ses répliques. Les placettes doivent également être à une distance suffisante de cultures mellifères (telles que le colza ou le tournesol) afin d'éviter la proximité d'une forte ressource mellifère.

Pour obtenir de bons répliques au sein d'une unité de végétation, les répliques ont été choisis en évitant qu'ils soient proches pour minimiser les risques d'autocorrélation spatiale entre eux.

Le résultat de la sélection est présenté dans la partie 4.1. Sélection des placettes Polliflor (p34).

Organisation d'une placette Polliflor :

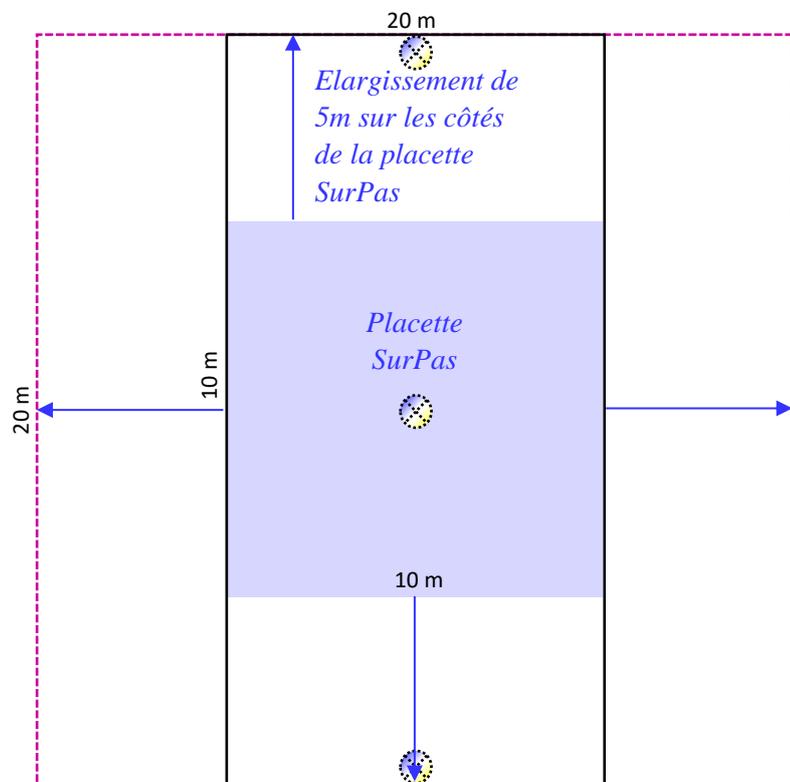


Figure 8 : Schématisation d'une placette Polliflor (pointillé violet), correspondant à l'extension de la placette SurPas (en bleu), et position des pièges pour les captures passives des pollinisateurs.

La placette Polliflor correspond à un élargissement 5 m de part et d'autre de la placette SurPas afin de former un carré de 20*20 m (Figure 8).

Cette placette s'organise en deux zones distinctes. La première, allongée, de 10*20 m, correspond au secteur dans lequel sera réalisé les captures de pollinisateurs. Elle est représentée par le rectangle noir incluant la placette SurPas d'origine (Figure 8). Les cercles représentent la position des pièges pour les captures passives.

La seconde zone correspond à l'aire comprise dans l'ensemble de la placette Polliflor (pointillés violets). Elle permet de préserver du piétinement réalisé par les captures deux bandes de 5m de part et d'autre de la première zone. Ainsi, les mesures des traits floraux peuvent être réalisées sur cette zone-ci.

3.3 PROTOCOLES

Les relevés dans le cadre du projet Polliflor ont pour objectif de compléter l'acquisition de données « habitat d'espèces » réalisée en 2019 pour les pollinisateurs, à travers le comptage des unités florales et la mesure des traits floraux présents sur la placette.

Le second objectif est d'obtenir des éléments sur les liens entre la flore présente et les pollinisateurs, à l'aide de deux méthodes de captures des pollinisateurs. Ces captures nécessitent une météo commune et stricte pour leur réalisation : 72h de journée ensoleillée consécutives, sans pluie, avec un vent inférieur à 5 m.s^{-1} , et un minimum de 48h avec des températures supérieures à 15°C pour les captures passives, et supérieures à 18°C pour les captures actives des pollinisateurs.

L'ensemble des protocoles suivants doivent être réalisés dans un cours laps de temps pour une même placette et *a fortiori* pour une même unité de végétation Polliflor.

Les protocoles simplifiés utilisés sur le terrain sont disponibles en ANNEXE II.

3.3.1 Captures actives des pollinisateurs



Figure 9 : Réalisation de la capture au filet d'un insecte en train de butiner lors du temps d'arrêt du chronomètre (placette A3).

La capture active des pollinisateurs s'effectue grâce à un filet à papillon par le parcours d'un transect dessiné sur la placette (Figure 10). Afin de pouvoir être sur une période de forte activité potentielle des insectes, les captures sont à réaliser entre 10h et 18h.

Le transect correspond au parcours par le collecteur d'insectes de 5 couloirs de 2 m, matérialisés par des piquets temporaires et placés dans la longueur de la première zone de la placette Polliflor (Figure 10). Les captures se déroulent pendant 20 min de capture nettes, soit un arrêt du chronomètre dès qu'un insecte est repéré et qu'il est clairement en train de butiner, puis une reprise du chronomètre dès que le collecteur est de nouveau prêt à capturer.

Pendant l'arrêt du chronomètre, le collecteur procède à la capture des insectes sur la fleur à l'aide du filet à papillon (Figure 9), et transmet ceux-ci au collaborateur – positionné à l'extérieur de la placette – dans un tube tout en mentionnant le nom de la fleur que les insectes étaient en train de butiner. Cette information, ainsi que l'ordre auquel appartient chaque individu et le nombre d'insectes collectés pour chaque ordre présent dans le tube, est reporté sur celui-ci et sur une feuille de relevé. Les insectes sont conservés dans une glacière afin de réduire leur activité pour qu'ils ne s'abiment pas. De retour au laboratoire, ceux-ci seront transférés au congélateur dans l'attente d'être naturalisés.

Si le collecteur atteint la fin du transect avant la fin des 20 minutes nettes, il recommence celui-ci en le remontant à l'envers.

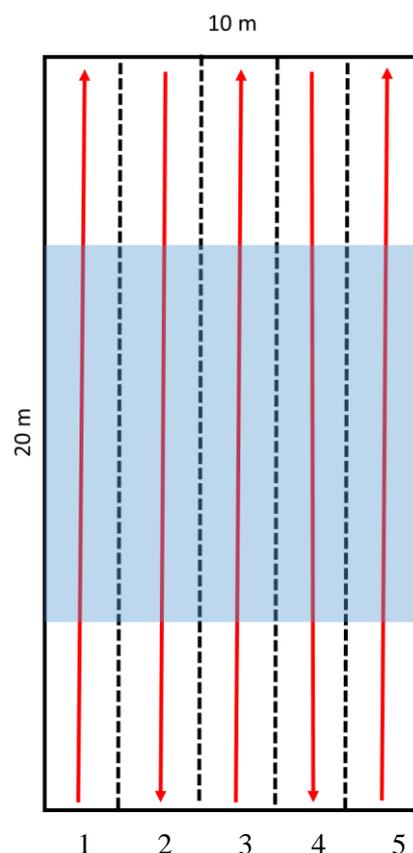


Figure 10 : Schématisation du transect de capture active des pollinisateurs (en rouge), correspondant au parcours de 5 couloirs découpés sur la longueur de la placette Polliflor

3.3.2 Comptage des unités florales

Une unité florale correspond à l'ensemble des fleurs d'un même individu végétal qui peuvent être visitées par un insecte pollinisateur sans qu'il n'ait la nécessité de voler entre chaque (BALDOCK ET AL., 2015). Il s'agit en général des unités secondaires des inflorescences à fleurs multiples (telles qu'une ombelle secondaire pour les *Apiaceae*), ou de l'inflorescence entière dans le cas de fleurs serrées (telle qu'un capitule pour les *Asteraceae* et les *Knautia*). Pour certains taxons, la structure même de la fleur oblige l'insecte à voler pour passer de fleurs en fleurs, même si l'inflorescence est composée de plusieurs fleurs (c'est le cas des *Fabaceae* et des *Veronicaceae*), l'unité florale sera donc la fleur solitaire (*Figure 11*).



Figure 11 : Exemples d'unités florales (de gauche à droite et bas en haut : ombelle secondaire pour les *Apiaceae* ; capitule pour les *Knautia* ; Fleur solitaire pour les *Veronicaceae* et les *Fabaceae*)

A la suite des captures actives de pollinisateurs, il est réalisé le comptage des unités florales sur 7 quadrats de 1m² (Q1) positionnés semi-aléatoirement sur la placette Polliflor. La seule obligation est la représentativité de la surface et des espèces fleuries de la zone prospectée pour les captures dans ce sous-échantillonnage (ce qui peut notamment forcer la position du dernier quadrat sur une zone où une espèce moins abondante a été butinée lors des captures).

Le comptage des unités florales s'effectue pour chaque espèce végétale fleurie étant une angiosperme non graminéoïde (sauf si celle-ci a été butinée par un insecte lors des captures actives) sur les 7 quadrats Q1. Puis, sur un individu représentatif par espèce, le nombre de fleurs (ou fleurons dans le cas de capitules) par unité florale est compté. Ces informations sont à reporter sur la fiche de terrain prévue à cet effet.

Il faut compter uniquement les fleurs ouvertes et les unités florales qui en contiennent. En effet, ce comptage permet d'apprécier « l'ambiance floristique » de la placette pour un pollinisateur, en termes de diversité des traits floraux et des ressources nectarifères et pollinifères disponibles, où seules les fleurs matures sont fonctionnelles.

3.3.3 Mesures des traits floraux

3.3.3.1 Mesures des dimensions des unités florales : aire et hauteur

La troisième étape à réaliser sur le terrain consiste en la mesure et la récolte des espèces végétales présentes.

Sur 8 individus par espèce végétale, pouvant être situés sur l'ensemble de la placette Polliflor, la hauteur totale de la plante ainsi que les dimensions d'une unité florale sont mesurées.

La hauteur se mesure de la base de la plante (à l'insertion des racines dans le sol) jusqu'au sommet de la plus haute unité florale de l'individu, et sur une tige tendue.

L'aire florale \mathcal{A} est obtenue par la mesure du diamètre d de l'unité florale dans le cas d'une unité circulaire, ou de sa longueur L et largeur l dans le cas d'une unité allongée, alors considérée comme rectangulaire (*Figure 12*) L'aire florale correspond donc à l'aire du plan mesuré, il se calcule $\mathcal{A} = \pi \cdot (d/2)^2$ pour l'unité circulaire et $\mathcal{A} = L \cdot l$ pour l'unité rectangulaire).

Les unités florales des individus mesurés peuvent être prélevées pour s'avancer pour le point suivant (prélèvements pour les mesures des profondeurs de tubes à nectar).



Figure 12 : Forme des unités florales pour la mesure de l'aire florale.
à gauche : rectangulaire ; à droite : circulaire

3.3.3.2 Mesure des profondeurs de tubes à nectar



Figure 13 : Dissection d'une fleur pour mettre en évidence les nectaires et la zone d'évasement pour la mesure de profondeur du tube à nectar

La profondeur des tubes à nectar s'effectue au laboratoire sur 10 individus par espèce végétale préalablement récoltés sur le terrain, en général en même temps que la mesure des dimensions des unités florales. Les unités florales d'une même espèce sont conservées dans un même tube dans de l'alcool à 70°.

La mesure est effectuée après dissection d'une fleur pour mettre en évidence la zone d'évasement et la position des nectaires (Figure 13), à l'aide du logiciel de mesure fourni avec la loupe binoculaire, portant une caméra.

La définition du tube à nectar qui a été choisie correspond à la zone interne de la fleur, renfermée par la corolle, inaccessible pour le corps d'un insecte de taille moyenne qui n'a alors pas d'autre choix que d'utiliser sa langue pour atteindre la ressource en nectar de la fleur (considérée comme étant à la base des glandes nectarifères).

Ainsi, la profondeur du tube à nectar se mesure de la base des glandes nectarifères (ou nectaires) jusqu'à la zone d'évasement supérieure de la corolle (Figure 14). Le diamètre maximal de la corolle considéré pour cet évasement est de 4 mm, soit la taille moyenne de la tête d'une abeille mellifère (mesures effectuées sur les individus capturés et naturalisés).

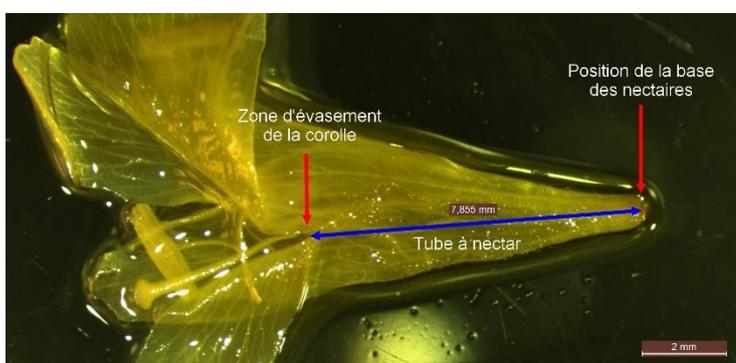


Figure 14 : Illustration de la position du tube à nectar sur une fleur (ici *Knautia arvernensis*)

3.3.4 Captures passive des pollinisateurs

La capture passive des pollinisateurs s'effectue à l'aide de coupelles colorées. L'ensemble des dispositifs d'une session de terrain doit être mis en place en même temps, le même jour, et prélevé de même, afin de limiter les effets liés à la météo entre les différentes placettes des différentes unités de végétation.

Au niveau d'une placette, trois dispositifs sont positionnés sur le couloir central utilisé pour le transect des captures actives de pollinisateurs : un dispositif sur chaque extrémité de ce couloir et un dispositif au centre (*cercles tricolores en pointillés*, Figure 8).

Chaque dispositif est composé de trois coupelles respectivement bleue, jaune et blanche, colorées à l'aide de peintures spéciales réfléchissant également dans les UV. Ces coupelles sont fixées par un piquet central, formant un triangle isocèle dont les couleurs sont positionnées aléatoirement (Figure 15). La coupelle « centrale », au sommet de ce triangle, est orientée vers le sud. L'ensemble des coupelles doit être situé à la même hauteur que la végétation dominante.

Une fois les trois dispositifs en place, chaque coupelle est remplie d'environ 400 ml d'eau savonneuse. L'heure de pose est relevée afin de revenir exactement 48h après pour les prélèvements.

Lors du prélèvement, tous les individus capturés d'une même coupelle sont transférés vers un pilulier à l'aide d'une pince souple, d'un pinceau et d'une petite pipette, et conservé dans l'alcool à 70°.



Figure 15 : Dispositif de coupelles colorées sur la placette C3. La coupelle bleue, au centre, est orientée vers le sud.

3.4 METHODES STATISTIQUES, LOGICIELS ET PACKAGES UTILISES

Visualisation de cartes et traitements SIG

Le traitement des données cartographiques, comme les données paysagères, est réalisé à l'aide du logiciel QGIS, un logiciel de Systèmes d'Information Géographique (SIG*).

La création des buffers autour des centroïdes des placettes utilise l'outil de géotraitement « Tampon », avec pour rayon 1 km. L'ajout des attributs de géométrie aux buffers passe par l'outil de géométrie de même nom.

L'extraction des données de la BD TOPO® et du RPG® de l'IGN s'effectue par l'intersection entre la couche source de l'IGN et la couche de superposition des buffers. Les aires des différents polygones extraits sont ajoutées grâce à l'ajout des attributs de géométrie sur la couche d'extraction.

Enfin, l'obtention des statistiques par catégories est réalisée grâce à la fonction *area2* de la boîte à outils analyse vectorielle dans l'onglet des traitements. Les champs ciblés sont « count » et « sum » correspondant respectivement au nombre de polygones par catégorie paysagères et à la surface totale de ces catégories par placette.

La table attributaire est ensuite travaillée sur le logiciel Excel pour l'ajout de pourcentages d'occupation du sol et pour renommer les champs avant de l'exporter en CSV.

Analyses statistiques

Les analyses statistiques s'effectuent à l'aide du langage de programmation R, sur le terminal RStudio (RSTUDIO TEAM, 2020).

La visualisation des graphiques est effectuée à l'aide des fonctions de base (R CORE TEAM, 2012) ainsi qu'avec les fonctions du package ggplot (WICKHAM, 2016).

Les graphiques de réseau d'interaction et sa matrice de corrélation sont effectués respectivement à l'aide des fonctions plotweb et visweb du package bipartite (DORMANN ET AL., 2008).

Les analyses multivariées (ACP*, AFC*, ACM*...) réalisées dans le cadre de ce stage ont été effectuées à l'aide du package FactoMineR (LE ET AL., 2008). La classification ascendante hiérarchique utilise la fonction HCPC de ce même package, avec comme méthode de sélection du nombre de groupes de la classification la découpe correspondant au plus grand saut d'inertie (mention du paramètre `nb.clust = -1`).

Les tests statistiques réalisés dépendent du type de variable testé. La majeure partie des cas correspondent à des tests d'indépendance entre variables. Ainsi, l'hypothèse H0 correspond à l'indépendance des deux variables, tandis que l'hypothèse H1 correspond à l'existence d'une liaison entre ces deux variables.

Au cours de ce stage, les tests réalisés sont :

a) [Test de variables quantitatives pour la comparaison d'un ou deux échantillons \(tests paramétriques\) :](#)

Les critères de sélection des tests mènent à l'utilisation d'un test t de Welch (soit le type de test t de Student pour les échantillons indépendants). Ces critères sont des effectifs $N > 30$, l'indépendance et la distribution normale des échantillons.

Ce test se réalise à l'aide de la fonction `t.test` avec mention du paramètre `paired = F` pour un test t de Welch (par défaut, la mention du paramètre `paired = T` réalise un test de Student, soit pour les échantillons appariés). Cette fonction fait partie du package `stats` inclus dans les packages de base (R CORE TEAM, 2012).

La différence entre ces deux tests réside dans l'hypothèse que les variances sont égales pour le test de Student, alors que cette hypothèse n'est pas réalisée pour le test t de Welch. Par ailleurs, le test t de Welch sera similaire à un test de Student.

b) Test de variables quantitatives pour la comparaison de plus de deux échantillons (tests paramétriques) :

Pour la comparaison de plus de deux échantillons de variables quantitatives, indépendantes ou appariées, d'effectifs $N > 30$ et de variances homogènes, la forme de la relation peut être testé à l'aide d'une ANOVA*. Elle est réalisé à l'aide de la fonction `Anova` du package `car` (FOX, WEISBERG, 2019). Pour la visualisation du degré de liaison, une corrélation de Bravais-Pearson est réalisé à l'aide de `cor.test` et la mention du paramètre `method="pearson"` du package `stats` (R CORE TEAM, 2012).

La vérification des hypothèses d'indépendance des résidus, de normalité et d'homoscédasticité, pour $\alpha = 5\%$, est réalisée par visualisation graphique des résidus du modèle linéaire, avec la réalisation supplémentaire d'un test de normalité des individus de Shapiro-Wilk (fonction `shapiro.test`) et d'un test d'homogénéité des variances de Bartlett (fonction `bartlett.test`) du package `stats` (R CORE TEAM, 2012). De plus, un attention doit être portée à la bonne vérification de l'absence de valeur aberrante significative avant la réalisation du test.

c) Test de variables qualitatives pour l'étude des relations entre une variable et un ou plusieurs prédicteurs (tests non paramétriques) :

Le test des liaisons, ou de comparaisons, entre deux variables quantitatives nominales s'effectue à l'aide d'un test de χ^2 de Pearson. Il est effectué à l'aide de la fonction `chisq.test` du package `stats` sur une table de contingence des 2 variables réalisées à l'aide de la fonction `table` du package `base` de R (R CORE TEAM, 2012).

Le test du χ^2 , ou χ^2 , est accompagné du calcul du coefficient de Cramer, ou V de Cramer, qui permet de normer la valeur du χ^2 entre 0 et 1, permettant d'obtenir un indice stable et une indépendance entre la taille de l'échantillon et la valeur de l'indice. L'interprétation est la même que pour la valeur du χ^2 : plus l'indice est proche de zéro, et plus il y a d'indépendance entre les deux variables étudiées, et le V de Cramer vaut 1 en cas de complète dépendance. Le coefficient de Cramer est calculé à partir de la fonction `cramer.v` du package `questionr` (BARNIER ET AL., 2020).

Aussi, les résidus ajustés du χ^2 sont calculés à l'aide de la fonction `chisq.residuals` du package `questionr` (BARNIER ET AL., 2020) sous forme d'une table. Ces résultats nous permettent de déterminer dans quels cas l'écart à l'indépendance est le plus significatif. Les attributs pour lesquels l'écart à l'indépendance est significatif correspondent aux valeurs des résidus dont la valeur absolue est supérieure à 2 (AGRESTI, 2007). En effet, l'hypothèse nulle est que les deux variables sont indépendantes et les résidus ont une distribution normale, tester l'hypothèse H_0 sur les résidus pour un $\alpha = 0.05$ revient à compter le nombre d'écarts entre la déviation standard (ajustée à zéro) et 1,96 (arrondi à 2 par convention). Ce nombre d'écart correspond au nombre d'attributs d'une première variable dont la dépendance est « significative » pour une autre variable donnée (AGRESTI, 2007). Pour la suite, l'écart des résidus à la déviation standard sera noté δ .

La réalisation du test de χ^2 nécessite, pour son bon fonctionnement, de relativement grandes tables de données (car la valeur du χ^2 est dépendante de la taille de l'échantillon). La condition admise pour un test suffisamment performant est que la table de contingence construite entre les deux variables d'intérêt possède des fréquences qui soient en majorité (>75%) supérieures à 5 (AGRESTI, 2007).

Préparation des critères descriptifs de traits floraux et performance du test réalisé (test du χ^2)

Les critères « profondeur de tube à nectar » et « aire de l'unité florale » mesurés à partir des échantillons récoltés sur le terrain sont catégorisées en classes d'égale étendue des valeurs, établies à partir des quantiles tous les 12,5%, soit 7 classes. Une classe supplémentaire est établie pour la profondeur du tube à nectar afin de distinguer les espèces ne possédant pas de nectaires.

Le test d'indépendance du χ^2 est réalisé pour un croisement entre une variable à 5 groupes (des clusters des interactions établis à l'aide d'une CAH, cf. partie 4.2.2.3) et une seconde de longueur différente selon le nombre d'attributs du critère sélectionnée. Aussi, 39 plantes sont en interaction avec au moins un pollinisateur dans le jeu de données collecté. Ainsi le nombre de classes idéales par critère doit se situer autour de $\{39 \text{ individus}\} / \{5 \text{ groupes}\} / \{5 \text{ individus}\} = 1,56$ attributs par critères. Ainsi, le test sera performant pour les critères ayant 2 à 3 modalités, et il perdra en efficacité au-delà (p-values peu significatives a priori).

4 RESULTATS

4.1 SELECTION DES PLACETTES POLLIFLOR

Le recouvrement végétal fleuri du milieu a été approché par une étude de la composition floristique et de la phénologie des plantes dont les fleurs sont d'intérêt pour les pollinisateurs, sur la base des relevés de végétations réalisés sur les 42 placettes en prairies et pelouses de la Chaîne des Puys lors de la session de terrain 2019. Ces plantes d'intérêt sélectionnées correspondent aux angiospermes hors graminoides.

En considérant ces données, l'objectif est d'identifier les placettes avec un maximum d'espèces de plantes d'intérêt pour les pollinisateurs, en cherchant 3 unités de végétation x 3 répétitions soit 9 placettes. La richesse floristique des placettes a été mesurée, avec une attention à la diversité en familles botaniques, qui est utilisé comme proxy de la diversité des traits floraux. La flore d'un réplica, comme celle d'une UV, a été établie à partir de l'ensemble des relevés réalisés en 2019.

Sélection des placettes :

La richesse spécifique de la flore des placettes SurPas est très variable d'une UV à l'autre (étendue de 20 à 69 espèces, moyenne à 54 espèces et écart-type de 14 espèces) (Figure 16).

A partir des données phénologiques renseignées dans une base de données des traits floraux, le nombre d'espèces potentiellement fleuries a été calculé pour les mois de mai à août sur les UV (Figure 17), pour l'ensemble de la flore relevé en 2019, avec une distinction particulière des plantes d'intérêt pour les pollinisateurs (angiospermes hors graminoides).

Une première sélection conduit à rejeter les unités de végétation ayant les plus faibles richesses spécifiques totales et fleuries (soit les unités PUY_M, PUY_F, PUY_J et PUY_I) (Figure 17).

L'abandon des unités de végétation PUY_J et PUY_M est d'autant plus justifiée qu'elles possèdent une flore traduisant des conditions particulières, extrêmes vis-à-vis de la gamme de variation de la végétation sur la Chaîne des Puys (cf. 2.2 Gamme échantillonnée via les relevés SurPas 2019).

L'association N se démarque des autres unités par sa forte floraison potentielle et sa forte richesse spécifique. Cependant, elle n'a pas été sélectionnée car il s'agit de la seule unité de végétation qui a été décrite via des placettes entourées d'espaces forestiers proches (< 50m).

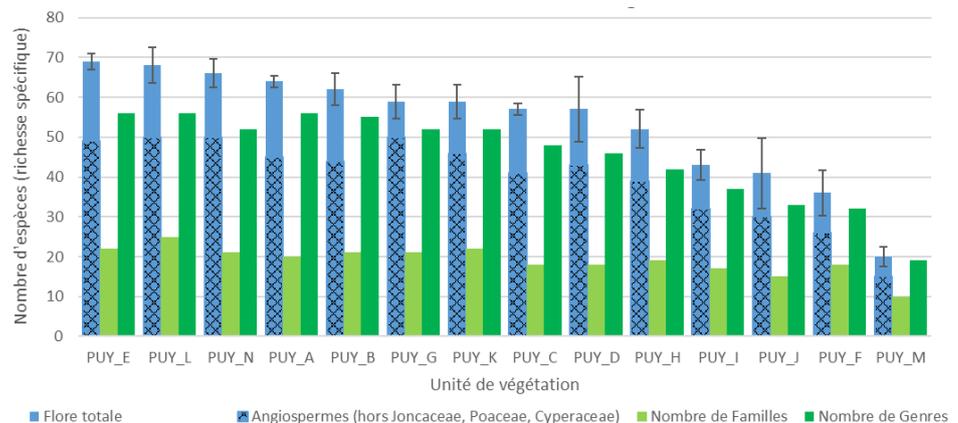


Figure 16 : Richesse spécifique des unités de végétation et leur nombre de familles et de genres

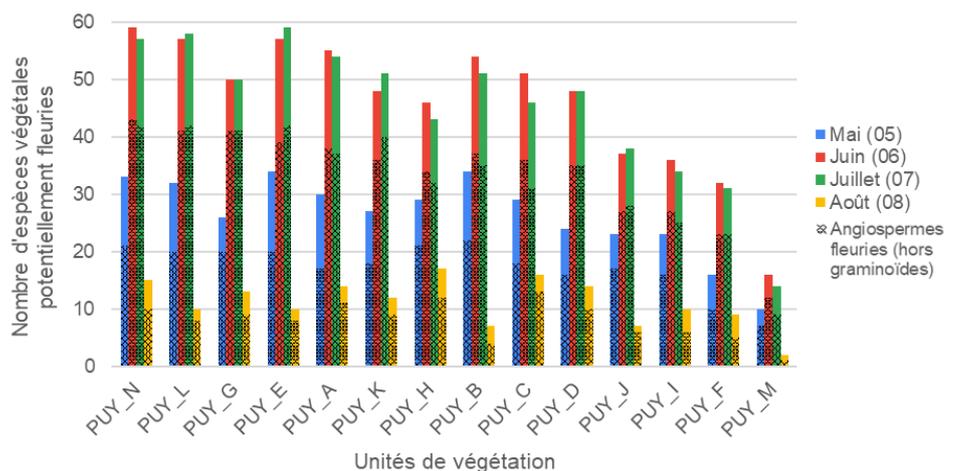


Figure 17 : Nombre d'espèces végétales potentiellement fleuries par mois et par unité de végétation

Les contraintes d'accessibilité de la placette et de disponibilité des parcelles agricoles auprès des agriculteurs sont également à prendre en compte. Ce critère de faisabilité a conduit à restreindre la pré-sélection aux unités de végétation : PUY_A, PUY_C, PUY_E, PUY_G, PUY_H, PUY_K et PUY_L.

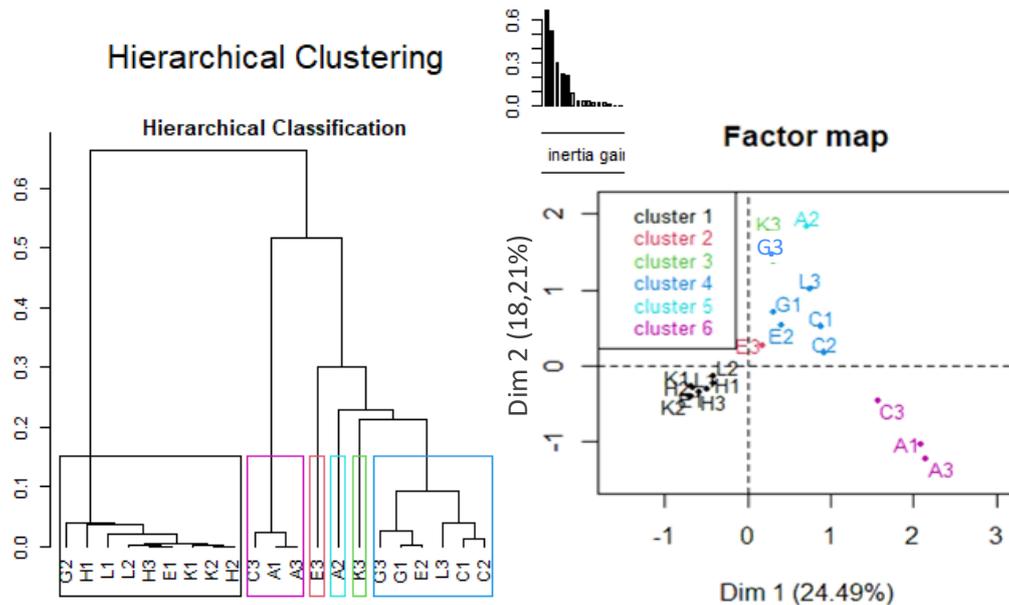


Figure 18 : Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) à partir d'une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) sur les données floristiques par placettes (données SurPas). Mise en évidence de 3 groupes principaux : cluster 1 en noir, cluster 4 en bleu et cluster 6 en magenta.

Pour préciser la sélection en recherchant les placettes les plus similaires au sein d'une même UV et les plus dissimilaires entre UV, une AFC* est réalisée, suivi d'une classification ascendante hiérarchique (CAH*) sur les jeux de données floristiques 2019, en considérant uniquement les angiospermes hors graminoides. Nous obtenons 6 groupes (Figure 18) qui permettent de mettre en évidence trois ensembles de placettes (les clusters 1, en noir, 4, en bleu et 6, en magenta). Les placettes E3, A2 et K3 ne se rapprochent d'aucune autre placette sur le plan de la composition spécifique en espèces « fleuries » (Figure 18), elles ne peuvent pas constituer de bons réplicas pour une unité de végétation et ont donc été écartées de la sélection.

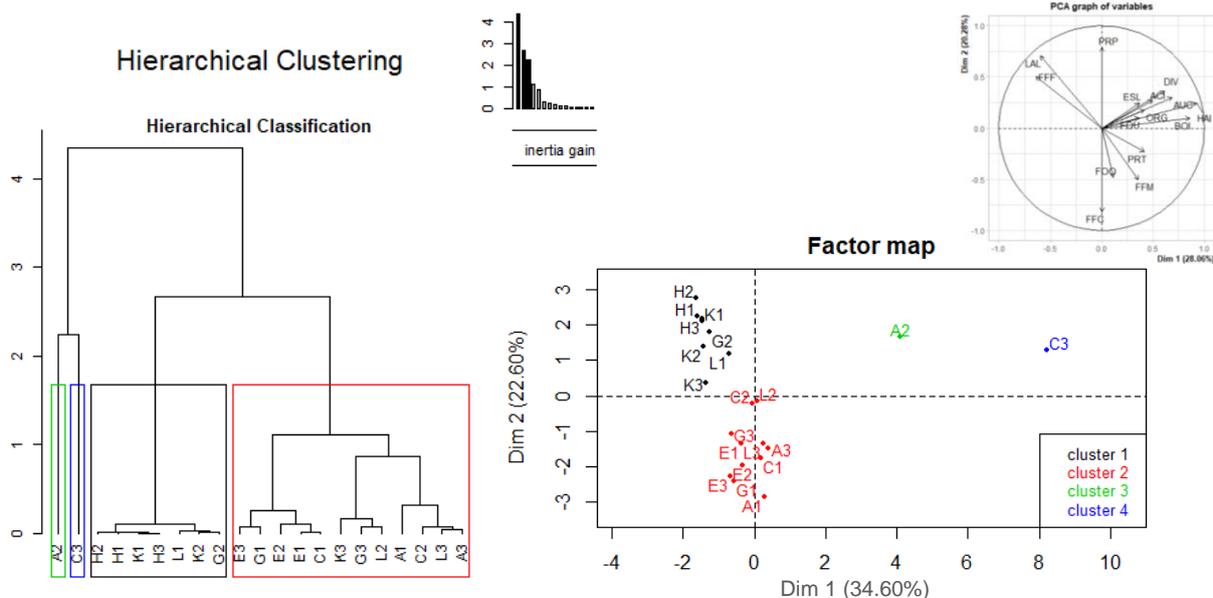


Figure 19 : Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) à partir d'une Analyse en Correspondances Principales (ACP) sur les données paysagères établies sur un rayon de 1 km autour des placettes (données BD TOPO et RPG de l'IGN)

Abréviations des composantes paysagères sur le cercle des corrélations : ACI, Autres cultures industrielles ; AUC, Autres céréales ; BOI, Bois ; DIV, Divers ; ; ESL, Estives et landes ; FF, Forêts fermées -C de conifères, -F de feuillus, -M mixtes ; FOO, Forêts ouvertes ; FOU, Fourrage ; HAI, Haies ; LAL, Landes Ligneuses ; ORG, Orges ; PR, Prairies -P permanentes, -T temporaires.

La réalisation d'une ACP sur les données paysagères de chaque relevé puis d'une CAH met en évidence deux grands groupes de placettes sur le plan paysager et deux représentants singuliers au sein de la pré-sélection (*Figure 19*). Sur un rayon de 1km autour des centroides des placettes, le cluster 1 (en noir) est caractérisé par un paysage de landes ligneuses, de forêts fermées de feuillus et de prairies permanentes. Tandis que le second groupe (points et libellés en rouge) est caractérisé par des forêts fermées de conifères et quelques forêts ouvertes, et très peu de prairies permanentes (fortement anti-corrélé à ce groupe). Le descriptif des clusters par les variables quantitatives injectées dans la CAH montre également que A2 (en vert) et C3 (en bleu) se distinguent des autres par la présence de haies, avec un paysage plus boisé et d'estives et landes pour A2 contre plus de cultures diverses et de fourragères pour C3.

Les similitudes paysagères (*Figure 19*) nous confortent dans les regroupements effectués à partir de la composition floristique (*Figure 18*). Par ailleurs, la placette A2 est vraiment particulière par rapport aux autres relevés tant sur le plan floristique que paysager, elle peut être écartée de la présélection.

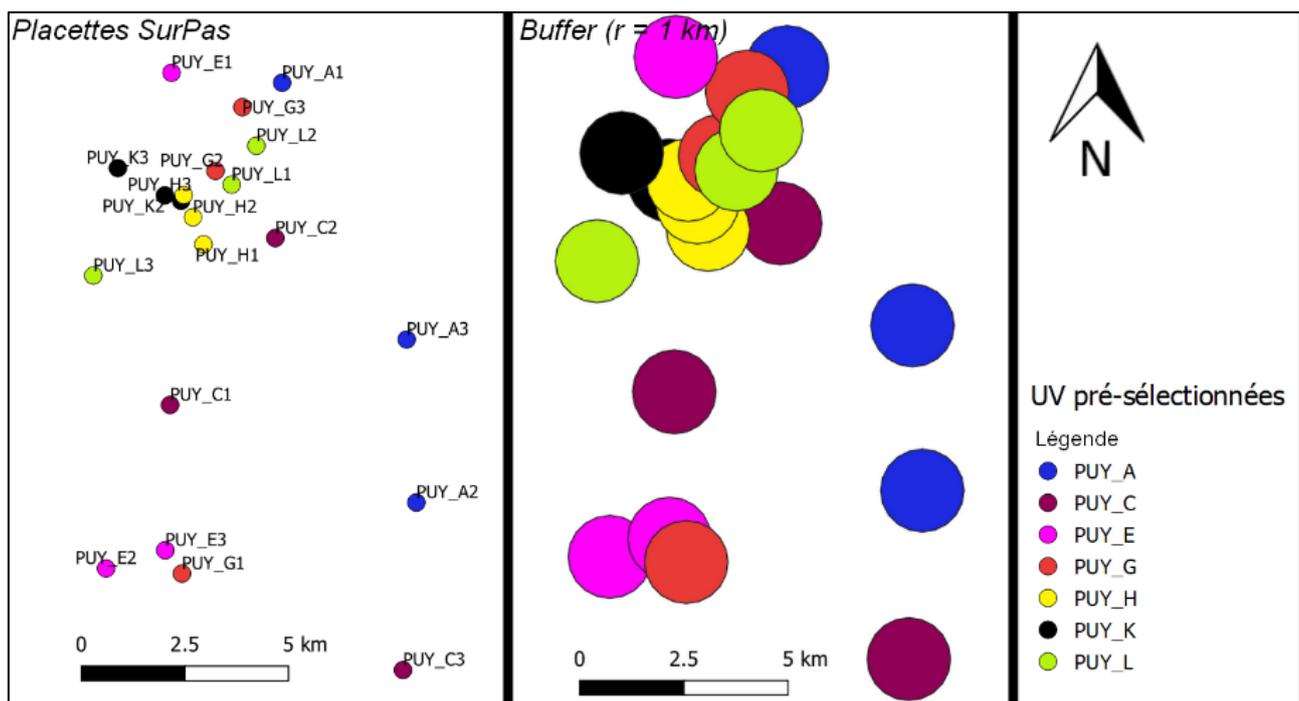


Figure 20 : Position géographique des placettes présélectionnées et visualisation de leur rayon de 1 km

L'ensemble H1, H2, H3, K1, K2, L1, G2 (*cluster 1 noir de la Figure 19*) fait également parti du même groupe d'après les données floristiques (*Figure 18*), on peut donc les considérer comme des répliques d'une même unité de végétation. Elles sont également très similaires sur le plan paysager (*Figure 19*) et également très proches spatialement (*Figure 20*). Afin de minimiser l'autocorrélation spatiale, et après vérification sur le terrain, nous avons retenu les placettes **H1, H2 et K1** (une UV pâturée). Le problème d'autocorrélation spatiale reste potentiellement présent et il faudra en tenir compte dans l'analyse des données. Pour la suite, cette unité de végétation Polliflor sera nommée « **UV des Dômes** ».

L'ensemble des placettes G1, G3, E2, L3, C1, C2 (*cluster 4 bleu de la Figure 18*) constitue un même ensemble sur le plan floristique (*Figure 18*). Ces placettes sont également très similaires sur le plan paysager (*Figure 19*), et sont bien disjointes sur le plan spatial (zones de buffer disjointes), sauf entre G1 et E2 qui présentent une légère autocorrélation spatiale (*Figure 20*). Afin d'avoir un même type de gestion agropastoral sur l'unité sélectionnée, les placettes situées dans des parcelles agricoles fauchées (C1 et C2) ne sont pas retenues pour cette unité de végétation, toutes les autres étant situées dans des prairies pâturées. Il reste donc, après vérification sur le terrain, les placettes **G3, E2 et L3** comme seconde unité de végétation Polliflor, nommée « **UV des Puits** » (UV pâturé).

Le dernier ensemble sélectionné concerne une végétation avec une gestion en fauche. L'ensemble floristique C3, A1 et A3 (*cluster 6 magenta de la Figure 18*) forme un ensemble avec une bonne similarité floristique (*Figure 18*), avec des positions géographiques distinctes (*Figure 20*) mais avec néanmoins le problème de la position de A1 qui est autocorrélée avec G3. Aussi, C3 se trouve être le plus particulier en terme paysages (*Figure 18*). Les deux placettes C1 et C2, étant des prairies de fauche également, sont candidates pour rejoindre ce dernier groupe. C2 étant proche de H1, la placette C1 est préférée. Afin de limiter l'autocorrélation spatiale, et au regard de la disponibilité de ces dernières placettes pour les expérimentations, la dernière unité de végétation Polliflor sera étudiée avec les trois placettes sélectionnées **A3, C1 et C3**, nommée « **UV Fauchée** ».

La prise en compte des données sur l'usage des terres agricoles montre qu'aucune placette présélectionnée n'est à proximité de cultures mellifères.

La position géographique des placettes sélectionnées pour étudier les relations des ressources florales par rapport aux pollinisateurs sur les trois types d'UV est présenté dans la Figure 21.

Cette sélection permet de refléter trois situations environnementales

différentes en termes de paysages, de type de gestion agricole et aussi d'altitude (*Figure 22*). L'altitude moyenne « des Dômes » est de 1176 m, contre 1042 m pour « l'UV des Puits » et 913 m pour « l'UV Fauchée ».

Cette sélection pourra potentiellement aboutir à l'obtention de cortèges différents en lien avec l'altitude entre ces différentes unités homogènes, qui pourra être vérifié dans le cadre du projet Polliflor après l'obtention de l'identification de l'ensemble des insectes pollinisateurs à l'espèce.

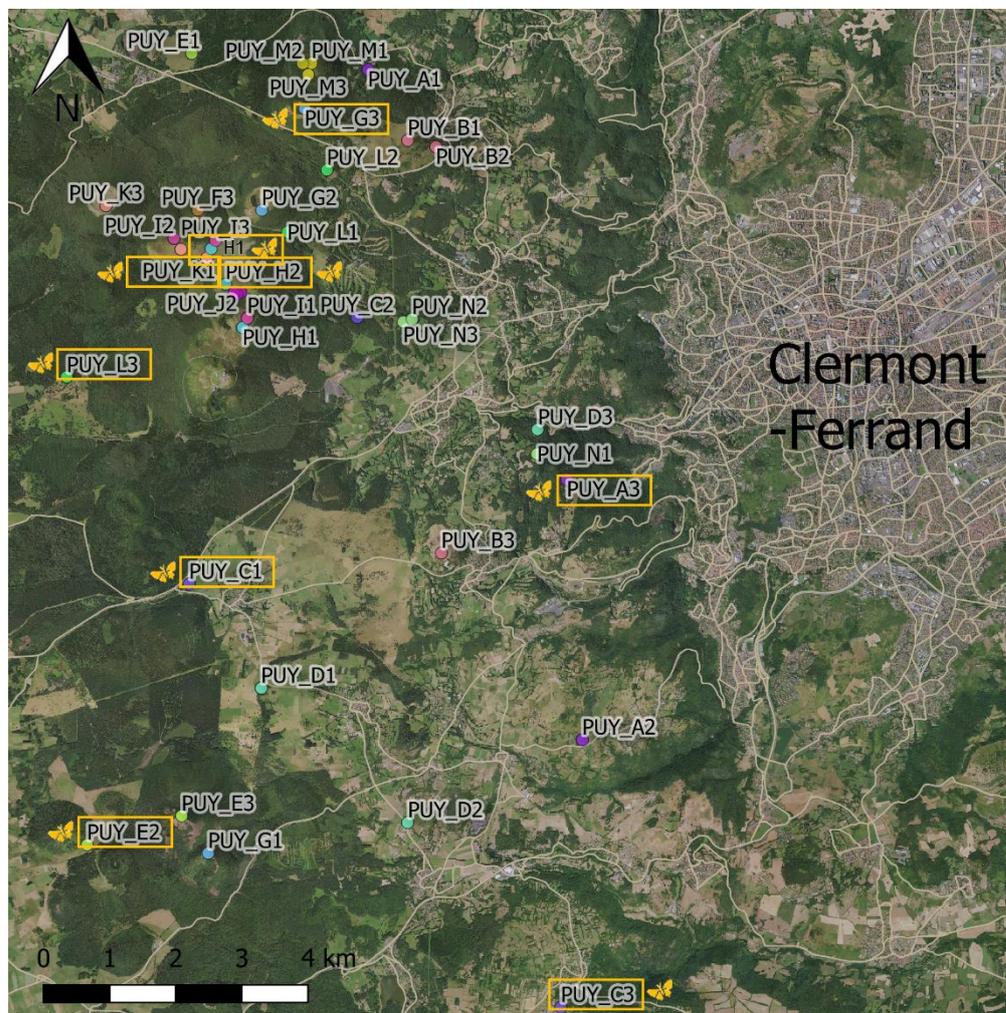


Figure 21 : Localisation des placettes sélectionnées pour le projet Polliflor dans la Chaîne des Puits en 2020

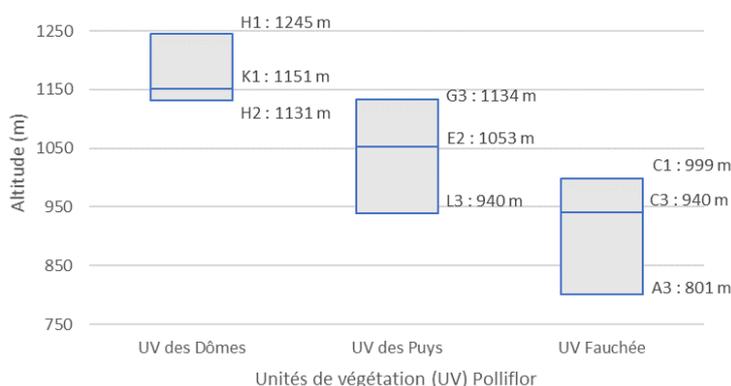


Figure 22 : Répartition des unités de végétations et de leurs répliques selon un gradient altitudinal

4.2 CARACTERISATION DES UNITES DE VEGETATION PAR DES CRITERES FONCTIONNELS AGRONOMIQUES ET ECOLOGIQUES (RESSOURCES FLORALES, HABITATS D'ESPECES, POLLINISATEURS)

Les critères fonctionnels principaux évalués ici sont relatifs à la végétation et aux pollinisateurs, avec un regard porté sur le type de gestion (fauche ou pâture). Il s'agit de la description des espèces fleuries présentes, de tests entre les habitats d'espèces en fonctions du type de gestion des prairies et des interactions entre la flore et les insectes.

Pour les critères fonctionnels liés à la pollinisation, l'objectif premier est de pouvoir évaluer la présence/absence et la diversité des insectes pollinisateurs selon des critères floristiques ou de type de gestion afin d'améliorer les connaissances liées à ces critères, à l'aide du jeu de données de relevés de terrain.

Enfin, si certains liens sont jugés intéressants pour caractériser les composants fonctionnels, ils pourront faire l'objet d'une proposition de critères potentiels pour l'évaluation de l'état de conservation. L'objectif est donc également de réaliser une première phase de test afin d'évaluer la performance scientifique de ces critères pour évaluer leur qualité d'indicateur (Tableau 2).

4.2.1 Description de l'abondance des fleurs présentes dans les 3 unités de végétation sélectionnées

Espèces fleuries présentes (Angiospermes hors graminoides, i.e. hors *Juncaceae*, *Poaceae* et *Cyperaceae*)

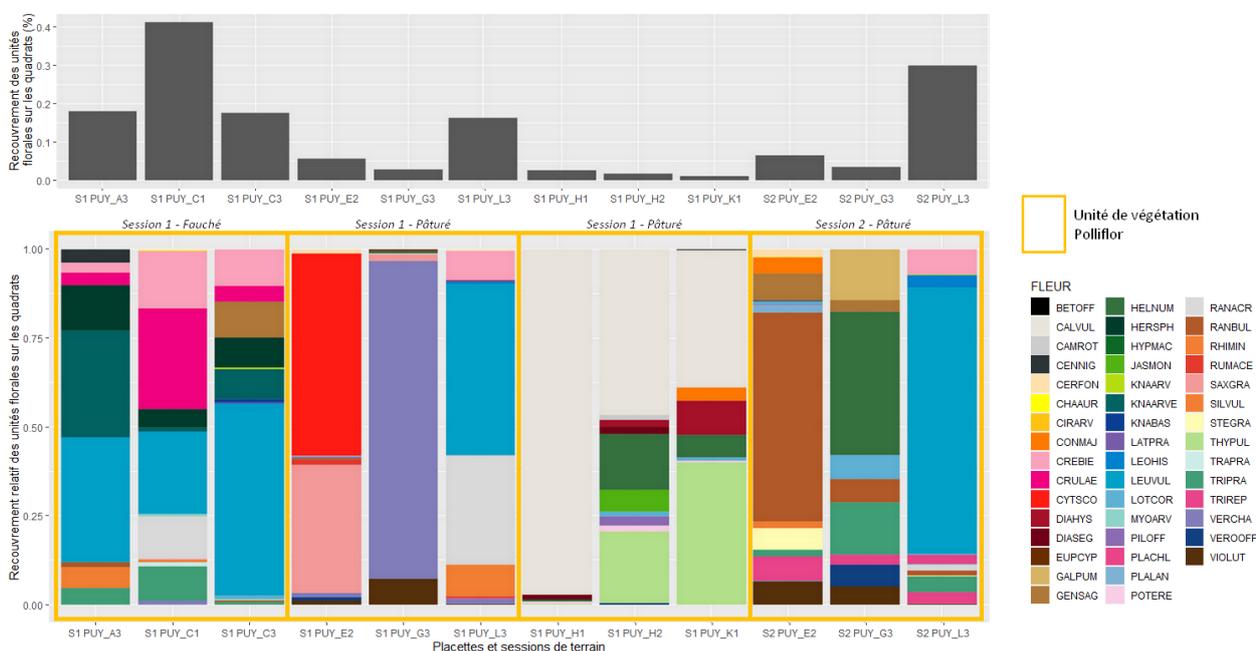


Figure 23 : Recouvrements des unités florales sur les quadrats selon les placettes et les unités de végétation Polliflor, avec distinction de la deuxième session de terrain réalisée sur une unité de végétation pâturée.

Les placettes les plus fleuries sont PUY_C1, PUY_L3 (notamment lors de la seconde session), PUY_A3 et PUY_C3 dont l'aire cumulée des unités florales recouvre entre 18% et 41% de la placette (Figure 23, haut). Les prairies « UV Fauchée » sont les plus fleuries en termes de recouvrement des unités florales face aux prairies pâturées sur lesquelles ont été réalisées les captures.

L'unité « UV Fauchée » se rattache à l'association *Knautia arvernensis-Arrhenatheretum elatioris*, sous-association *malvetosum moschatae* pour PUY_A3 et *typicum* pour PUY_C1 et PUY_C3. Eponyme de cette association, *Knautia arvernensis* y est en proportion importante, au côté de *Heracleum sphondylium* (THEBAUD ET AL., 2014), mais la surface de ces placettes est dominée par les floraisons de la marguerite

Leucanthemum vulgare ou la croisette *Cruciata laevipes*, or elles ne font pas partie des groupements caractéristiques de l'association (Figure 23, bas).

Les moins fleuries sont celles de l'unité de végétation Polliflor « UV des Dômes », dominée en végétation par *Calluna vulgaris*, la callune (en début de floraison), et *Vaccinium myrtillus*, la myrtille (en fruit lors des captures). Les espèces majoritaires en termes de floraison sont la callune et le thym *Thymus pulegioides* et ne recouvrent que 1% à 2% de la surface de la placette (Figure 23). Les floraisons similaires entre ces différents réplicas nous confortent bien dans la sélection des unités de végétation Polliflor. Seule PUY_H1 est plus nettement dominée par la callune, mais elle conserve le même cortège des plantes fleuries que sur les autres réplicas. Cette différence s'explique par une floraison observée de *Calluna vulgaris* plus avancée que sur les autres réplicas, expliquant également pourquoi l'aire florale cumulée sur PUY_H1 est deux fois plus importante que sur PUY_H2 et PUY_K1.

Enfin, l'unité la plus contrastée en termes de floraison est « l'UV des Puys » formée par PUY_E2 (*Ranunculo-Brachypodietum typicum*), PUY_G3 (*Diantho-Brachypodietum leucanthemetosum*), et PUY_L3 (*Ranunculo-Brachypodietum trifolietosum*), dont la floraison a aussi nettement évolué entre les deux sessions de terrain.

Différences entre les cortèges floristiques des unités en fauche et en pâture (sur la première session)

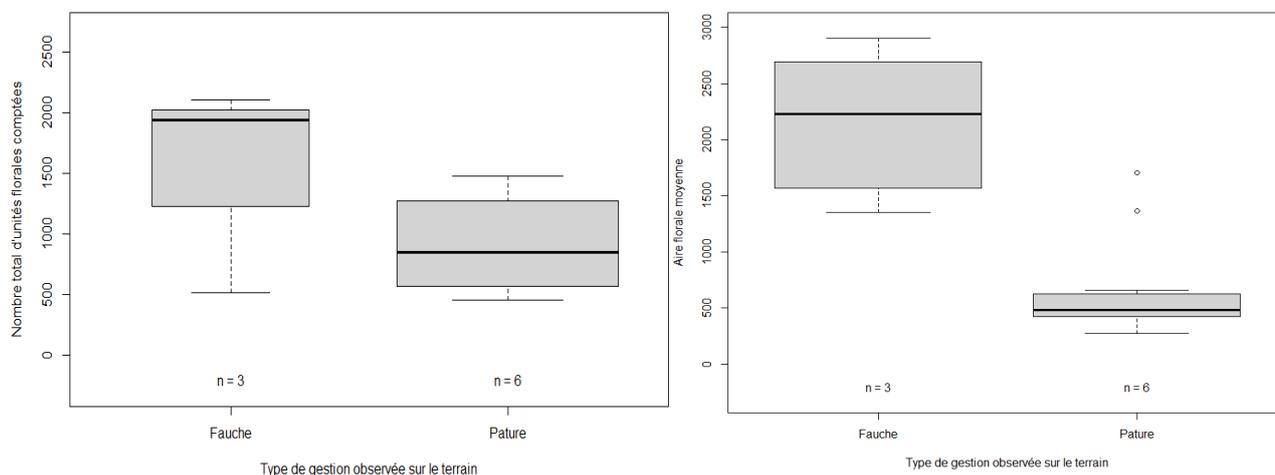


Figure 24 : Diagrammes à moustaches du nombre total d'unités florales comptées (à gauche) et Aires florales moyennes (à droite) par placettes selon les types de gestion observées "Fauche" ou "Pâture"

On constate également que les unités gérées en fauche possèdent des cortèges floristiques avec un plus grand nombre d'unités florales que dans les unités gérées en pâture (Figure 24, à gauche). De plus, ces unités florales des prairies fauchées sont en moyenne plus grandes que celles des prairies pâturées (Figure 24, à droite).

Cependant, selon les premières observations réalisées pour la préparation de la deuxième session de terrain pour l'ensemble des unités de végétations (en août, 3 mois après la S1, et dont la fauchaison de « l'UV Fauchée » a été réalisée immédiatement après le premier terrain), cette tendance risque d'être inversée. En effet, très peu de fleurs ont été observées sur « l'UV Fauchée », tandis que les parcelles pâturées semblent être dans une situation similaire à celle observée en S1.

4.2.2 Les interactions relevées entre la flore et les insectes

4.2.2.1 Ordres d'insectes capturés par placettes (méthode par capture active) et évolution entre les deux sessions de terrain

Pour l'ensemble de la campagne de terrain réalisé sur la Chaîne des Puys entre mai et juillet 2020, 1379 individus d'insectes pollinisateurs ont été capturés pour un total de 1108 coups de filets.

Le maximum de capture, soit 427 individus, a été réalisé sur la placette PUY_A3 (Figure 25), sur une session de 20 minutes de capture active. Il s'agissait d'une placette sur une parcelle agricole en fauche correspondant à la sous-association *Knautio-Arrhenatheretum malvetosum moschatae*. Les deux autres réplicas de « UV Fauchée », appartenant à la sous-association *Knautio-Arrhenatheretum typicum*, sont également les deux autres placettes présentant le plus de captures (Figure 25). Sur cette UV, les observations de terrain montrent que les ordres d'insectes dominants sont les Hyménoptères, avec une prédominance numérique des captures de l'abeille mellifère (*Apis mellifera*) en PUY_A3, et des Diptères, dominés par la famille des Syrphes (*Syrphidae*) (Figure 25).

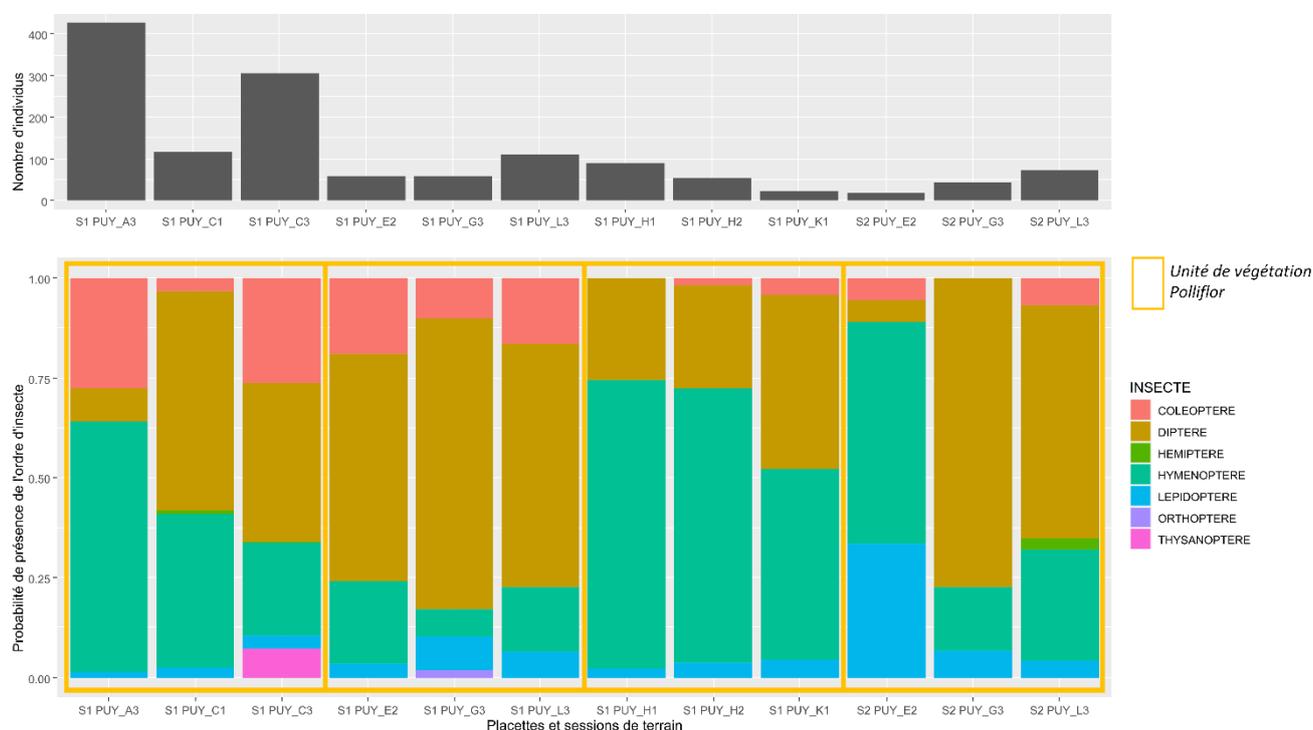


Figure 25 : Nombre d'individus total capturés et probabilité de présence des ordres d'insectes par placettes et par session de terrain

« L'UV des Dômes » est relativement homogène en termes d'équitabilité des ordres d'insectes (Figure 25). L'ordre dominant est celui des Hyménoptères, avec l'observation sur le terrain de la dominance du genre *Bombus* (les Bourdons).

« L'UV des Puys » est dominée par les Diptères et est celle qui présente le plus de captures de Lépidoptères. Vu sur le terrain en PUY_E2, nous pouvons noter la présence remarquable de l'espèce d'intérêt communautaire, et protégée à l'échelle nationale, de l'Azuré du serpolet *Phengaris arion* (Figure 26).



Figure 26 : *Phengaris arion*, l'Azuré du serpolet (Wikipedia Commons)

On observe une corrélation positive ($r^2 = 0.71$) entre le nombre de fleurs moyennes par unités florales par placettes avec le nombre d'individus capturés en interactions avec la flore (Figure 27), suggérant que le nombre d'interactions augmente lorsque les fleurs qui sont présentes sur la placette ont des inflorescences à fleurs multiples, avec un grand nombre de fleurs. Ce grand nombre est obtenu notamment pour les Astéracées, nombreuses en prairie fauché et sur la placette PUY_L3 (Figure 23).

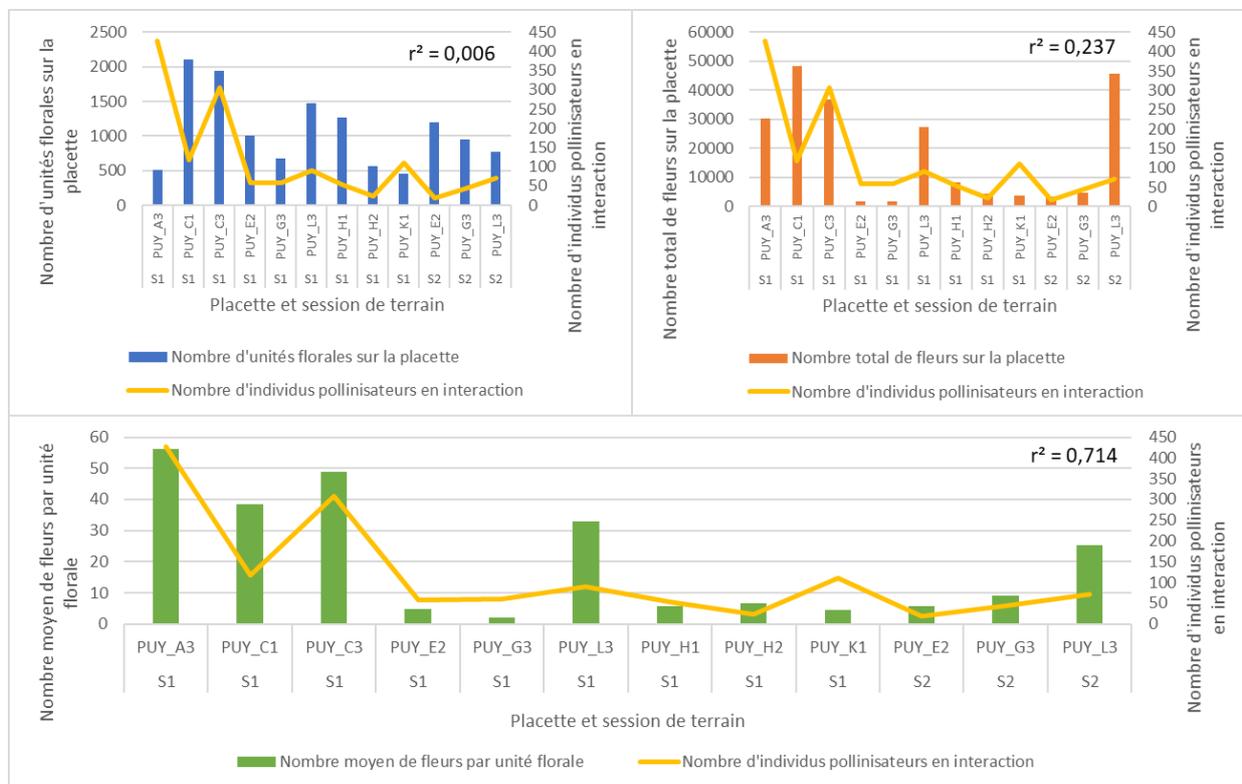


Figure 27 : Relations entre le nombre d'individus pollinisateurs capturés en interaction avec la flore de la placette et le nombre d'unités florales, le nombre de fleurs totales, et le nombre moyen de fleurs par unité florale, par placette

Les résultats obtenus lors de la première et la seconde session de capture effectuée sur l'UV des Puy sont distants de 4 semaines. Pour ces deux sessions, les proportions entre les ordres d'insectes sont relativement similaires. Néanmoins, le contraste entre la session 1 et 2 sont nettes pour la placette PUY_E2, avec un nombre de captures divisé par trois et la prédominance des Hyménoptères et des Lépidoptères lors de la deuxième session.

4.2.2.2 Réseau d'interaction entre les espèces végétales et les insectes pollinisateurs

Un réseau d'interaction est construit sur la base des données d'interaction (butinage) entre les espèces végétales et l'entomofaune capturée lors des deux sessions de captures actives (au filet) (Figure 28).

Ce réseau d'interaction indique les interactions entre les ordres d'insectes pollinisateurs (blocs de droite) et la flore (blocs de gauche). L'épaisseur des liaisons est proportionnelle au nombre d'interactions présentes entre les deux blocs en question. La matrice de corrélation indique en niveau de gris le nombre d'interactions présentes entre l'ordre d'insecte et l'espèce végétale en question, le blanc signifie qu'il n'y a pas d'interactions entre ces deux ensembles (DORMANN ET AL., 2009). Les interactions ont été pondérées par la probabilité d'interaction des ordres d'insectes pour chaque espèce végétale (GOULNIK ET AL., 2020).

Les espèces végétales ayant eu au moins une interaction avec un pollinisateur représentent 84% de l'ensemble des espèces végétales fleuries relevés lors des sessions de terrain 2020. Les ordres d'insectes présentant le plus d'interactions avec la flore sont les Hyménoptères (guêpes, abeilles et bourdons), les Diptères (mouches), les Coléoptères (scarabées) et les Lépidoptères (papillons) (*Figure 28*).

La matrice de corrélation entre les plantes et les insectes (*Figure 28*) indique de nombreuses interactions entre les Diptères et *Helianthemum nummularium*, *Leucanthemum vulgare*, *Cerastium arvense*, *Veronica chamardrys* et *Leontodon hispidus*. Sur *Calluna vulgaris*, *Knautia arverensis* et *Thymus pulegioides* ce sont les Hyménoptères qui étaient très présents. Sur la placette PUY_E2 a été observée une interaction exclusive entre *Cirsium arvense* et le papillon *Zygaena aff. minos* de la famille des *Zygaenidae*. Il est possible que cette observation reflète le comportement d'une espèce spécialiste (DORMANN, 2011).

La détermination des individus d'insectes n'a été réalisée par mes soins par la seule attribution à des grands groupes, pour les individus qui ont été mis en collection (encore non complète). La détermination fine sera réalisée par des spécialistes de chaque groupe dans l'hiver 2020-2021. L'identification à un groupe d'espèce ou à l'espèce n'a pas été réalisée pour l'intégralité des captures, il n'est donc pas possible de conclure sur la spécialisation d'autres espèces au sein de ces relevés.

Pour les ordres ayant peu d'interactions :

Les Hémiptères (punaises) et les Orthoptères (sauterelles et criquets) observés sur le terrain étaient généralement floricoles sans être pollinisateurs : leurs présences sur la fleur n'étaient en général pas liées à des activités de nourrissage sur du nectar ou du pollen. Sur les rares observations réalisées où ils étaient effectivement pollinisateurs, les Hémiptères butinaient le nectar des fleurs, tandis que le seul Orthoptère capturé se nourrissait des anthères de la fleur de *Cerastium arvense* (*Figure 28*).

Les Thysanoptères (thrips) sont de tout petits insectes de l'ordre de quelques millimètres. Généralement présents au fond du tube à nectar, leurs distinctions étaient difficiles lors des captures actives. Les seuls représentants qui ont été capturés étaient présent sur *Crepis biennis*, une fleur jaune, plane, sur laquelle ils étaient bien visibles (*Figure 28*). L'analyse de leurs interactions n'est donc pas possible, car il est très probable que d'autres interactions aient été non observées car invisible lors d'un simple passage à proximité de la fleur.

Cette même remarque est valable pour toutes les petites espèces d'insectes pollinisateurs des autres ordres, dont les interactions avec la flore présente a très probablement été sous-échantillonnée.

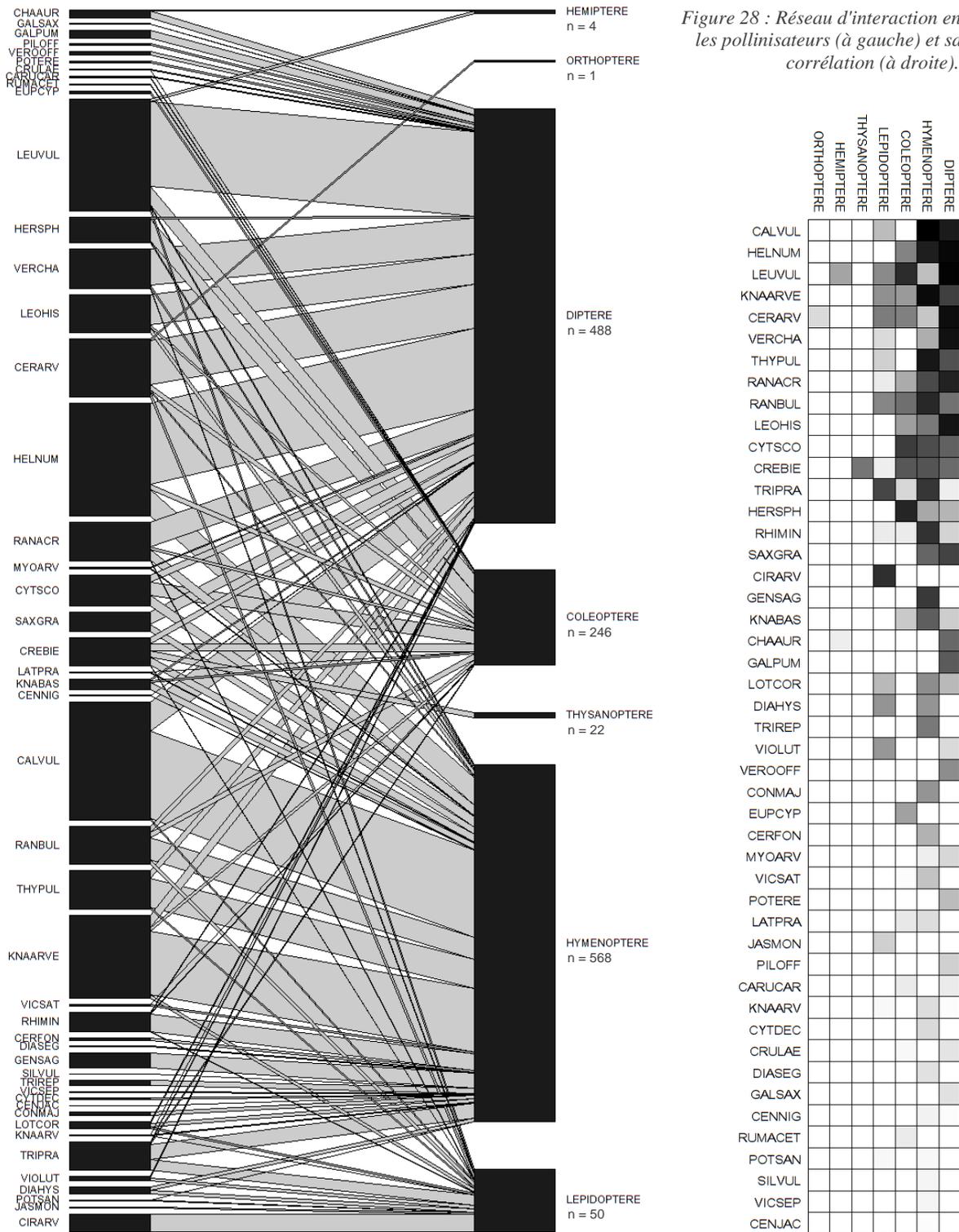


Figure 28 : Réseau d'interaction entre la flore et les pollinisateurs (à gauche) et sa matrice de corrélation (à droite).

Légende : Ce réseau d'interaction indique les interactions entre les ordres d'insectes pollinisateurs (blocs de droite) et la flore (blocs de gauche). L'épaisseur des liaisons est proportionnelle au nombre d'interactions présentes entre les deux blocs en question. La matrice de corrélation indique en niveau de gris le nombre d'interactions présentes entre l'ordre d'insecte et l'espèce végétale en question, le blanc signifie qu'il n'y a pas d'interactions entre ces deux ensembles (DORMANN et al., 2009). Les interactions ont été pondérées par la probabilité d'interaction des ordres d'insectes pour chaque espèce végétale.

Le réseau est construit à l'aide de la fonction plotweb, et sa matrice à l'aide de visweb, du package bipartite.

4.2.2.3 Analyses factorielles des données d'interactions

Les corrélations via le nombre d'interactions entre les ordres d'insectes et la flore peuvent être représentées à l'aide d'une AFC (Figure 30). Une CAH réalisée sur les résultats de cette AFC permet le regroupement des interactions en 5 groupes, ou clusters, différents (Figure 29).

La particularité de l'interaction entre les Thysanoptères et *Crepis biennis* se retrouve (cluster 3, vert), ainsi que les interactions fréquentes pour toutes les espèces végétales avec des Diptères (cluster 1, labels noirs) et les Hyménoptères (cluster 4, labels bleus).

Les Lépidoptères ont présenté la majorité de leurs interactions avec les espèces végétales du cluster 5 (rose), soit *Jasione montana*, *Cirsium arvense*, *Viola lutea*, *Dianthus hyssopifolius*, *Poterium sanguisorba* et *Trifolium pratense*. Les Coléoptères quant à eux ont été capturés en interaction principale avec les espèces végétales du cluster 2 (rouge), composé de *Carum carvi*, *Rumex acetosella*, *Heracleum sphondylium*, *Euphorbia cyparissias*, *Cytisus scoparius* et *Lathyrus pratensis* (Figure 30).

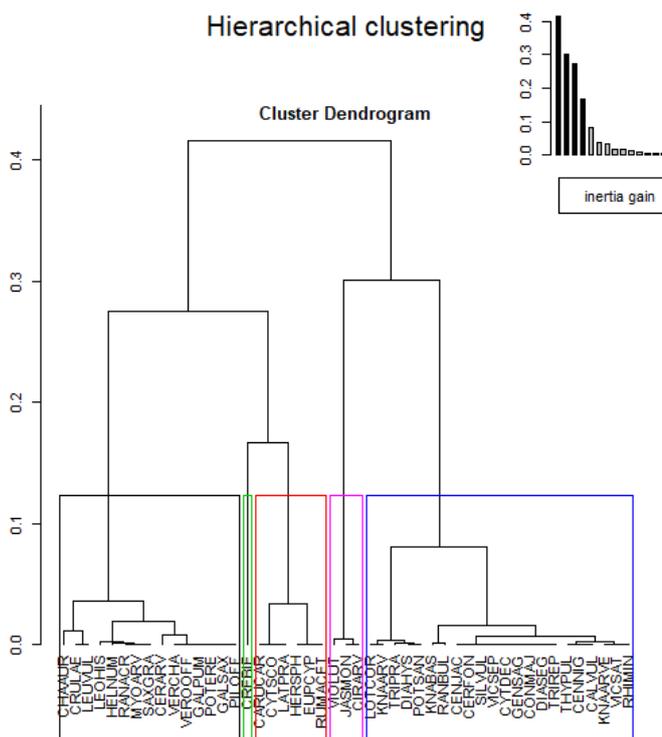


Figure 29 : CAH sur le jeu de donnée d'interactions entre les ordres d'insectes et la flore à partir d'une AFC.

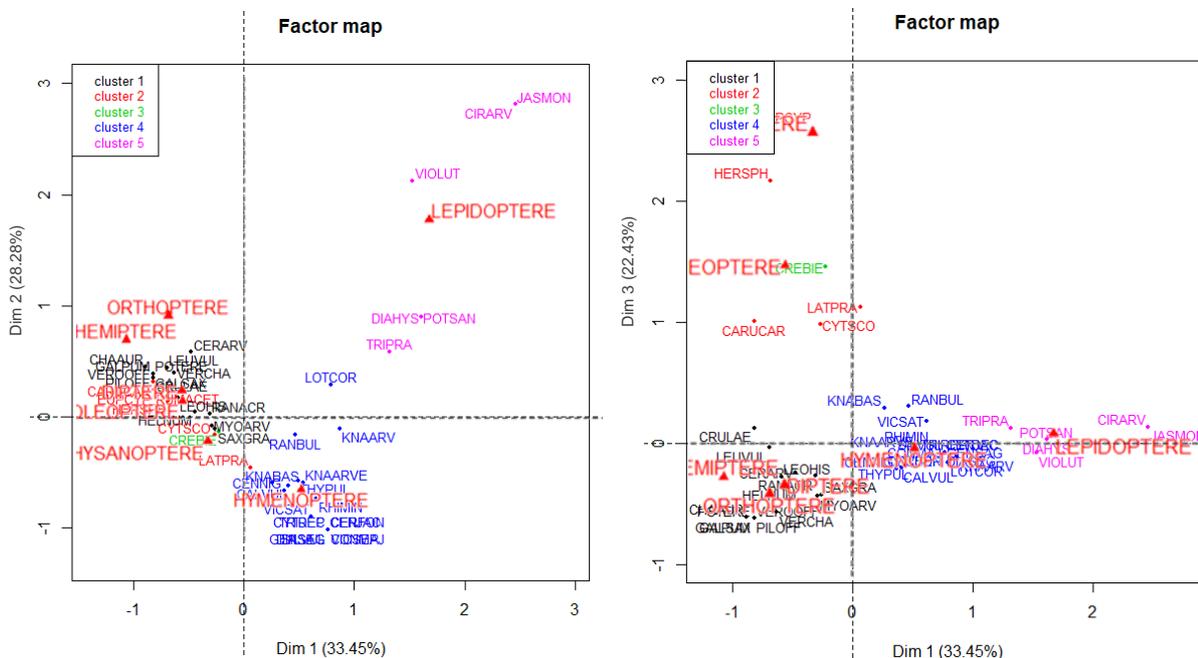


Figure 30 : AFC des interactions entre la flore et les pollinisateurs et coloration des espèces végétales en fonction des groupes réalisées à partir d'une CAH

4.2.2.4 Les interactions plantes-insectes répertoriées ont-elles un lien avec les traits floraux des espèces végétales présentes ?

Nous allons maintenant examiner si les groupes d'interactions entre la flore et les pollinisateurs (Figure 29) établis à partir de la CAH réalisée sur l'AFC peuvent s'expliquer par les critères descriptifs des traits floraux.

Les critères de traits floraux utilisés sont ceux pour lesquels l'information est disponible pour l'intégralité des espèces ayant eu au moins une interaction avec un insecte pollinisateur, soit 39 espèces végétales.

Ces critères extraits de la base de données des traits floraux sont complétés par deux critères mesurés à partir des échantillons récoltés sur le terrain : la profondeur du tube à nectar et de l'aire de l'unité florale.

Tests d'indépendances du χ^2

Le test de d'indépendance des critères des traits floraux avec le clustering réalisé est effectué à l'aide d'un test du χ^2 , et complété par le calcul du coefficient de Cramer et du nombre d'attributs de ce critères qui sont significativement dépendant au regard de la table des résidus ajustés (cf. 3.4 Méthodes statistiques, logiciels et packages utilisés). Le résultat des tests est compilé dans le Tableau 6.

D'après le calcul réalisé en partie 3.4 Méthodes statistiques, logiciels et packages utilisés, le test du χ^2 sera performant pour les critères ayant 2 à 3 modalités, et il perdra en efficacité au-delà. Il convient alors de regarder le coefficient de Cramer et la significativité des attributs via l'écart des résidus à la déviation standard, pour accompagner et préciser ce test.

Tableau 6 : Test de la liaison entre les variables descriptive des traits floraux et les groupes obtenus à partir de la CAH effectuée sur les données de l'AFC des interactions flore-pollinisateurs.

La p-valeur est calculée à partir du test de χ^2 , accompagnée d'un code de significativité de la liaison : 0 < '***' < 0.001 < '**' < 0.01 < '*' < 0.05 < '.' < 0.1 < '' < 1. Les variables significatives selon la p-valeur, leur coefficient de Cramer, ou intéressant selon leurs nombres d'attributs significatifs sont signalés en gras.

Critères descriptifs des traits floraux	Test réalisé		p-valeur		Nombre d'attributs du critère		
	χ^2	Coefficient de Cramer	p-value	Significativité	Total	Significatifs	% attributs significatifs
Type d'unité florale	19,43	0,35	7,29E-01		7	1	14%
Forme de l'unité florale	4,04	0,32	4,01E-01		2	0	0%
Aire florale (classe)	25,39	0,40	3,84E-01		7	1	14%
Floraison, mois de début	20,80	0,37	4,09E-01		6	1	17%
Floraison, mois de fin	24,99	0,40	4,07E-01		7	1	14%
Stratégie de pollinisation	57,15	0,61	1,60E-04	***	7	3	43%
Sexualité de la fleur	25,96	0,41	1,67E-01		6	2	33%
Ordre de maturation	9,28	0,24	9,01E-01		5	0	0%
Inflorescence	59,42	0,62	3,52E-01		15	2	13%
Taille de l'inflorescence	28,50	0,43	9,66E-01		12	1	8%
Couleur principale	21,09	0,37	3,92E-01		6	1	17%

Couleur secondaire	26,53	0,41	1,49E-01		6	1	17%
Couleurs autres	8,98	0,48	6,16E-02	.	2	1	50%
Forme de la fleur	51,37	0,57	1,07E-01		11	2	18%
Disposition du périanthe	0,76	0,14	9,44E-01		2	0	0%
Symétrie de la fleur	2,20	0,24	7,00E-01		2	0	0%
Taille de la fleur	57,23	0,61	9,47E-01		20	4	20%
Prof. du tube à nectar (classe)	30,19	0,44	1,79E-01		7	2	29%
Soudure du calice	12,62	0,28	8,93E-01		6	0	0%
Soudure de la corolle	35,43	0,48	3,47E-03	**	5	2	40%
Soudure de l'androcée	14,11	0,43	7,89E-02	.	3	0	0%
Soudure de la gynécée	4,60	0,34	3,30E-01		2	0	0%
Forme du pétale (limbe)	41,48	0,52	1,48E-02	*	7	1	14%
Forme du pétale (bord)	14,34	0,61	6,30E-03	**	2	1	50%
Forme du pétale (sommet)	31,79	0,45	1,32E-01		7	2	29%
Forme du sépale (limbe)	14,32	0,30	5,75E-01		5	0	0%
Forme du sépale (bord)	9,76	0,35	2,82E-01		3	0	0%
Forme du sépale (sommet)	13,25	0,29	6,55E-01		5	0	0%
Eperon (présence/absence)	8,98	0,48	6,16E-02	.	2	1	50%
Capacité mellifère	16,47	0,38	1,71E-01		4	1	25%
Famille	74,51	0,69	3,97E-01		19	5	26%

Le test du Chi² de l'association entre la diversité de l'entomofaune et les traits floraux est significatif, pour $\alpha = 5\%$, uniquement pour le type de stratégie de pollinisation, le type de soudure de la corolle, et la forme du limbe et du bord du pétale des fleurs.

Au regard du nombre d'attributs significatifs selon δ , la sexualité de la fleur, le type de couleur « autre » et la présence ou absence d'un éperon peuvent être significatifs pour certains groupes.

Le coefficient de Cramer est maximal pour la famille de la plante, puis pour les critères cités précédemment, ce qui nous confirme que la famille botanique est, dans ce jeu de données, un bon proxy du rôle fonctionnel de la flore vis-à-vis de l'entomofaune.

La période de floraison, décrite par le mois de début et de fin de floraison, n'impacte pas significativement l'interaction de ces groupes d'insectes avec les fleurs sur notre jeu de données.

Le manque d'effectif pour la réalisation du test joue en effet certainement un rôle dans le faible nombre de critères de traits floraux retenus. L'analyse qui sera conduite ultérieurement sur les jeux de données de 4 sites Natura 2000 et 2 sessions par site devrait améliorer la puissance statistique de ces tests.

Stratégie de pollinisation des espèces végétales comme critère d'interaction avec les insectes

Les attributs significatifs pour $\alpha = 5\%$ de ce critère sont :

- Stratégie autogame ($\delta = 6.08$), pour le groupe 3 (lié aux Thysanoptères)
- Stratégie anémogame ($\delta = 2.43$), pour le groupe 2 (lié aux Coléoptères)
- Stratégie entomogame-autogame ($\delta = 2.08$), pour le groupe 5 (lié aux Lépidoptères)

Crepis biennis est la seule plante autogame ayant eu des interactions avec des insectes pollinisateurs (Figure 31). Cette stratégie de pollinisation apparaît significative pour les interactions avec les Thysanoptères parce que leurs captures sont exclusives sur cette espèce. On notera que *Crepis biennis* a été en interaction avec des Hyménoptères, des Diptères et des Coléoptères (Figure 28). La forte significativité des attributs des traits floraux pour le groupe 3 lié aux Thysanoptères ne sera donc pas discuté par la suite.

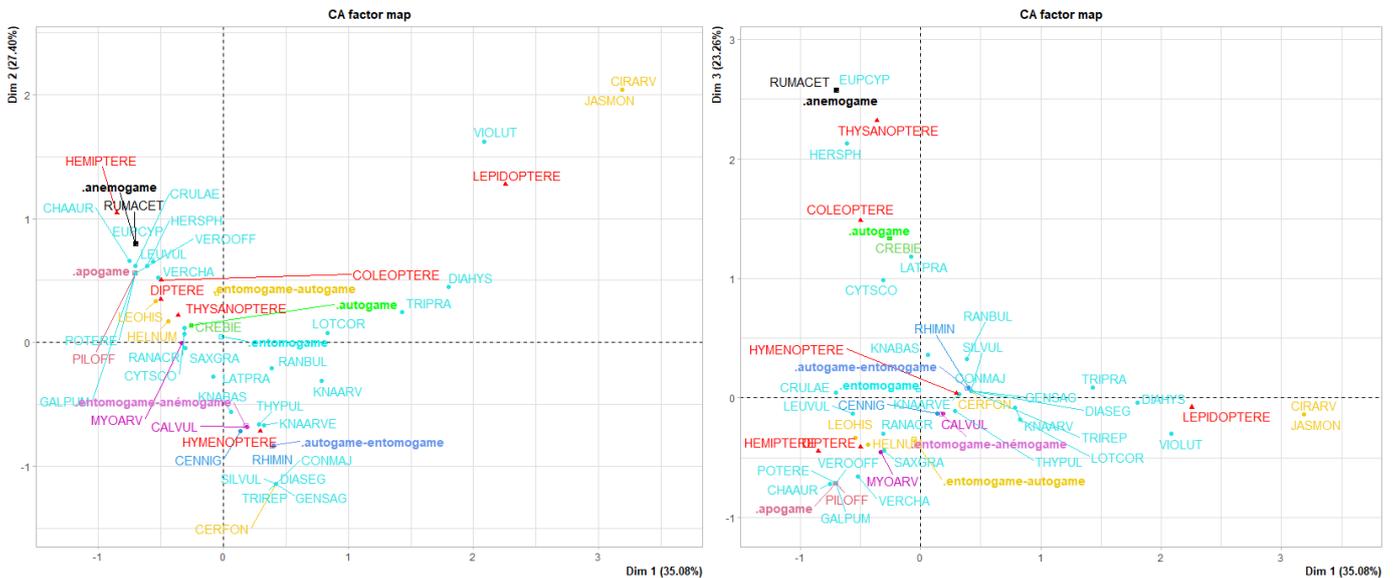


Figure 31 : Coloration des individus de l'AFC (espèces végétales) selon leur stratégie de pollinisation

De façon similaire, une seule espèce végétale anémogame est notée avec des interactions : *Rumex acetocella*. Cette espèce est a été trouvé en interaction exclusive avec les Coléoptères, qui d'après les observations de terrain étaient en train de se nourrir de ses étamines. Les autres insectes qui ont été observés utilisaient alors plutôt l'inflorescence de la petite oseille comme support physique plutôt que de source de nourriture.

Deux espèces à stratégie entomogame-autogame sur cinq ont été butinées exclusivement par des Lépidoptères, il s'agit de *Jasione montana* et *Cirsium arvense* (Figure 28 et Figure 31).

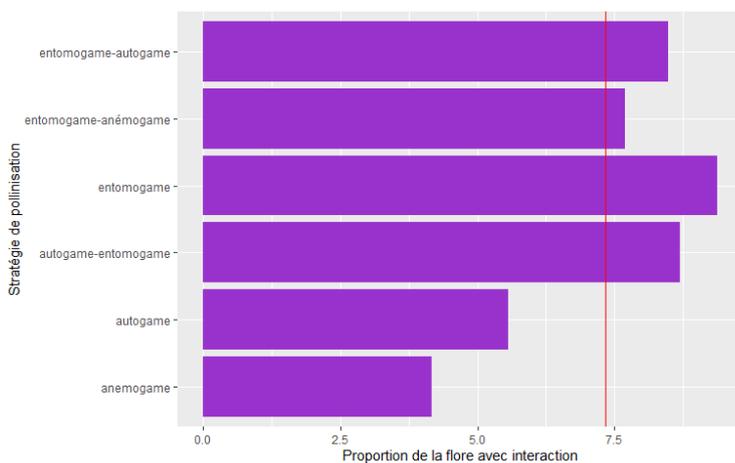


Figure 32 : Proportion des espèces végétales fleuries regroupées par la stratégie de pollinisation qui présentent au moins une interaction avec un pollinisateur.

La ligne rouge indique la moyenne de cette proportion sur l'ensemble des placettes. (La stratégie apogame n'est pas illustrée car rare à l'échelle des relevés : 3 espèces sur l'ensemble des plantes fleuries, dont 1 avec interactions).

Pour l'ensemble des interactions réalisées, le fait que la plante soit de stratégie entomogame ou majoritairement entomogame semble important : les plantes avec l'une ou l'autre de ces deux stratégies représentent plus de 87% des plantes présentant au moins une interaction avec un insecte pollinisateur (Figure 28 et Figure 31), contre 65% des taxons fleuris relevés sur l'ensemble des placettes.

On observe que les espèces végétales qui présentent une stratégie entomogame sont celles qui ont majoritairement des interactions avec les pollinisateurs (en nombre de taxons relevés) (Figure 32).

Pour un objectif d'accueil des pollinisateurs sur un habitat naturel, la connaissance des stratégies de pollinisation du cortège floristique est donc importante à considérer pour apprécier le « potentiel » d'interaction avec l'entomofaune.

Critère de soudure de la corolle et interactions avec les insectes

Les attributs significatifs pour $\alpha = 5\%$ de ce critère sont :

- Pétales libres ($\delta = 3.44$), pour le groupe 2 (lié aux Coléoptères)
- Pétales soudés sur toute la hauteur ($\delta = 2.43$), pour le groupe 3 (lié aux Thysanoptères)

Les attributs significatifs pour $\alpha = 10\%$ (soit $\delta > 1.645$) de ce critère sont :

- Pétales soudés à la base ($\delta = 1.81$), pour le groupe 1 (lié aux Diptères)
- Pétales soudés sur la moitié ($\delta = 1.72$), pour le groupe 4 (lié aux Hyménoptères)

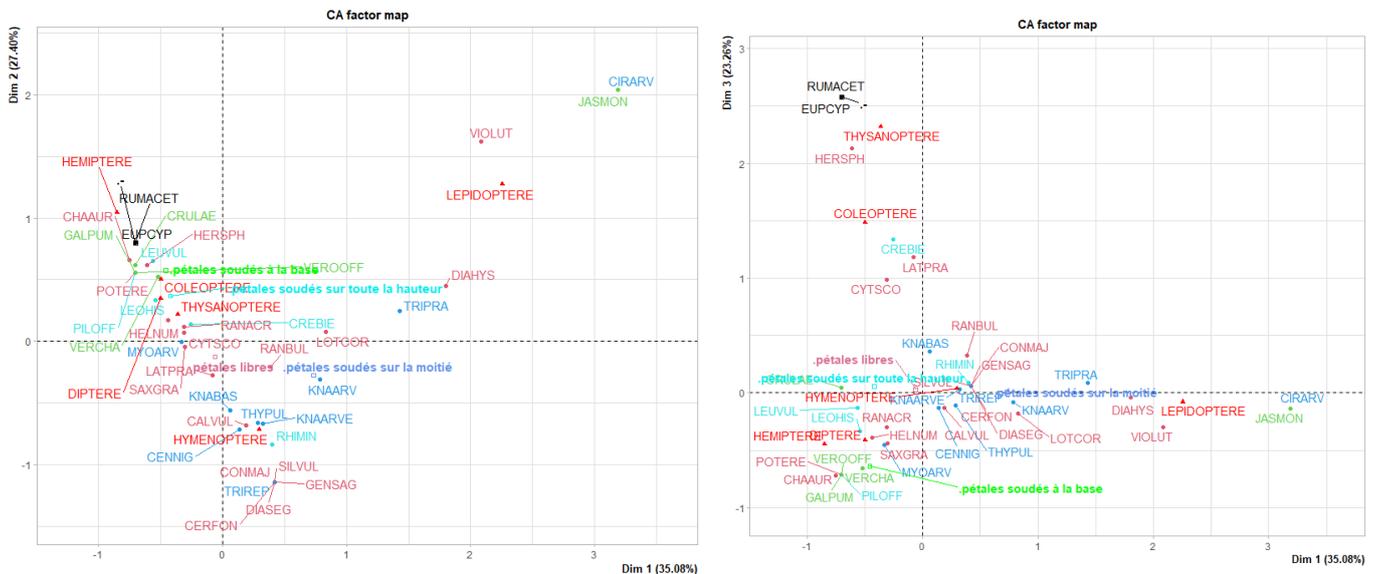


Figure 33 : Coloration des individus de l'AFC (espèces végétales) selon le type de soudure de leur corolle

La grande majorité des fleurs avec interactions ont des pétales libres et sont en interaction avec une grande diversité d'insectes pollinisateurs (Figure 33). Cependant, les Coléoptères semblent avoir une préférence pour ce critère « pétales libres » qui est trouvé pour 37,5% des espèces végétales qu'ils ont visitées. Il est possible que cette caractéristique soit en lien avec la capacité à accéder aux ressources nectarifères et pollinifères, car 56,3% des taxons visités par les Coléoptères ont les pétales mobiles jusqu'à leur base (apétales, pétales libres et pétales soudés uniquement à la base), représentant 60% de leurs interactions (Figure 28).

De même, les Diptères semblent avoir plus d'interactions avec les fleurs ayant des pétales libres, majoritairement soudés à la base. Et les Hyménoptères semblent être plus en interaction avec des fleurs ayant des pétales soudés jusqu'à la moitié, formant un tube renfermant les ressources florales dont seul cet ordre semble pouvoir plus aisément franchir. Vis-à-vis des observations effectuées sur le terrain, les comportements semblent différés dans l'action de butinage et ce pour une même espèce végétale : les diptères semblaient en effet le plus souvent rester à la surface de la corolle pour butiner, tandis que les Hyménoptères pouvaient introduire complètement leurs pièces buccales dans la fleur lors de leur collecte de pollen et nectar, voire leur corps tout entier (Figure 34).



Figure 34 : Syrphe (Diptera, à gauche) et Abeille mellifère (Hymenoptera, à droite) butinant une Knautia d'Auvergne (*Knautia arvensis*)

Forme du limbe et du bord du pétale

Les attributs significatifs pour $\alpha = 5\%$ de ce critère sont :

- Pas de pétales ($\delta = 3.44$), pour le groupe 2 des espèces végétales liées aux Coléoptères

Les attributs significatifs pour $\alpha = 10\%$ (soit $\delta > 1.645$) de ce critère sont :

- Limbe oblongue ($\delta = 1.92$), pour le groupe 4 (lié aux Hyménoptères)
- Limbe spatulée ($\delta = 1.77$), pour le groupe 5 (lié aux Lépidoptères)
- Presque significatif : Limbe orbiculaire ($\delta = 1.63$), pour le groupe 1 (lié aux Diptères)

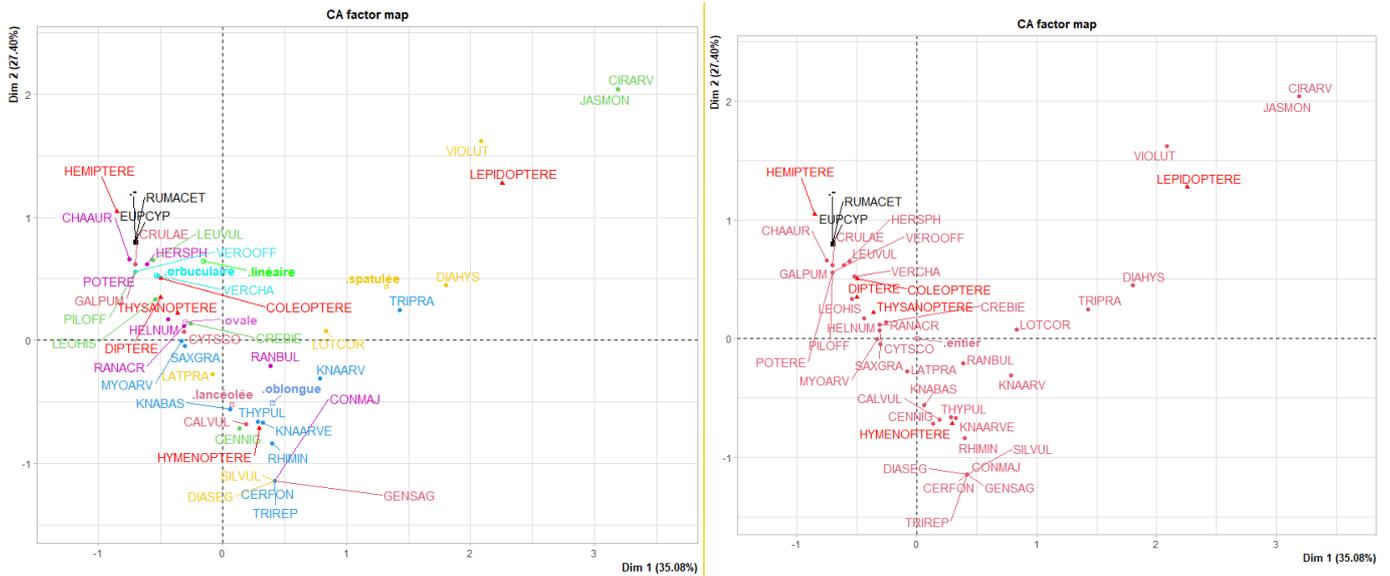


Figure 35 : Coloration des individus de l'AFC (espèces végétales) selon la forme de la fleur, à gauche : forme du limbe ; à droite : forme du bord du pétale

L'attribut significatif, pour $\alpha = 5\%$, pour la forme du limbe et du bord des pétales correspond au même type d'information que précédemment avec la soudure de la corolle, pour les Coléoptères (Figure 35).

Les attributs significatifs, pour $\alpha = 10\%$, correspondent à des fleurs aux pétales longs à tendance ovale sur toute la longueur (oblong, p. ex. *Knautia arvernensis*, *Trifolium repens*) ou uniquement sur la moitié supérieure qui est alors élargie (spatulé, p. ex. *Dianthus hyssopifolius*, *Viola lutea*).

En nombre de taxons, 50% des espèces végétales (avec au moins une interaction avec un pollinisateur) qui présentent des pétales spatulés sont en interactions avec les Lépidoptères, et 90% des espèces végétales qui présentent des pétales oblongs sont visités par des Hyménoptères (Figure 28 et Figure 35).

Critère relatif au type de système de reproduction des espèces végétales (noté sexualité de la fleur) et interactions avec les pollinisateurs

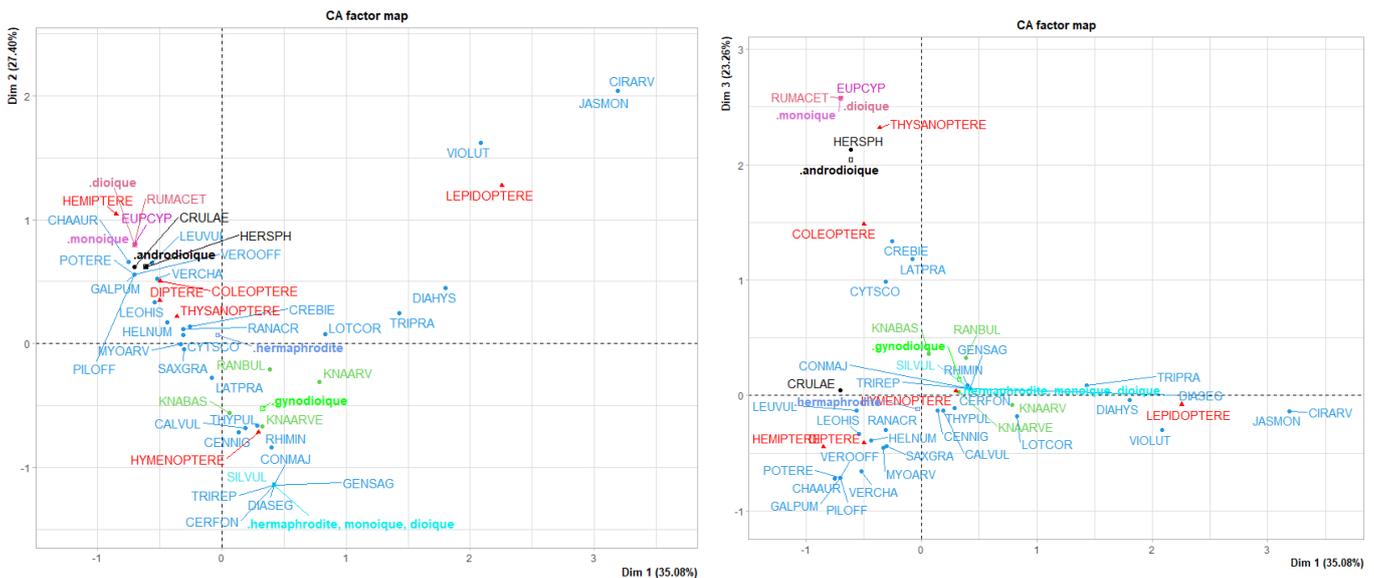


Figure 36 : Coloration des individus de l'AFC (espèces végétales) selon leur sexualité

Les attributs significatifs pour $\alpha = 5\%$ de ce critère sont :

- Dioïque et Monoïque ($\delta = 2.43$), pour le groupe 2 (lié aux Coléoptères)

L'attribut significatif pour $\alpha = 10\%$ de ce critère est :

- Gynodioïque ($\delta = 1.84$), pour le groupe 2 (lié aux Coléoptères)

La grande majorité (77%) des espèces présentant une interaction avec un pollinisateur sont des espèces hermaphrodites (Figure 36).

Les seules espèces dioïque (*Rumex acetosella*) et monoïque (*Euphorbia cyparissias*) ayant au moins une interaction avec un pollinisateur sont en interactions exclusives avec les Coléoptères (Figure 28 et Figure 36).

Les espèces gynodioïques présentent des interactions avec plusieurs ordres d'insectes pollinisateurs (Figure 28 et Figure 36).

Couleurs de la fleur

Les attributs significatifs pour $\alpha = 5\%$ de ce critère sont :

- Couleur principale et secondaire « verte » ($\delta = 2.43$), pour le groupe 2 (lié aux Coléoptères)
- Autre couleur « orange » ($\delta = 2.80$), pour le groupe 5 (lié aux Lépidoptères)

Les attributs significatifs pour $\alpha = 10\%$ de ce critère sont :

- Couleur secondaire « rose » ($\delta = 1.85$), pour le groupe 4 (lié aux Hyménoptères)
- Couleur principale « violette » ($\delta = 1.77$), pour le groupe 5 (lié aux Lépidoptères)
- Couleur secondaire « blanche » ou « jaune » ($\delta = 1.76$), pour le groupe 5 (lié aux Lépidoptères)

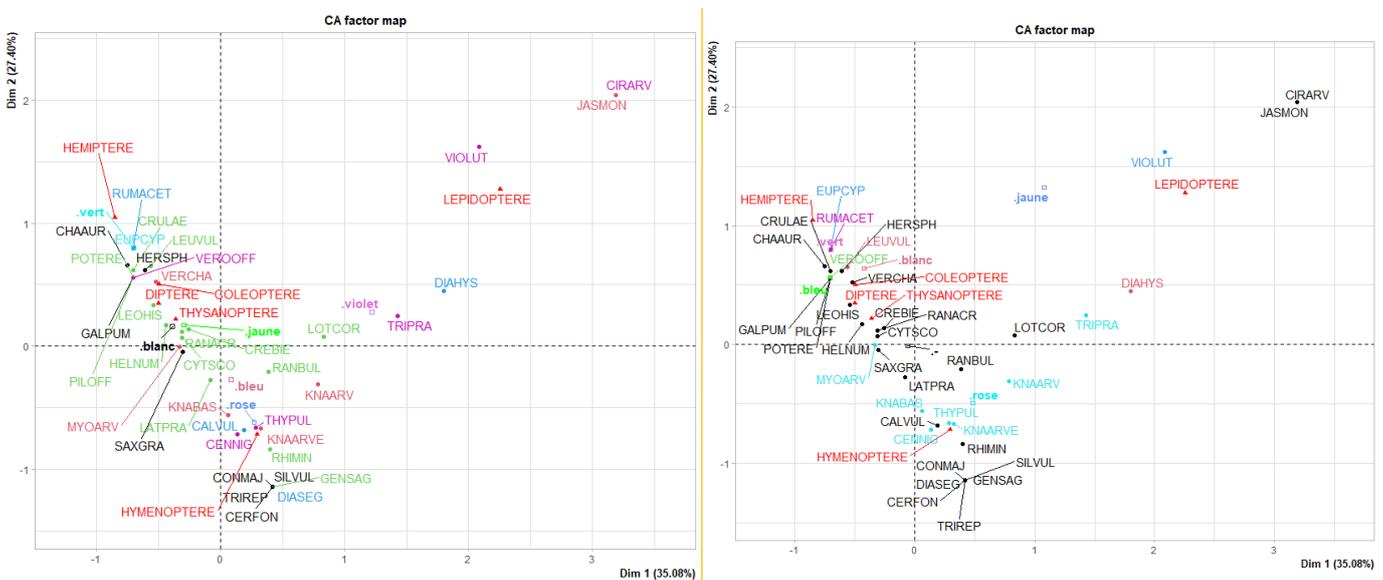


Figure 37 : Coloration des individus de l'AFC (espèces végétales) selon leur couleur de fleur. À gauche : principale ; à droite : secondaire

La seule espèce avec des fleurs vertes est *Euphorbia cyparissias* et cette espèce est exclusivement en interaction avec les Coléoptères. La fleur « orange » pour le critère « autre couleur » correspondant à une possible coloration que peut prendre *Viola lutea*. Cette espèce est en interaction majoritairement avec les Lépidoptères (Figure 28 et Figure 37).

Trois quarts des fleurs roses sont en interactions avec des Hyménoptères, avec une majorité des interactions réalisées sur les fleurs de *Calluna vulgaris* (Figure 28).

Deux tiers des fleurs violettes sont en interactions avec les Lépidoptères, et réciproquement, les Lépidoptères ont été majoritairement capturés sur des fleurs de cette couleur (58% de la probabilité d'interaction) (Figure 28).

Malgré la faible significativité du test du χ^2 , la couleur de la fleur semble avoir son importance pour l'attractivité des insectes pollinisateurs avec une attirance pour le violet chez les Lépidoptères, pour le rose et le bleu chez les Hyménoptères, pour le jaune chez les Diptères et pour le blanc et le vert pour les Coléoptères (Figure 37).

Ces tendances issues des données de captures actives (au filet) pourront être mises à l'épreuve lorsque les comptages des captures passives par pièges colorés seront réalisés.

Présence ou absence d'un éperon sur la fleur comme critère de trait floral

L'attribut significatif pour $\alpha = 5\%$ de ce critère est :

- Présence d'un éperon ($\delta = 2.80$), pour le groupe 5 (lié aux Lépidoptères)

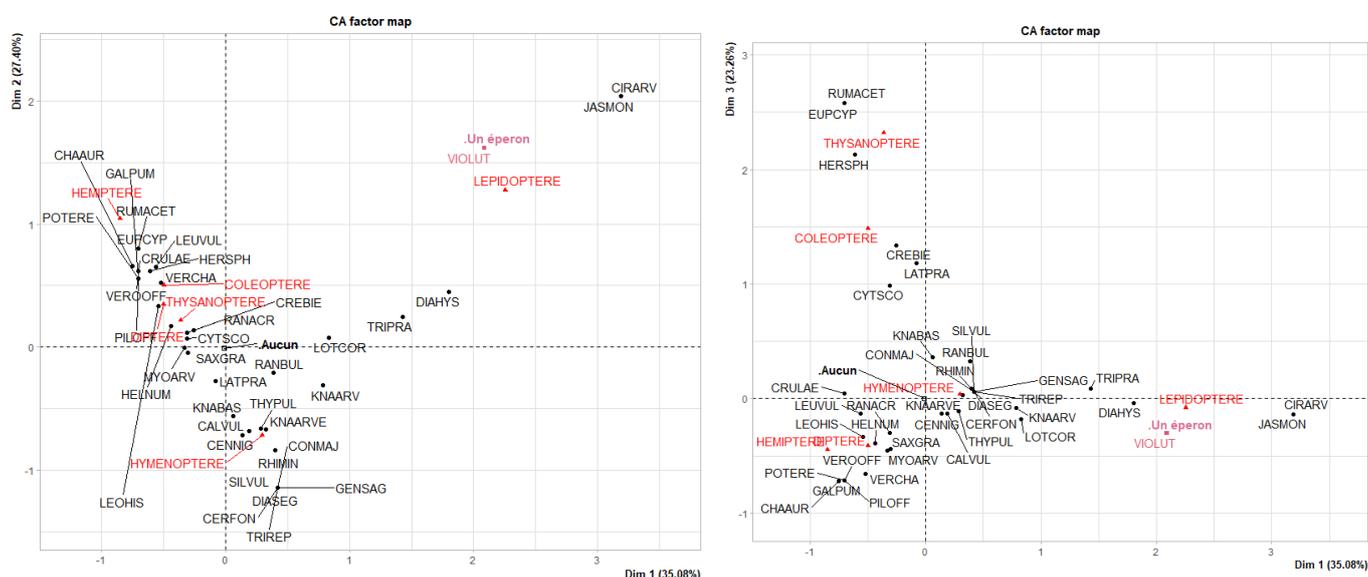


Figure 38 : Coloration des individus de l'AFC (espèces végétales) selon la présence ou l'absence d'éperon

La seule espèce végétale ayant un éperon est *Viola lutea*, qui présente des interactions en quasi-exclusivité avec les Lépidoptères (Figure 28 et Figure 38).

La présence d'un éperon, permettant le stockage du nectar, nécessite probablement une longue langue pour accéder à la ressource et probablement seuls les Lépidoptères pourraient disposer d'une telle langue (trompe) et ainsi prélever le nectar et donc aisément se nourrir sur *Viola lutea*.

Famille botanique

Les attributs significatifs pour $\alpha = 5\%$ de ce critère sont :

- Asteraceae ($\delta = 2.16$), pour le groupe 3 (lié aux Thysanoptères)
- Campanulaceae et Violaceae ($\delta = 2.80$), pour le groupe 5 (lié aux Lépidoptères)
- Euphorbiaceae et Polygonaceae ($\delta = 2.43$), pour le groupe 2 (lié aux Coléoptères)

L'attribut (presque) significatif pour $\alpha = 10\%$ de ce critère est :

- Plantaginaceae et Rubiaceae ($\delta = 1.63$), pour le groupe 1 (lié aux Diptères)

Les familles de la flore présentant des interactions avec les pollinisateurs sont relativement bien disposées vis-à-vis des pollinisateurs sur les plans factoriels 1-2 et 1-3 des AFC (Figure 39). On retrouve les Campanulacées

et les Violacées plutôt en interaction avec les Lépidoptères, et les Euphorbiacées et Polygonacées en lien exclusif avec les Coléoptères.

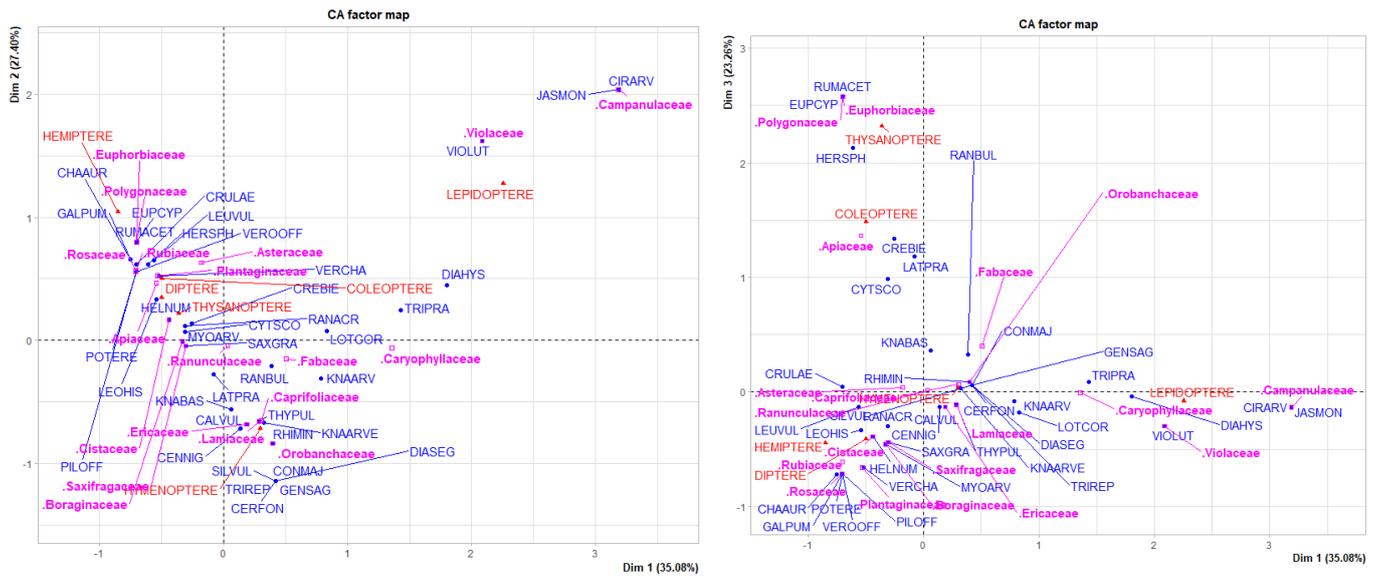


Figure 39 : Projection des familles des espèces végétales sur le graphique des individus de l'AFC des interactions flore-pollinisateur

On observe également que les Coléoptères butinent majoritairement les Apiacées, elles-mêmes majoritairement butinées par des Coléoptères (sous réserve des effectifs d'insectes capturés), et que les Hyménoptères sont majoritairement en interaction avec les Lamiacées, Caprifoliacées, Ericacées, Orobanchacées, Fabacées et Caryophyllacées (Figure 39).

Les différentes familles botaniques représentées dans le jeu de données étudié ne présentent pas toutes des interactions avec les pollinisateurs (c'est le cas des *Hypericaceae*). Celles qui présentent des interactions avec les pollinisateurs sont souvent relativement dispersées sur les plans factoriels 1-2 et 1-3 des AFC (Figure 39). On retrouve les Campanulacées et les Violacées plutôt en interaction avec les Lépidoptères, et les Euphorbiacées et Polygonacées en lien exclusif avec les Coléoptères.

On observe également que les Coléoptères butinent majoritairement les Apiacées, eux-mêmes majoritairement butinés par des Coléoptères et que les Hyménoptères sont en interaction avec les Lamiacées, Caprifoliacées, Ericacées, Orobanchacées, Fabacées et Caryophyllacées (Figure 39) et sont donc très peu spécifiques.

A partir de ces données d'interactions, sur la base du coefficient de Cramer, il semblerait que la famille des espèces végétales fleuries forme un bon proxy de la diversité fonctionnelle de la flore. Il reste à comprendre quels ensembles de traits floraux caractérisent ces familles pour leur attractivité face aux insectes pollinisateurs.

Analyse de la variance à l'aide d'un test ANOVA de type II

L'ANOVA est réalisée indépendamment sur les variables à expliquer correspondants aux probabilités d'interaction de chaque ordre d'insecte pour chaque espèce de fleur, en lien avec les traits floraux « Profondeur de tube à nectar », « Aire florale » et « Hauteur florale » de chaque espèce végétale, avec interactions entre ces traits floraux.

```

Anova Table (Type II tests)

Response: COLEOPTERE

                Sum Sq Df F value Pr(>F)
HAUTEUR_MOY    3.7530e-06 1  0.4706 0.497488
AIRE_FLORALE_MOY 2.7746e-05 1  3.4797 0.071036 .
PROF_TUBE_MOY   2.2282e-05 1  2.7945 0.104045
HAUTEUR_MOY:AIRE_FLORALE_MOY 4.2030e-06 1  0.5271 0.472956
HAUTEUR_MOY:PROF_TUBE_MOY 7.7140e-06 1  0.9674 0.332486
AIRE_FLORALE_MOY:PROF_TUBE_MOY 6.4542e-05 1  8.0945 0.007571 **
HAUTEUR_MOY:AIRE_FLORALE_MOY:PROF_TUBE_MOY 4.7143e-05 1  5.9123 0.020629 *
Residuals      2.6313e-04 33
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Anova Table (Type II tests)

Response: LEPIDOPTERE

                Sum Sq Df F value Pr(>F)
HAUTEUR_MOY    2.1746e-05 1  5.2817 0.02802 *
AIRE_FLORALE_MOY 2.4050e-06 1  0.5842 0.45010
PROF_TUBE_MOY   9.8710e-06 1  2.3974 0.13107
HAUTEUR_MOY:AIRE_FLORALE_MOY 9.7560e-06 1  2.3694 0.13327
HAUTEUR_MOY:PROF_TUBE_MOY 2.9780e-05 1  7.2329 0.01114 *
AIRE_FLORALE_MOY:PROF_TUBE_MOY 5.3850e-06 1  1.3078 0.26102
HAUTEUR_MOY:AIRE_FLORALE_MOY:PROF_TUBE_MOY 2.4500e-07 1  0.0595 0.80873
Residuals      1.3587e-04 33
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Figure 40 : Réponses significatives aux tests de l'ANOVA de type II pour les Coléoptères et les Lépidoptères

On observe que certains traits floraux ressortent significatifs ($\alpha = 5\%$), uniquement pour les Coléoptères et les Lépidoptères, illustrées dans la Figure 40. Il s'agit principalement de l'aire florale en interaction avec la profondeur de tube à nectar pour les Coléoptères, ainsi que de la hauteur moyenne en lien avec la profondeur de tube à nectar pour les Lépidoptères.

Ces observations sont cohérentes avec la morphologie moyenne de ces deux ordres d'insectes ainsi qu'avec les observations réalisées sur le terrain. En effet, le butinage des fleurs par des coléoptères est augmentée par une grande aire florale des unités, devant se comporter comme de bonnes plateformes d'atterrissage pour cet ordre. Sur le terrain, il est à noter que les coléoptères ont également tendance à se déplacer d'une fleur à l'autre sans s'envoler lorsqu'ils butinent, minimisant ainsi sûrement leurs dépenses énergétiques. Un comportement qui est également favorisé lorsque les unités florales sont larges, tel que sur les Apiacées et les Astéracées.

Pour les Lépidoptères, leur grande trompe (proboscis) leur permet d'accéder au nectar de fleurs ayant des tubes nectarifères profonds. De plus, les grandes ailes fragiles des papillons ne les aident pas pour se glisser dans la végétation et atteindre les fleurs les plus basses. Ces caractéristiques propres aux Lépidoptères explique très probablement ce résultat de l'ANOVA. Ainsi, sur le terrain les fleurs isolées ou étant présentes parmi les hauteurs dominantes, et ayant de surcroît un tube à nectar moyen à important (tel que *Viola lutea* ou *Dianthus hyssopifolium*), étaient souvent préférées des Lépidoptères.

Pour les autres ordres, notamment les Diptères et les Hyménoptères, aucun de ces traits floraux n'est ressorti significatif pour un $\alpha = 5\%$ sur le test de l'ANOVA.

4.2.3 Critères de terrain liés aux pratiques agricoles exercées

Informations sur des critères liés à la végétation

La végétation des prairies naturelles permet la description de la gestion qui y est appliquée (CRUZ ET AL., 2002), mais sa caractérisation demande généralement des moyens humains importants pour une identification à l'espèce de l'ensemble du cortège floristique. Les éléments de pratiques agricoles les plus influents sur la dynamique de la végétation correspondent aux perturbations physiques appliquées (intensité d'exploitation, type de gestion) et à la modification de la richesse du sol (fertilisation organique ou minérale, présence de fèces) (CRUZ ET AL., 2002). L'idée est donc de simplifier sa description à travers l'utilisation de critères simples à évaluer sur le terrain.

Cruz et al. (2002, 2010) proposent une description de la végétation des prairies naturelles par des groupes fonctionnels d'espèces partageant des traits communs en réponse à un ensemble d'effets exercés. Cette typologie élaborée sur les espèces dominantes simplifie les relevés à effectuer sur le terrain tout en permettant l'étude des prairies sur une large gamme de pratiques (CRUZ ET AL., 2002 ; 2010), mais les espèces classées étant des *Poaceae*, leurs identifications au stade végétatif demandent de solides connaissances en botanique.

Ces traits de la végétation peuvent notamment favoriser l'accueil des insectes par la présence d'habitats d'espèces favorables sur le milieu.

Le jeu de données « Habitats d'espèces » permet de caractériser les habitats potentiels principalement à partir de la structure de la végétation des différentes placettes, à l'aide notamment des recouvrements de différentes strates et éléments (sol nu, roches, rosettes, fèces, mousses, herbacée et ligneux), la hauteur de la végétation et l'épaisseur de la litière.

Etudions les différentes variables de ce jeu de données en lien avec le type de gestion, afin dans un premier temps d'évaluer des critères structurels ou fonctionnels qui peuvent à la fois caractériser le type de gestion du milieu et dans un second temps d'apporter un regard sur les potentialités de ce type de gestion vis-à-vis des habitats d'espèces qui y sont présents.

Test des critères relevés pour les « habitats d'espèces » en fonction du type de gestion (fauche / pâture)

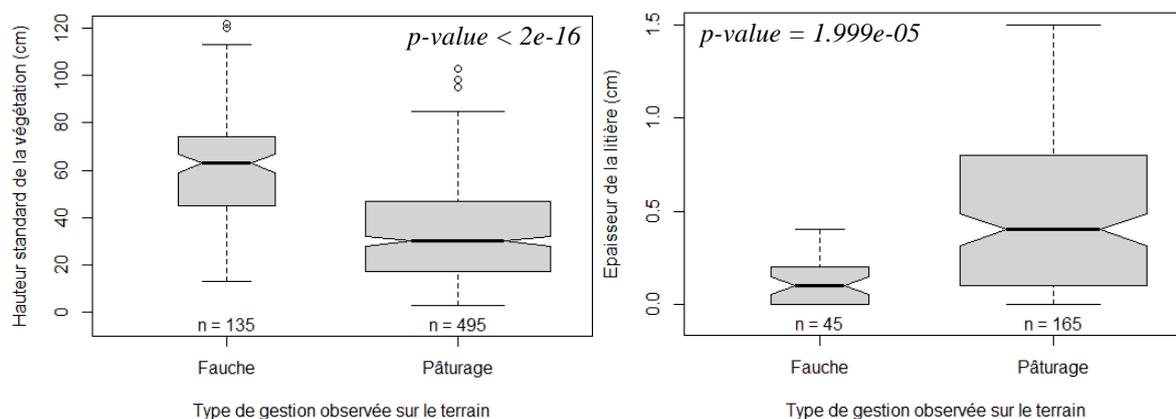


Figure 41 : Hauteur standard de la végétation à l'optimum de floraison (à gauche) et épaisseur de la litière (à droite) mesurés sur les quadrats de relevé (mai-juin) selon le type de gestion observée sur le terrain (fauche ou pâture). Les p-values sont calculées à partir d'un test t de Welch.

On observe une différence importante des médianes entre les deux types de gestion observée, fauche et pâturage, pour les hauteurs standard de la végétation (respectivement 60 cm et 33.4 cm) et l'épaisseur de la litière (respectivement 0.27 cm et 0.97 cm) (Figure 41). La réalisation d'un modèle linéaire simple et un test t de Welch pour ces deux critères nous indique la significativité de la différence des deux groupes de gestion, dont les p-values sont affichées sur la Figure 41 (les hypothèses d'indépendance des résidus, de normalité et d'homoscédasticité ont été vérifiées, pour $\alpha = 5\%$).

Ces deux critères peuvent donc potentiellement être de bons indicateurs pour discriminer les situations de gestion prairiale en fauche et en pâturage sur le terrain. Ils indiquent également de potentiels habitats d'espèces différents entre les deux types de gestions, qui peuvent ainsi accueillir des cortèges d'insectes différents.

Parmi d'autres critères mesurés (données de terrain « Habitat d'espèces »), il est à noter l'absence marquée de ligneux, de rosettes et de fèces dans les prairies de fauche, a contrario des prairies de pâturage. Cependant, la présence ou absence des rosettes et des fèces peut être délicate à observer dans une prairie de fauche, car son couvert herbacé est haut et dense, empêchant de distinguer simplement le sol sur l'ensemble de la placette. Ces critères pourraient peut-être donner quelques indications sur la présence de systèmes mixtes s'ils venaient à se faire remarquer dans une prairie de fauche.

Il n'y a aucune différence significative pour le recouvrement des strates muscinales, herbacées et de sol nu, ni du nombre de plages de sol nu, entre les deux types de gestions.

4.2.4 Synthèse des critères identifiés pour l'évaluation de l'état de conservation des habitats prairiaux

A partir des données de terrain, les variables évaluées pouvant être de bons candidats pour l'évaluation de l'état de conservation des habitats sont récapitulés dans le Tableau 7. La justification de leur intérêt figure dans la colonne « Explication ».

Tableau 7 : Bilan des critères potentiels, identifiés lors des analyses sur les critères fonctionnels menées dans le cadre de ce stage, pour l'évaluation de l'état de conservation des habitats prairiaux et pelousaires

* Critères suggérés dont la performance scientifique n'a pas été testé

	Composantes	Indicateur	Critères identifiés	Explication	Utilisation
Structure	Habitats d'espèces	Aspect du sol	<ul style="list-style-type: none"> • Patches de sol nu* 	Comptage du nombre de patches de sol nu et du recouvrement de ces patches	Evaluation des possibilités de nidification d'espèces terricoles
		Aspects de la végétation	<ul style="list-style-type: none"> • Hauteur de la végétation • Epaisseur de la litière 	Mesure de la hauteur moyenne de la végétation Mesure de l'épaisseur de la litière	Caractérisation du type de gestion (fauche ou pâture) Utilisation pour leur potentialité d'accueil des arthropodes
Fonction	Pollinisation	Ressources disponibles	<ul style="list-style-type: none"> • Diversité des ressources en nectar et en pollen* • Stratégie de pollinisation 	Mesure de la qualité et de la quantité de nectar et de pollen des espèce végétales Proportion d'espèces entomogames dans le relevé botanique	Caractérisation des ressources florales potentielles
		Attractivité et accueil des pollinisateurs	<ul style="list-style-type: none"> • Diversité de types de soudures de la corolle des fleurs d'intérêts pour les pollinisateurs • Diversité des couleurs de fleurs d'intérêts pour les pollinisateurs • Diversité en familles botaniques du relevé 	Nombre de types différents de soudure de la corolle Nombre de couleurs différentes de couleurs de fleurs Nombre de familles différentes dans le relevé botanique	Evaluation de l'attractivité des habitats naturels pour une diversité de pollinisateurs potentiels

L'identification des différentes variables potentiellement intéressante pour l'évaluation de l'état de conservation ressort 8 critères dont deux n'ont pas pu être testés, mais dont l'intérêt semble être attesté par la littérature. Il s'agit de l'étude des patches de sol nu présent dans l'habitat naturel (VILLEMANT, 2005) et de la diversité des ressources en nectar et en pollen de sa flore (GOULNIK ET AL., 2020).

Parmi les critères dont la performance scientifique a été évaluée ou testée, la hauteur de la végétation et l'épaisseur de la litière sont deux variables fortement corrélées au type de gestion (fauche ou pâture) réalisé sur la parcelle agricole. La hauteur de végétation et l'épaisseur de la litière, permettant de contrôler la présence d'habitats d'espèces potentiels pour les arthropodes (tels que les araignées et les carabes). Ces deux critères de structure de l'habitat peuvent donc contribuer à la caractérisation du type de gestion sur le terrain et d'en apprécier les effets potentiels sur l'entomofaune concernée.

La stratégie de pollinisation de la flore présente sur une parcelle semble être une condition importante pour la présence de pollinisateurs butinant dans ce milieu. L'évaluation de la proportion d'espèces entomogame pourrait donc être un critère de choix pour évaluer le côté favorable ou non aux pollinisateurs d'un habitat naturel.

Obtenir une diversité d'attributs du trait floral « soudure de la corolle » peut également permettre la présence d'une diversité potentielle de pollinisateurs, au même titre que la « couleur principale de la fleur ». Calculer le nombre d'attributs pour ces critères semble intéressant pour l'attractivité des pollinisateurs d'un habitat naturel.

Enfin, la diversité en traits floraux d'un milieu peut être approchée par le nombre de familles botaniques présentes sur la placette. Explorer si ce critère de diversité taxonomique au rang de la famille s'avérerait suffisant pour approcher le potentiel d'accueil en pollinisateurs est une priorité, en conduisant l'analyse sur une diversité de situations, bien au-delà du seul jeu de données de ce stage.

5 DISCUSSIONS ET PERSPECTIVES

5.1 DISCUSSION DES RESULTATS

Floraison potentielle et observée de la végétation :

Les prairies « UV Fauchée » présentent le plus fort recouvrement en unités florales, supérieur aux prairies pâturées étudiées (*Figure 23*). Par contraste, les prairies pâturées ont été trouvées plus riches en termes de nombre d'espèces « fleuries » sur la base des données de la floraison potentielle (*Figure 17*). Il y a également plus d'unités florales en fauche qu'en pâture, avec des aires d'unités florales plus grandes pour les espèces typiques des situations fauchées (telles que les Apiacées et les Astéracées) que pour les espèces de prairie pâturée (*Figure 24*). Ainsi le recouvrement en fleurs pour un même nombre d'individus est plus important en prairie de fauche qu'en prairie pâturée.

En ce qui concerne la phénologie de la floraison, Cruz et al. (2002) montrent que les espèces présentant une stratégie de conservation des nutriments ont une phénologie plus tardive que les autres espèces pour des conditions de croissance identiques (CRUZ ET AL., 2002). Dans la mesure où les espèces dominantes et compétitives de situation fauchées sont sans doute des espèces de type « conservatrices », on devrait observer un décalage de floraison potentielle entre la végétation des prairies fauchées et celles des prairies pâturées. Les mesures de la date de début et de fin de floraison montrent néanmoins que ces dates ne sont pas significativement différentes entre les deux pratiques.

Interactions flore-insectes pollinisateurs :

Les interactions majoritaires entre l'entomofaune et la flore des prairies étudiées sont le fait des Diptères et des Hyménoptères. Parmi les Diptères, la majeure partie des captures réalisées concernent des syrphes (*Syrphidae*). Par l'abondance de leurs interactions avec la flore, les syrphes apparaissent de bons candidats pour l'évaluation de la pollinisation sur les habitats naturels s'il n'y avait à retenir qu'un seul groupe taxonomique. C'est d'ailleurs cette famille de pollinisateurs qui est utilisée dans la méthode « Syrph the Net » pour l'évaluation de l'impact de la gestion des espaces naturels (CLAUDE, VANAPPELGHEM, 2017).

L'identification des insectes à l'espèce par des experts entomologistes permettra une étude plus précise des cortèges de pollinisateurs par placette et unité de végétation en lien avec le paysage, les pratiques agropastorales et la flore présente. Connaître l'espèce exacte de pollinisateur permettra de caractériser les traits biologiques de celui-ci. Ces traits pourront être mis en lien avec les traits floraux via les données de captures actives des pollinisateurs. Cependant, pour l'étude des interactions entre la flore et les insectes pollinisateurs, cette identification ne permettra pas de relier directement toutes les espèces pollinisatrices à un préférendum floristique pour la caractérisation d'espèces spécialistes ou généralistes, pour les relier à des traits floraux, car les effectifs entre classes sont trop faibles pour une réalisation performante des tests statistiques (cf. partie 3.4 pour le test du χ^2 et partie 4.2.2.4 qui montre que la réalisation du test pour une identification à l'ordre d'insecte est déjà peu performant).

Abondance des insectes sur les placettes Polliflor :

Le grand nombre d'interactions flore-pollinisateur trouvés sur les placettes gérées par la fauche peut être mis en lien avec le nombre moyen de fleurs par unités florales. Les communautés végétales fauchées incluent une abondance de plantes de la famille des Astéracées et des Apiacées, et les espèces de ces familles présentent le plus grand nombre de fleurs par unité florale. Ce sont simultanément sur les espèces de ces familles botaniques que de nombreuses interactions ont été observées, en particulier avec des Diptères et des Hyménoptères (*Figure 28 et Figure 39*).

Les plus fortes abondances observées des Lépidoptères sur « l'UV des Puys » va dans le sens des données de Haahtela et al. (2017), qui montrent une forte abondance des papillons dans les prairies naturelles pâturées extensivement et maintenues par les activités humaines en Europe.

La présence de l'Azuré du Serpolet (*Phengaris arion*) en PUY_E2 témoigne de la présence de sa plante hôte, le thym (*Thymus sp.*), mais aussi de l'espèce de fourmi *Myrmica sabuleti* avec qui il partage un mutualisme exclusif et nécessaire au développement des derniers stades de la chenille (HAAHTELA ET AL., 2017). Ainsi, l'Azuré du Serpolet dépend également de la présence de l'habitat d'espèce de la fourmi, correspondant à des pelouses sèches, lisières et clairières forestières, préférentiellement sur les versants exposés au sud (HAAHTELA ET AL., 2017). Ces conditions sont réunies sur cette placette, et des mesures de gestion en faveur de cette espèce protégée doivent pouvoir prendre en compte ce mutualisme particulier afin de conserver le milieu dans un état favorable à sa présence.

L'évolution du cortège d'insectes pollinisateurs entre les deux sessions de terrain pour la placette PUY_E2 pourrait être expliqué par l'évolution complète de la floraison de la végétation entre ces deux dates. Néanmoins, les espèces végétales dominantes ont également changé sur la placette PUY_G3 avec un impact moins marqué sur l'équitabilité des ordres d'insectes (*Figure 23 et Figure 25*). Sur la base d'un lien entre l'équitabilité des ordres d'insectes, reflétant le cortège d'espèces présentes, et la végétation fleurie présente, nous pouvons poser les hypothèses :

- L'évolution des ressources mellifères disponibles dans le temps (contraste entre la session 1 et 2), ou les conditions climatiques (dont les températures étaient 5°C plus chaudes), sont en partie responsables de l'évolution des cortèges d'espèces ;
- L'évolution de la floraison de la végétation a modifié l'ensemble des traits floraux présents, impactant le cortège d'espèces en interaction avec elles par un effet d'attractivité différente, ou une modification de la disponibilité des ressources mellifères ;
- L'évolution de l'équitabilité des ordres d'insectes est liée à la phénologie des insectes.

Habitats d'espèces et pratiques agricoles : regard tourné vers l'accueil des arthropodes :

La hauteur de la végétation et l'épaisseur de la litière sont des paramètres essentiels pour l'accueil de la faune, c'est-à-dire le rôle « habitat d'espèce » des habitats prairiaux. C'est vrai en particulier pour les carabes (*Carabidae*, *Coleoptera*) et les araignées (*Araneae*), qui sont impactés par les perturbations liées aux pratiques agropastorales (LAFAGE, PETILLON, 2013). Ces auteurs ont montrés qu'en prairies humides, la fauche réduit drastiquement à court terme les cortèges d'espèces de carabes et d'araignées chasseuses au sol (*Gnaphosidae*) présents (LAFAGE, PETILLON, 2013). Afin de réduire cet impact, (VILLENAVE-CHASSET, 2017) ont montré qu'une fauche alternée sur 15 jours d'intervalles sur deux zones d'une même parcelle agricole est favorable à la biodiversité, notamment aux pollinisateurs, qui trouvent alors refuge plus facilement dans la zone non perturbée à proximité. Dans les prairies étudiées, les pratiques agricoles restent extensives, sans fertilisation et avec en général qu'une seule coupe par an suivie ou non par du pâturage de regain lorsque la repousse en fin d'été le permet.

Il a également été trouvée une corrélation positive entre la proportion d'araignées chasseuses au sol (*Gnaphosidae*) et la biomasse végétale du milieu (PODGAISKI ET AL., 2013), ce qui va plutôt dans le sens d'une plus forte capacité d'accueil pour les prairies avec des prélèvements extensifs.

La présence de patch de sol nu est favorable à la nidification de certaines espèces d'abeilles sauvages (les *Colletidae*, certaines *Andrenidae* et *Halictidae*) (dites espèces terricoles) (VILLEMANT, 2005). L'identification des pollinisateurs à l'espèce, qui sera disponible en 2021, pourra permettre d'évaluer le lien entre la présence et le recouvrement des patchs de sol nu et la présence de ces espèces terricoles.

Végétation et pratiques agricoles : regard tourné vers la caractérisation du type de gestion :

Les pratiques agropastorales peuvent être directement caractérisées par la mise en place d'enquêtes agropastorales, visant à la collecte des données relatives aux pratiques exercées sur la parcelle agricole. Cependant, la collecte de ces informations tout comme la disponibilité des agriculteurs peut s'avérer délicate, et la précision attendue pour caractériser ces pratiques peut vite être complexe. L'idée d'indicateurs de terrain pouvant caractériser les pratiques exercées sur un habitat naturel semble alors convaincante.

Aussi, certaines caractéristiques d'un habitat naturel peuvent s'avérer utiles à connaître autant pour l'agriculteur que le gestionnaire d'espace naturels, telles que la productivité du milieu et la qualité nutritionnelle du sol. Le partage de ces attentes envers un milieu naturel donné renvoie vers la notion de valeur d'usage, qui correspond à « l'identification de caractéristiques de la végétation qui permettent de remplir une fonction donnée [productive comme environnementale] » (CRUZ et al., 2002).

Ainsi, décrire la végétation présente peut permettre d'évaluer et de caractériser les pratiques agricoles réalisées sur l'habitat naturel.

Sur les données disponibles permettant de caractériser les pratiques agricoles d'un milieu, la hauteur de végétation et l'épaisseur de la litière sont deux éléments significativement différents entre les parcelles gérées par la fauche et celles gérées par la pâture (*Figure 41*).

Ces réponses peuvent être en lien avec les stratégies relatives au gradient de défoliation et au gradient de fertilité du sol, différents entre les deux systèmes de gestion. Cruz et al. (2002), nous informe que l'adaptation de la végétation à la fréquence et à l'intensité de la défoliation peut se caractériser par la position du méristème par rapport au sol, et que l'adaptation liée à la richesse du sol correspond à la stratégie de conservation des nutriments dans la plante.

En effet, dans les milieux où la défoliation est fréquente ou intense, les espèces présentes auront des méristèmes proches du sol. A contrario, dans un milieu présentant une faible pression de défoliation, les méristèmes seront positionnés plus hauts (CRUZ ET AL., 2002), les plantes seront donc également plus grandes. Cet élément permet d'expliquer notre observation de la différence entre la hauteur standard de la végétation des prairies de

fauche et des pâtures lors de l'optimum de floraison de la végétation, qui correspond donc à des stratégies différentes vis-à-vis de la défoliation. Une fois que les pratiques agricoles seront confirmées et précisées par les données des enquêtes agropastorales, il sera intéressant d'évaluer la potentielle linéarité de la réponse entre la hauteur de la végétation et la pression de défoliation exercée sur le milieu naturel. Cette pression de défoliation pourra être caractérisée par le chargement de la parcelle agricole en milieu pâturé (nombre de bêtes à l'hectare par exemple), ou par le nombre de fauches réalisées en prairies fauchées.

Dans les milieux riches en nutriments, la teneur en matière sèche de la plante va être faible et les surfaces foliaires seront élevées, tandis que dans des milieux peu fertiles, la surface foliaire sera réduite et plus coriace, et les teneurs en matières sèches de la plante seront fortes (CRUZ ET AL., 2002). A cause de ces éléments, Ryser (1996) *in* (CRUZ ET AL., 2002) indique aussi une plus forte densité des tissus des feuilles des espèces en milieux pauvres, ce qui provoque une dégradation plus lente de la litière présente au niveau du sol.

L'épaisseur plus importante de la litière en milieu pâturé peut donc être la résultante de cette plus lente dégradation de la matière organique au niveau du sol, traduisant une stratégie d'adaptation de la flore à un milieu plus pauvre en nutriments que dans les situations fauchées. Cette hypothèse peut être vérifiée à l'aide des données des enquêtes agropastorales, ou par la collecte des valeurs indicatrices de l'écologie des plantes, telles que les indices d'Ellenberg.

5.2 CRITERES ET POTENTIELS INDICATEURS DE L'ETAT DE CONSERVATION DES HABITATS PRAIRIAUX ET PELOUSAIRES

L'ANNEXE IV effectue le bilan des critères identifiés lors de six travaux d'étudiants relatifs à l'état de conservation ou à l'évaluation des habitats naturels en France.

Les critères d'évaluation identifiés lors de ces travaux sont largement liés à la composition et aux fonctions de l'habitat, et beaucoup moins à la structure des habitats. Ceci peut s'expliquer par le fait que ces travaux cherchent le plus souvent à lier les pratiques agricoles à la composition floristique ou faunistique du milieu, ou à des services ou fonctions particulières de l'habitat étudié.

Les critères identifiés lors de ce stage (*Tableau 7*) complètent ceux-ci à travers des variables qui peuvent être explicative de l'indicateur recherché. Par exemple pour la composante Pollinisation, l'objectif commun est d'évaluer la capacité du milieu à satisfaire les besoins d'un cortège de pollinisateurs diversifié en termes de nutrition. Les critères sélectionnés lors des précédents stages (*ANNEXE IV*) approchent ceci par le pourcentage et la richesse en plantes mellifères au sein d'un relevé botanique. Cette méthode a pour avantage d'être simple à réaliser, mais elle demande d'identifier au préalable les espèces végétales qui seront considérées comme « plantes mellifères ». Seulement ce terme renvoie à la production en nectar de la fleur accessible aux abeilles domestiques, parfois plus largement aux *Apidae*, pour la production de miel. Les critères identifiés lors de ce stage offrent la possibilité d'évaluer l'attractivité de la flore pour une plus grande diversité de pollinisateurs potentiels, en intégrant le système de récompense, le système de barrière physique et le système d'attractivité de la fleur pour les pollinisateurs.

L'utilisation d'espèces indicatrices ou la présence d'espèces particulières ayant été recensées dans une liste (prairies fleuries, liste rouge ou cahiers d'habitats par exemple) est également trouvé dans l'ensemble des sélections des stages précédents (*ANNEXE IV*). Les atouts principaux de ce type d'indicateur sont sa simplicité de collecte et sa facilité de communication mais la qualité indicatrice et leurs précisions restent souvent encore peu connues. Aucune espèce indicatrice n'a été sélectionnée lors de ce stage dont le travail a été préférentiellement de tester les traits floraux des différentes espèces végétales vis-à-vis des pollinisateurs en interaction avec la flore des habitats naturels étudiés.

L'ensemble des critères en ANNEXE IV pourront faire l'objet d'un test au sein du projet SurPas afin de sélectionner les plus pertinents pour les différents types d'habitats de prairies et de pelouses de France, en suivant notamment les questionnements listés ci-dessus, en 1.2.2 Notion d'indicateur et critères de sélection.

5.3 LIMITES DES TRAVAUX REALISES

La petite taille des populations échantillonnées limite les performances des tests statistiques (tel que le Chi² réalisé dans ce stage) pour l'évaluation des interactions entre la flore et les pollinisateurs.

Cependant, la force de ces travaux réside dans le fait que la collecte des données sur les pollinisateurs a été réalisée conjointement aux données de traits floraux sur le terrain, et ce sur chaque placette sélectionnée. Les données collectées ont été complétées par des données en provenance de la bibliographie uniquement pour des critères descriptifs potentiellement peu variables d'un individu à l'autre, ou caractéristique de l'espèce (type d'inflorescence, couleur de la fleur, soudure de la corolle ...). Ainsi, le lien entre la présence d'une espèce pollinisatrice et un trait floral donné correspond majoritairement à une donnée effectivement observée sur le terrain, et non extrapolée.

L'évaluation des ressources nectarifères et pollinifères n'a pas été évaluée pour cette session de terrain 2020, faute de temps et du matériel *ad hoc* à la suite des problèmes de transports pendant la période de crise sanitaire. Ces données manquantes limitent bien sûr l'évaluation du lien entre les pollinisateurs et la flore présente. Elles seront obtenues lors de la prochaine session de terrain (2021). Lors de ces mesures futures, il sera important de noter au minimum la présence ou l'absence de nectar et de pollen des espèces présentes sur la placette, et ce de manière contiguë aux captures actives pour pouvoir évaluer le lien direct entre les effectifs observés de pollinisateurs butinant et la présence de nectar. En effet, sous de fortes chaleurs, le nectar pourrait s'évaporer et rapidement évoluer dans le temps.

Les captures ont été réalisées à un instant t, ne pouvant refléter la totalité des espèces pollinisatrices présentes sur l'habitat naturel. Cependant, en programmant les sessions de capture à un moment de fort développement des fleurs et sur des créneaux de date et de conditions météorologiques idéales, on espère avoir au moins capturé les taxons de pollinisateurs les plus communs sur chaque milieu, et qui pourront être identifiés plus précisément via la réalisation d'une nouvelle session de terrain.

6 CONCLUSION

Le travail réalisé lors de ce stage a permis la préparation et la réalisation d'un état des lieux pour le projet SurPas et Polliflor, grâce à la collecte de données floristiques et de pollinisateurs sur le terrain et à partir de la bibliographie, à l'identification de critères évalués lors des stages précédents, ainsi que grâce à la réalisation de premières analyses sur les aspects fonctionnels des habitats naturels.

Ce stage a ainsi abouti à la caractérisation et à la sélection des unités de végétations pour Polliflor, et grâce aux analyses de produire de premiers éléments de caractérisation et de compréhension de l'attractivité de la flore pour les pollinisateurs. Il reste encore à effectuer la mesure des ressources nectarifères et pollinifères du milieu, de réaliser une identification à l'espèce des insectes pollinisateurs capturés et de poursuivre les enquêtes agropastorales pour la caractérisation précise des pratiques agricoles réalisées sur les différentes placettes.

Pour poursuivre la thématique de ce stage et du projet SurPas, l'évaluation de l'état de conservation des habitats agropastoraux demande une mise en place de référentiels objectifs auxquels comparer les habitats prairiaux et pelousaires dont l'état de conservation est évalué (MACIEJEWSKY ET AL., 2015).

Ces référentiels demandent d'intégrer des questions sociales et économiques dans les problématiques environnementales actuelles, pour une prise en compte multifonctionnelle des milieux naturels en accord avec le développement durable (LEPART ET AL., 2000 ; MEA, 2005 ; MACIEJEWSKY ET AL., 2015). Il faudra alors produire et analyser des données de références pour l'évaluation de l'état de conservation des habitats agropastoraux, par exemple en confrontant les attendus des acteurs locaux à des critères agronomiques, environnementaux et écologiques objectivables identifiés à partir de la bibliographie. Enfin, il sera possible de tester ces résultats à partir de relevés effectués sur le terrain, afin de sélectionner les indicateurs pertinents pour évaluer l'état de conservation des habitats naturels.

7 BIBLIOGRAPHIE

- AGRESTI, ALAN, 2007. *An Introduction to Categorical Data Analysis*. Second Edition. Hoboken : Wiley. Wiley series in probability and statistics. ISBN 978-0-471-22618-5.
- ARTAUD, ALOÏS, 2011. *Impact de la recrudescence des sécheresses sur les systèmes herbacés subalpins : Conséquences sur les services écosystémiques*. Mémoire. Grenoble. Laboratoire d'Ecologie Alpine.
- ASSOCIATION TELA BOTANICA, 2020. *Tela Botanica* [en ligne]. 2020. S.l. : Tela Botanica. Disponible à l'adresse : <https://www.tela-botanica.org>.
- BALDOCK, KATHERINE C. R., GODDARD, MARK A., HICKS, DAMIEN M., KUNIN, WILLIAM E., MITSCHUNAS, NADINE, OSGATHORPE, LYNNE M., POTTS, SIMON G., ROBERTSON, KIRSTY M., SCOTT, ANNA V., STONE, GRAHAM N., VAUGHAN, IAN P. ET MEMMOTT, JANE, 2015. *Where is the UK's pollinator biodiversity? The importance of urban areas for flower-visiting insects*. In : *Proceedings of the Royal Society B*. 2015. Vol. 282, n° 1803. DOI : <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.2849>.
- BARNIER, JULIEN, BRIATTE, FRANÇOIS ET LARMARANGE, JOSEPH, 2020. *questionr: Functions to Make Surveys Processing Easier* [en ligne]. 16 mai 2020. S.l. : CRAN. Disponible à l'adresse : <https://juba.github.io/questionr/>.
- BENSETTITI, FARID, BOULLET, V., CHAUAUDRET-LABORIE, C. ET DENIAUD, J., 2005. « Cahiers d'habitats » Natura 2000. *Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 4 - Habitats agropastoraux*. Paris : MEDD/MAAPAR/MNHN. Éd. La Documentation française.
- BERNARD, PAULINE, THOMPSON, JOHN, GAUTHIER, PERRINE, KLESCZEWSKI, MARIO, PAPUGA, GUILLAUME ET PONS, VIRGINIE, 2013. *Suivre l'état de conservation des habitats naturels pour évaluer les mesures de gestion sur les espaces naturels sensibles de l'Hérault*. Guide technique. S.l. Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (CEFE), Conservatoire d'Espaces Naturels du Languedoc-Roussillon (CEN L-R).
- BIORET, FREDERIC ET ROYER, JEAN-MARIE, 2009. *Présentation du projet de déclinaison du Prodrôme des végétations de France*. In : *Journal Botanique de la Société Botanique de France*. Paris, 2009. p. 47-48.
- BORGY, BENJAMIN, VIOLLE, CYRILLE, CHOLER, PHILIPPE, GAMIER, ERIC, KATTGE, JENS, LORANGER, JESSY, AMIAUD, BERNARD, CELLIER, PIERRE, DEBARROS, GUILHEM, DENELLE, PIERRE, DIQUELOU, SYLVAIN, GACHET, SOPHIE, JOLIVET, CLAUDY, LAVOREL, SANDRA, LEMAUVIEL-LAVENANT, SERVANE, MIKOLAJCZAK, ALEXIS, MUNOZ, FRANÇOIS, OLIVIER, JEAN ET VIOVY, NICOLAS, 2017. *Sensitivity of community-level trait-environment relationships to data representativeness: A test for functional biogeography*. In : *Global Ecology and Biogeography*. 2017. p. 1-11. DOI : 10.1111/geb.12573.
- BOURNERIAS, M., PRAT, D. ET COLLECTIF DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE D'ORCHIDOPHILIE, 2005. *Les Orchidées de France, Belgique et Luxembourg, deuxième édition*. Mèze : Biotope. Collection Parthénope. ISBN 2-914817-11-8.
- CLAUDE, JOCELYN ET VANAPPELGHEM, CEDRIC, 2017. *Syrph the Net : une méthode d'évaluation mesurant l'impact de la gestion d'espaces naturels testée par un réseau de gestionnaires*. In : *Les invertébrés dans la conservation et la gestion des espaces naturels : Actes du colloque de Toulouse du 13 au 16 mai 2015*. Patrimoines naturels. Paris : Muséum National d'Histoire Naturelle. p. 105-110.
- COMMISSION EUROPÉENNE, 1992. *Directive 92/43/CEE du Conseil concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages*. 21 mai 1992. S.l. : s.n.
- COMMISSION EUROPÉENNE, 2013. *Interpretation Manual of European Union Habitats, version EUR 28*. S.l. Commission Européenne, DG-ENV.
- COMMISSION EUROPÉENNE, 2015. *Rapport de la Commission au Conseil et au Parlement européen : L'état de conservation de la Nature dans l'Union européenne*. 20 mai 2015. S.l. : s.n.
- COULMIN, ANTHONY, LEVEQUE, ANTOINE, BENSETTITI, FARID ET GAZAY, CAMILLE, 2020. *Biodiversité rare ou menacée : peu d'améliorations depuis 2007*. Paris. Commissariat général au développement durable, Ministère de la transition écologique et solidaire. ISSN : 2557-8510

- CRUZ, PABLO, DURU, MICHEL, THEROND, O., THEAU, JEAN-PIERRE, DUCOURTIEUX, C., JOUANY, C., AL HAJ KHALED, R. ET ANSQUER, P., 2002. *Une nouvelle approche pour caractériser les prairies naturelles et leurs valeur d'usage*. In : *Fourrages*. 2002. n° 172, p. 335-354. hal-02683047
- CRUZ, PABLO, THEAU, JEAN-PIERRE, LECLoux, E., JOUANY, C. ET DURU, MICHEL, 2010. *Typologie fonctionnelle de graminées fourragères pérennes : une classification multitraits*. In : *Fourrages*. 2010. n° 201, p. 11-17.
- DALE, VIRGINIA H. ET BEYER, SUZANNE C., 2001. *Challenges in the development and use of ecological indicators*. In : *Ecological indicators*. août 2001. Vol. 1, n° 1, p. 3-10. DOI : 10.1016/S1470-160X(01)00003-6.
- DE MANINCOR, NATASHA, 2019. *Ecologie des plantes et des pollinisateurs dans les prairies calcaires le long d'un gradient latitudinal en France : diversité des espèces et structure des réseaux d'interaction plantes-pollinisateurs*. Discipline « Biologie de l'environnement, des organismes, des populations, écologie ». Lille : Université de Lille.
- DEBAIVE, NICOLAS, DESTOMBES, ADELINe, DOUARD, ANNE, THOMPSON, JOHN ET TOUROULT, JULIEN, 2012. *Le Dossier : Mesurer l'état de conservation des habitats, comment ? pourquoi ?* In : *Espaces Naturels*. décembre 2012. n° 40, p. 26-39.
- DECOURTYE, AXEL, LECOMPTE, PHILIPPE, PIERRE, JACQUELINE, CHAUZAT, MARIE-PIERRE ET THIEBEAU, PASCAL, 2007. *Introduction de jachères florales en zones de grandes cultures : comment mieux concilier agriculture, biodiversité et apiculture ?*. In : *Courrier de l'environnement de l'INRA*. septembre 2007. n° 54, p. 33-56.
- DORMANN, C.F., 2011. *How to be a specialist? Quantifying specialisation in pollination networks*. In : *Network Biology*. 2011. Vol. 1, n° 1, p. 1-20.
- DORMANN, C.F., FRUEND, J., BLUETHGEN, N. ET GRUBER, B., 2009. *Indices, graphs and null models: analyzing bipartite ecological networks*. In : *The Open Ecology Journal*. 2009. Vol. 2, p. 7-24.
- DORMANN, C.F., GRUBER, B. ET FRUEND, J., 2008. *Introducing the bipartite Package: Analysing Ecological Networks*. In : *R News*. 2008. Vol. 8, n° 2, p. 8-11.
- FORNOFF, FELIX, KLEIN, ALEXANDRA-MARIA, HARTIG, FLORIAN, BENADI, GITA, VENJAKOB, CHRISTINE, SCHAEFER, H. MARTIN ET EBELING, ANNE, 2016. *Functional flower traits and their diversity drive pollinator visitation*. In : *Oikos*. 23 novembre 2016. Vol. 126, n° 7, p. 1-11. DOI : 0.1111/oik.03869.
- FOX, JOHN ET WEISBERG, SANFORD, 2019. *An R Companion to Applied Regression, Third edition* [en ligne]. 2019. S.l. : Sage, Thousand Oaks CA. Disponible à l'adresse : <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>.
- GALLAI, NICOLA, SALLES, JEAN-MICHEL, SETTELE, JOSEF ET VAISSIERE, BERNARD E., 2009. *Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline*. In : *Ecological Economics*. 2009. Vol. 68, p. 810-821.
- GASSER, M., VARLET, J. ET BAKALOWICZ, M., 2004. *Autoroutes et aménagements : Interactions avec l'environnement*. Presse Polytechniques et Universitaires Romandes. Lausanne : s.n. Gérer l'Environnement. ISBN 2-88074-549-7.
- GEHU, JEAN-MARIE, 2010. *Problématique de l'étude phytosociologique des forêts*. In : *Revue Forestière Française*. avril 2010. Vol. LXII, p. 219-228. DOI : 10.4267/2042/38936.
- GIRARDIER, MARION, 2019. *Sensibilité, fiabilité et généricité d'indicateurs de l'état de conservation des prairies de montagne (Territoire des Quatre-Montagnes, Vercors)*. Rapport de stage - Master 1. Grenoble. Université Grenoble Alpes.
- GOUJON, PIERRE, 2020. *Identification Assistée par Ordinateur : Les herbiers numériques* [en ligne]. 2020. S.l. : Université Pierre et Marie Curie : Biologie et Multimédia. Disponible à l'adresse : <http://abiris.snv.jussieu.fr/>.
- GOULNIK, JEREMIE, 2019. *Etude fonctionnelle de la fonction de pollinisation entomophile en prairie permanente sous l'effet d'un gradient d'intensification agricole*. Agronomie. Nancy : Université de Lorraine. HAL tel : <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-02559535>
- GOULNIK, JEREMIE, PLANTUREUX, SYLVAIN, THÉRY, MARC, BAUDE, MATHILDE, DELATTRE, MAUD, VAN REETH, COLIN, VILLERD, JEAN ET MICHELOT-ANTALIK, ALICE, 2020. *Floral trait functional diversity is related to soil characteristics and positively influences pollination function in*

- semi-natural grassland*. In : *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2020. Vol. 301, p. 1-12. DOI : 10/ghj9t7.
- GOULNIK, JEREMIE, PLANTUREUX, SYLVAIN, THERY, MARC, BAUDE, MATHILDE, DELATTRE, MAUD, VAN REETH, COLIN, VILLERD, JEAN ET MICHELOT-ANTALIK, ALICE, 2020. *Floral trait functional diversity is related to soil characteristics and positively influences pollination function in semi-natural grasslands*. In : *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2020. Vol. 301, p. 1-12. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107033>.
- HAAHTELA, TORI, SAARINEN, KIMMO, OJALAINEN, PEKKA ET AARNIO, HANNU, 2017. *Guide photo des papillons d'Europe*. Paris : Delachaux et Niestlé. ISBN 978-2-603-0254-8.
- HALLMANN, CASPAR A., SORG, MARTIN, JONGEJANS, EELKE, SIEPEL, HENK, HOFLAND, NICK, SCHWAN, HEINZ, STENMANS, WERNER, MULLER, ANDREAS, SUMSER, HUBERT, HORREN, THOMAS, GOULSON, DAVE ET DE KROON, HANS, 2017. *More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas*. In : *PLoS ONE*. 18 octobre 2017. Vol. 12, n° 10, p. 1-21. DOI : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>.
- HARDEGEN, MARION, GOURMELON, FRANÇOISE, BIORET, FREDERIC ET MAGNANON, SYLVIE, 2001. *La cartographie des habitats terrestres du réseau Natura 2000 en Bretagne*. In : *Mappemonde*. décembre 2001. Vol. 64, n° 4, p. 19-23.
- HARRINGTON, RICHARD, ANTON, CHRISTIAN, DAWSON, TERENCE P., DE BELLO, FRANCESCO, FELD, CHRISTIAN K., HASLETT, JOHN, KLUVANKOVA-ORAVSKA, TATIANA, KONTOGIANNI, ARETI, LAVOREL, SANDRA, LUCK, GARY W., ROUNSEVELL, MARK D. A., SAMWAYS, MICHAEL J., SETTELE, JOSEF, SKOURTOS, MICHALIS, SPANGENBERG, JOACHIM H., VANDEWALLE, MARIE, ZOBEL, MARTIN ET HARRISON, PAULA A., 2010. *Ecosystem services and biodiversity conservation : concepts and a glossary*. In : *Biodiversity Conservation*. 31 mars 2010. Vol. 19, n° 10, p. 2773-2790. DOI : 10.1007/s10531-010-9834-9.
- HERBERT, PAULINE, 2014. *Comment évaluer l'état de conservation des habitats ? Exemple des prairies humides*. Mémoire. Rennes. UMR Ecobio, CNRS - Université de Rennes 1.
- JANSSENS, XAVIER, BRUNEAU, ETIENNE ET LEBRUN, PHILIPPE, 2006. *Prévision des potentialités de production de miel à l'échelle d'un rucher au moyen d'un système d'information géographique*. In : *Apidologie*. 2006. Vol. 37, n° 3, p. 351-365. DOI : <https://doi.org/10.1051/apido:2006006>.
- JAVELLE, AURELIE ET SOUHEIL, HASSAN, 2011. *Le Dossier : Indicateurs de biodiversité, pour quoi faire ? comment faire ?*. In : *Espaces Naturels*. janvier 2011. n° 33, p. 20-33.
- JULVE, PHILIPPE, 1998. *Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la flore de France. Version 2020* [en ligne]. ff 1998. S.l. : s.n. Disponible à l'adresse : <http://perso.wanadoo.fr/philippe.julve/catminat.htm>.
- KLEIJN, DAVID, WINFREE, RACHAEL, BARTOMEUS, IGNASI, CARVALHEIRO, LUISA G., HENRY, MICKAËL, ISAACS, RUFUS, KLEIN, ALEXANDRA-MARIA, KREMEN, CLAIRE, M'GONIGLE, LEITHEN K., RADER, ROMINA, RICKETTS, TAYLOR H., WILLIAMS, NEAL M., ADAMSON, NANCY LEE, ASCHER, JOHN S., BALDI, ANDRAS, BATARY, PETER, FAYE, BENJAMIN, BIESMEIJER, JACOBUS C., BLITZER, ELEANOR J., BOMMARCO, RICCARDO, BRAND, MARIËTTE R., BRETAGNOLLE, VINCENT, BUTTON, LINDSEY, CARIVEAU, DANIEL P., CHIFFLET, REMY, COLVILLE, JONATHAN F., DANFORTH, BRYAN N., ELLE, ELIZABETH, GARRATT, MICHAEL P.D., HERZOG, FELIX, HOLZSCHUH, ANDREA, HOWELET, BRAD G., JAUKER, FRANK, JHA, SHALENE, KNOP, EVA, KREWENKA, KRISTIN M., LE FEON, VIOLETTE, MANDELIK, YAEL, MAY, EMILY A., PARK, MIA G., PISANTY, GIDEON, REEMER, MENNO, RIEDINGER, VERENA, ROLLIN, ORIANNE, RUNDLOF, MAJ, SARDINAS, HILLARY S., SCHEPER, JEROEN, SCILIGO, AMBER R., SMITH, HENRIK G., STEFFAN-DEWENTER, INGOLF, THORP, ROBBIN, TSCHARNTKE, TEJA, VERHULST, JORT, VIANA, BLANDINA F., VAISSIERE, BERNARD E., VELDTMAN, RUAN, WARD, KIMIORA L., WESTPHAL, CATRIN ET POTTS, SIMON G., 2015. *Delivery of crop pollination services is an insufficient argument for wild pollinator conservation*. In : *Nature communications*. 16 juin 2015. Vol. 6, n° 7414, p. 1-9. DOI : 10.1038/ncomms8414.
- KLESCZEWSKI, MARIO, 2007. *Elaboration de critères d'évaluation de l'état de conservation des habitats naturels du Parc National des Cévennes*. Montpellier. Conservatoire d'Espaces Naturels du Languedoc-Roussillon.

- KLESCZEWSKI, MARIO, 2012. *Évaluation de l'État de Conservation des Habitats Naturels d'Intérêt Communautaire contractualisés en Lozère - Échelle de l'Habitat et de l'Unité de gestion*. Guide méthodologique. Montpellier. Conservatoire d'Espaces Naturels du Languedoc-Roussillon.
- KLESCZEWSKI, MARIO, BARRET, JEREMIE, BAUDOT, CLEMENT ET FLEURY, JOSEPH, 2010. *Evaluer l'Etat de Conservation des habitats naturels à l'échelle du terrain : Approches dans le Languedoc-Roussillon*. In : *Revue Forestière Française*. 2010. Vol. 62, n° 3-4, p. 417-427. DOI : 10.4267/2042/38955.
- LAE - INPL, 2009. *e-FloraSys* [en ligne]. 2009. S.l. : INRA. Disponible à l'adresse : <http://eflorasys.univ-lorraine.fr/>.
- LAFAGE, DENIS ET PETILLON, JULIEN, 2013. *Impact of cutting date on carabids and spiders in wet meadow*. In : *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2013. n° 185, p. 1-8. DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.11.027>.
- LE FEON, VIOLETTE, 2010. *Insectes pollinisateurs dans les paysages agricoles : approche pluri-échelle du rôle des habitats semi-naturels, des pratiques agricoles et des cultures entomophiles*. Rennes : Université Rennes 1. HAL tel : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00566660>
- LE, S., JOSSE, J. ET HUSSON, F., 2008. *FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis*. In : *Journal of Statistical Software*. 2008. Vol. 25, n° 1, p. 1-18.
- LECOMTE, J., 1960. *Observations sur le comportement des abeilles butineuses*. In : *INRA Editions*. 1960. Vol. 3, n° 4, p. 317-327.
- LEMOINE, SUZY, 2015. *Evaluation de l'état de conservation des habitats agro-pastoraux de deux sites Natura 2000 sur le territoire du Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne : Chaîne des Puys et Cézallier*. Mémoire. AYDAT. Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne.
- LEPART, JACQUES, MARTY, PASCAL ET ROUSSET, OLIVIER, 2000. *Les conceptions normatives du paysage. Le cas des Grands Causses*. In : *Natures Sciences Sociétés*. 2000. Vol. 8, n° 4, p. 16-25.
- MACIEJEWSKY, LISE, 2012. *Etat de conservation des habitats agropastoraux d'intérêt communautaire : Méthode d'évaluation à l'échelle du site Natura 2000*. Rapport d'étude. Paris. Service du Patrimoine Naturel, Muséum National d'Histoire Naturelle.
- MACIEJEWSKY, LISE, 2019. *Programme de surveillance des habitats terrestres UMS PatriNat : Document à l'intention du consortium du projet SURPAS*. Document numérique. mars 2019. S.l. : s.n.
- MACIEJEWSKY, LISE, SEYTRE, LAURENT, VAN ES, JEREMIE ET DUPONT, PASCAL, 2015. *Version 3 : Etat de conservation des habitats agropastoraux d'intérêt communautaire : Méthode d'évaluation à l'échelle du site Natura 2000*. Guide d'application. Paris. Muséum National d'Histoire Naturelle.
- MEA, 2005. *Ecosystems and human well-being*. Washington D.C.:Island Press. Millenium Ecosystem Assessment (Program).
- MNHN, 2019. *Fiche technique FR8301052 - CHAÎNE DES PUYES* [en ligne]. décembre 2019. S.l. : s.n. [Consulté le 28 août 2020]. Disponible à l'adresse : <https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR8301052>.
- NATIONS UNIES, 1992. *Convention sur la Diversité Biologique*. 1992. S.l. : s.n.
- NIEMI, GERALD J. ET MCDONALD, MICHAEL E., 2004. *Application of Ecological Indicators*. In : *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematic*. 10 juin 2004. Vol. 35, p. 89-111. DOI : 10.1146/annurev.ecolsys.35.112202.130132.
- NOSS, REED F., 1990. *Indicators for Monitoring Biodiversity : A Hierarchical Approach*. In : *Conservation Biology*. décembre 1990. Vol. 4, n° 4, p. 355-364. DOI : 10.1111/j.1523-1739.1990.tb00309.x.
- PECHEUR, ANNE LAURE, 2008. *Evaluation de l'état de conservation des habitats : Etude des habitats fluviaux dans le réseau Réserves Naturelles de France*. Mémoire. Dijon. Réserves Naturelles de France.
- PODGAISKI, LUCIANA R., JONER, FERNANDO, LAVOREL, SANDRA, MORETTI, MARCO, IBANEZ, SEBASTIEN, MEDONCA, MILTON DE S. ET PILLAR, VALERIO D., 2013. *Spider Trait Assembly Patterns and Resilience under Fire-Induced Vegetation Change in South Brazilian Grasslands*. In : *PLoS ONE*. 28 mars 2013. Vol. 8, n° 3, p. 1-11. DOI : doi:10.1371/journal.pone.00602.
- PRADET, JENNYFER, 2014. *Evaluation du potentiel des services de pollinisation et de lutte biologique rendus par l'entomofaune auxiliaire des prairies du Marais poitevin*. Rapport de stage - Licence 3 professionnelle. Rennes. UMR Ecobio, CNRS - Université de Rennes 1.

- PRITSCH, GÜNTER ET DRONNEAU, CHRISTIAN, 2020. *Reconnaître facilement 220 plantes mellifères : repérer, identifier, planter, protéger*. Paris : Delachaux et Niestlé. ISBN 978-2-603-02673-1.
- R CORE TEAM, 2012. *R: A language and environment for statistical computing*. [en ligne]. Vienne (Autriche) : R Foundation for Statistical Computing. ISBN 3-900051-07-0. Disponible à l'adresse : <http://www.R-project.org/>.
- RAMEAU, JEAN-CLAUDE, MANSION, D., DUME, G., TIMBAL, J., LECOINTE, A., DUPONT, PASCAL ET KELLER, R., 1989. *Flore Forestière Française : guide écologique illustré. Tome 1 Plaines et Collines*. Nancy : Institut pour le Développement Forestier. ISBN 2-904740-16-3.
- RSTUDIO TEAM, 2020. *RStudio: Integrated Development for R* [en ligne]. 2020. S.l. : RStudio, PBC, Boston, MA. Disponible à l'adresse : <http://www.rstudio.com/>.
- STREETER, DAVID, HART-DAVIS, CHRISTINA, HARDCASTLE, AUDREY, COLE, FELICITY ET HARPER, LIZZIE, 2017. *Guide Delachaux des Fleurs de France et d'Europe : 2e édition revue et augmentée*. Paris : Delachaux et Niestlé. ISBN 978-2-603-02501-7.
- THEBAUD, GILLES, ROUX, CAMILLE, BERNARD, CHARLES-ETIENNE ET DELCOIGNE, ARNAUD, 2014. *Guide d'identification des végétations du nord du Massif central : Associations végétales et habitats naturels*. Clermont-Ferrand : Presses universitaires Blaise Pascal. ISBN 978-2-84516-675-2.
- THOMAS, R. ET BUSTI, D., 2009. *Bruyère ou callune ? (site internet)* [en ligne]. 2009. S.l. : ENS Lyon. Disponible à l'adresse : <http://biologie.ens-lyon.fr/ressources/Biodiversite/Documents/la-plante-du-mois/bruyere-ou-callune>.
- TISSON, J.-M. ET DE FOUCAULT, B., 2014. *FLORA GALLICA : Flore de France*. Première édition. Mèze : Biotope Editions. ISBN 978-2-36662-012-2.
- UFZ ET BFN, 2020. *BiolFlor : search and information system on vascular plants in Germany (Version 1.1 - web-service)* [en ligne]. 2020. S.l. : Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH. Disponible à l'adresse : <https://www.ufz.de/biolflor/index.jsp>.
- VILLEMANT, CLAIRE, 2005. *Les nids d'abeilles solitaires et sociales*. In : *Insectes*. 2005. Vol. 137, n° 2, p. 13-17.
- VILLENAVE-CHASSET, JOHANNA, 2017. *Biodiversité fonctionnelle : Protection des cultures et auxiliaires sauvages*. Paris : Editions France Agricole. Agriproduction. Univers agricole. ISBN 978-2-85557-515-5.
- WICKHAM, HADLEY, 2016. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis* [en ligne]. New York : Springer-Verlag. ISBN 978-3-319-24277-4. Disponible à l'adresse : <https://ggplot2.tidyverse.org/>.

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE I : PROTOCOLES SIMPLIFIES D'ACQUISITION DES DONNEES LORS DES RELEVES DE TERRAIN 2019.....	2
ANNEXE II : PROTOCOLE SIMPLIFIE D'ACQUISITION DES DONNEES LORS DES RELEVES DE TERRAIN 2020	6
ANNEXE III : LISTE DES DONNEES RELEVES LORS DU TERRAIN EN 2019 ET DISPONIBLES AU SEIN DU PROJET SURPAS.....	9
ANNEXE IV : BILAN DES CRITERES IDENTIFIES LORS DES PRECEDENTS STAGES RELATIFS A L'ETAT DE CONSERVATION OU A L'EVALUATION DES HABITATS NATURELS, EFFECTUES DANS LES UNITES DE RECHERCHES PARTICIPANT AU PROJET SURPAS.....	10

Méthode de calcul de la somme des températures-jour (méthode du protocole RMT Prairies)

- Récupérer les données des températures minimales T_j^{min} et maximales T_j^{max} journalières de la station météo la plus proche du site étudié (utiliser les données Météo France, disponible sur le site Météo Ciel p. ex.).
- Calculer les degrés-jour DJ pour chaque jour de la période de février à juin (au moins) :

$$DJ = \frac{T_j^{max} - T_j^{min}}{2} - T_{base} ; \text{ avec } T_{base} = 0^{\circ}\text{C}$$

- Si besoin, appliquer une correction aux DJ :
 - Selon la différence d'altitude entre la zone étudiée et la station : -1°C pour $+100$ m d'altitude ;
 - Si $DJ < 0^{\circ}\text{C}$, considérer la somme de température du jour à 0 degrés-jours ;
 - Si $DJ > 18^{\circ}\text{C}$, considérer la somme de température du jour à 18 degrés-jours.
- Enfin, calculer le cumul des degrés-jour à compter du 1^{er} février.
- Pour estimer le cumul des degrés-jour pour des dates ultérieures :
 - Calculer la moyenne des degrés-jour DJ_j^{moy} de la période d'intérêt sur les 5 à 10 dernières années ;
 - Cumuler les DJ_j^{moy} à la somme des température-jours actuelle à compter du jour présent.

Choix de la placette

Le site d'étude correspond au site Natura 2000 auxquels se rattachent le secteur d'échantillonnage. Pour un site Natura 2000 est sélectionné au moins 10 unités de végétation (UV*) avec pour chaque UV 3 répliques, soit au moins 30 placettes suivies par site Natura 2000.

L'unité de végétation (UV*) correspond à un ensemble floristique homogène dans un lieu donné, en termes de physionomie de la végétation, de composition floristique dominante, de microtopographie du sol et d'ouverture du couvert herbacée. Attention à bien éviter les effets de lisières lors de la sélection des placettes.

Le réplique correspond à une répétition de l'UV homogène dans l'espace. Ceux-ci doivent tous correspondre au même habitat naturel, et doivent être situées dans :

(i) des patchs d'habitats naturels séparés au minimum de plusieurs centaines de mètres (afin de limiter l'autocorrélation spatiale entre ces répliques) et dans des parcelles différentes ;

Si (i) impossible => (ii) des patchs d'habitats naturels distincts séparés par des distances inférieures à la centaine de mètres, idéalement dans des parcelles différentes ;

Si (ii) impossible => (iii) le même patch d'habitat et la même parcelle mais avec des placettes espacées de plusieurs centaines de mètres.

Si (iii) impossible => (iv) Signaler les cas particuliers de répliques situés au sein du même patch d'habitat, même parcelle et placettes espacées de moins d'une centaine de mètres.

Une placette correspond à la zone de prélèvement, il s'agit d'un carré de 10 m de côté à matérialiser sur le terrain. Prendre les points GPS correspondant au centre et aux 4 coins et indiquer le système de coordonnées de référence utilisé (préférentiellement Lambert 93). Schématiser sa localisation et relever la position topographique de la placette. Mesurer la pente dominante de la placette (en pourcent) et l'orientation de la pente dominante (en degrés) respectivement à l'aide d'un clinomètre et d'une boussole.

Au sein de cette placette, un quadrat central de 4*4 m est matérialisé (nommé Q16), et 5 quadrats de 1*1 m sont aléatoirement sélectionnés (nommés Q1).



Méthode de prélèvement de la biomasse végétale

Date de prélèvement de biomasse : entre 500 et 600 degrés-jour.

Matérialiser 5 surfaces de prélèvement de 20*20 cm aléatoirement au sein de la placette, mais en dehors du quadrat central.

Mesurer en 3 points aléatoire dans chaque surface la hauteur de végétation standard (soit renfermant 90% de la biomasse de la zone) à l'aide d'une baguette graduée au centimètre.

Couper à l'aide d'une cisaille l'ensemble de la biomasse végétale aérienne de chaque surface de prélèvement à une hauteur au sol comprise entre 1 et 3 cm (selon la quantité de biomasse aérienne) puis noter la hauteur de prélèvement réelle à 0,5 cm près. L'objectif est d'atteindre au moins 40 g de matière sèche prélevée, sans emporter d'éléments qui étaient présent dans la litière. Noter la date de prélèvement et l'identifiant de la placette sur chaque sachet d'échantillon en entourant le numéro de la surface de prélèvement (de E1 à E5).

Si la somme des masses des échantillons n'attend pas 40 g de matière sèche, augmenter le nombre de surfaces de prélèvement et noter le nombre final de surface prélevées sur la fiche de chaque placette.

Mesurer la hauteur de litière de chaque surface de prélèvement en centimètre (soit la couche de débris végétaux détachés des plantes et non enracinés).

Au labo, sécher les échantillons à 60°C pendant 48 h, puis peser individuellement les sachets après tamisage pour éliminer les particules de sol et de litière éventuellement prélevées. Le séchage doit s'effectuer rapidement pour éviter le développement de moisissures dans les échantillons.

Méthode de caractérisation et d'échantillonnage du sol

Réaliser trois sondages du sol à l'aide d'une tarière pédologique à proximité immédiate du Q16 et hors des zones de fèces ou de leur proximité immédiate. Disposer les carottes pour chaque sondage sur une gouttière graduée selon leur profondeur de prélèvement. Prendre une photographie des profils de sol. Décrire le sol en mesurant la profondeur de plancher de chaque horizon et en estimant pour chaque horizon : l'abondance racinaire relative, la texture, la matière organique, la quantité de tâches d'oxydation, et de réduction, le pourcentage la taille et la nature des éléments grossiers.

Prélever chaque horizon indépendamment qui cumulent plus de 80% des racines du profil afin d'obtenir au minimum 400 g de sol fin séché à l'air libre (hors éléments grossiers). Si besoin, réaliser de nouveaux sondages comme ci-dessus. Réunir l'ensemble des prélèvements d'un même horizon dans un même sachet zippé, muni d'une étiquette avec les identifiants de la placette, de l'horizon et la date de prélèvement.

Méthode de recueil des pratiques agro-pastorales

In situ, relever à partir d'indices visuels sur chaque placette le type de gestion (fauche, pâture, mixte, abandon ou autre), son intensité (faible, modéré, fort), le type de fertilisation (organique, chimique, mixte) et le taux de raclage (% de prélèvement de la phytomasse herbacée en fin de saison de pâturage).

Via des enquêtes agropastorales, recueillir auprès de chaque exploitants leurs pratiques sur la parcelle agricole contenant chaque placette de relevé (*Fiche d'enquête simplifiée*) :

Description générale de l'exploitation (source : Prairies fleuries)

Nom de l'exploitation :

Nom de l'exploitant :

Type d'exploitation : GAEC Exploitation individuelle Autre :

Productions principales : Cultures Bovins lait Bovins viande Ovins lait Ovins viande Caprins lait Caprins viande Autre :

Fonctionnement : Conventuel Bio

SAU totale (ha)

Part de prairies naturelles sur la SAU totale (en %) :

Chargement moyen sur l'exploitation (nb UGB/SAU fourragère) :

Description de la parcelle concernée

Surface (ha) :

Altitude (m) :

Pente : Aucune Faible Moyenne Forte

Type de faciès : Prairie maigre Prairie grasse Prairie humide Pelouse

Echelle placette (chaque placette de chaque répétition UV)

Pratique agropastorale dominante : Fauche Pâture Autre :

Dissocier les informations sur les pratiques agro-pastorales selon les séquences/périodes de l'année

Fauche :

Période(s), nombre de coupe & période & quantité exportée (paillage ou foin), hauteur de coupe, rendement/parcelle (quid si parcelle hétérogène sur le plan de la végétation).

Pâture :

Période(s), intensité (charge instantanée et annuelle), type d'animaux et % dans le troupeau, apport de foin et période d'apports le cas échéant, traitements appliqués (vermifuge, ...), taux de raclage de la parcelle, hauteur du couvert & son hétérogénéité (forte/faible) sur la parcelle en fin de saison, présence de refus et espèces du refus le cas échéant.

Fertilisation : Oui Non ; Minérale Organique ; Préciser le produit/effluent :

Quantité :

Période(s) (le plus précis possible) :

Entretien : Hersage Oui Non, Profondeur : ; Broyage Oui Non, Hauteur :

Période(s) :

Zone inondée dans la parcelle : Oui Non

Pratiques changeantes d'une année sur l'autre : Oui Non ; Si oui, préciser l'itinéraire technique :

Utiliser éventuellement une frise calendrier pour aider l'agriculteur à situer les pratiques sur la parcelle sur toute une saison

Méthode de relevé de la composition floristique

Au sein de chaque quadrat Q16 et Q1, prendre une photographie de la végétation et relever l'ensemble des taxons végétaux vasculaires présents ainsi que leur pourcentage de recouvrement (à 5% près) par rapport à la surface du quadrat.

Méthode de relevé des critères « habitat d'espèces »

Sur chaque quadrat Q1 relever les informations relatives au : pourcentage de recouvrement et nombre de plages de sol nu, pourcentage de recouvrement des roches et éléments grossiers en surface, des rosettes de plantes et des fèces, recouvrement de la strate muscinale, herbacée et des ligneux, présence ou absence de coprophages dans les fèces, mesure de la hauteur standard de la végétation et de l'épaisseur de la litière, pourcentage de recouvrement des fleurs ouvertes de chaque taxons végétal vasculaire (hors graminoides) sur le quadrat.

Définition des éléments d'échantillonnages et nomenclature des identifiants

Site Natura 2000 – N2000 : correspond au site Natura 2000 auquel se rattache le secteur d'échantillonnage. Son identifiant est un code à 3 lettres liée au nom du site Natura 2000 (p. ex. PUY, POI).

Unité de végétation – UV : correspond à une unité homogène de végétation au sens phytosociologique et aux niveaux écologique, gestion et dynamique. Son identifiant est une lettre en majuscule propre à chaque site (p. ex. PUY_A, POI_D).

Réplica – R : correspond à une répétition d'une unité de végétation homogène dans l'espace. Son identifiant correspond à celui de l'UV suivi du numéro du réplica (p. ex. PUY_A1, POI_D3).

Placette – P : correspond au carré de 10 x 10 m au sein duquel l'échantillonnage sera réalisé. Etant unique par réplica, la placette a le même identifiant que celui-ci.

Quadrats – Q1 ou Q16 : correspond à la plus petite unité d'échantillonnage (un quadrat 4 x 4 m, soit 16m², nommé Q16, et 5 quadrats 1 x 1 m, soit 1m², nommés Q1). Son identifiant est celui de la placette, suivi du type de quadrat, et pour les Q1 du numéro de quadrat réalisé (p. ex., PUY_A1_Q16, POI_D3_Q1-5).

ANNEXE II : Protocole simplifié d'acquisition des données lors des relevés de terrain 2020

Les placettes sélectionnées pour la réalisation de l'acquisition des données pour le projet Polliflor doivent être élargies de 5 m de chaque côté pour avoir une **placette finale de 10*20 m**. Attention à rester dans une zone de végétation homogène. **Prendre les points GPS** correspondant aux 4 coins de la nouvelle placette et indiquer le système de coordonnées de référence utilisée pour la prise de points (préférentiellement en Lambert 93).

Matérialiser les 4 coins de la placette et 5 couloirs de 2 m de large dans la longueur de la placette pour les captures actives.

Obligation : 72H de journée ensoleillée (sans pluie + vent < 5m.s-1), 48h avec $T^{\circ} > 15^{\circ}\text{C}$ pour les captures passives et 24h avec $T^{\circ} \geq 18^{\circ}\text{C}$ pour les captures actives des pollinisateurs. Captures actives à réaliser entre 10h et 18h. Les 3 répliques d'une même unité de végétation sur un site SurPas doit être fait le même jour.

Méthode de capture active au filet

a) Préparation des captures :

Au notateur :

- ✓ Préparer le sachet de stockage des captures (DATE + ID PLACETTE + SESSION)
- ✓ Préparer la fiche de terrain (ID PLACETTE + DATE + AUTEURS + TEMPERATURE & VENT + HEURE DE DEBUT)
- ✓ Sortir le chronomètre

Au collecteur :

- ✓ Monter le filet
- ✓ Mettre des flacons dans son sac à sa ceinture (minimum 30)
- ✓ S'installer au début du transect

NOTA : Le notateur suivra le collecteur à l'extérieur de la placette avec la glacière. Le notateur détient le chronomètre et la fiche.

b) Captures actives des pollinisateurs :

Lorsque le collecteur et le notateur sont prêts, lancer le chronomètre pour le départ des captures actives. Le collecteur se déplace d'une marche lente le long des couloirs de 2 m matérialisant le transect de captures. **Lorsqu'un insecte est repéré** par le collecteur en train de butiner sur une fleur, **stopper le chronomètre**.

Le collecteur procède à la **capture des individus** qui butinent présent sur la fleur observée et met l'ensemble **dans un même tube**, qu'il transmet au notateur avec le nom de la fleur. Le notateur indique sur la fiche le numéro de l'interaction, le nom de la fleur butinée (à l'espèce), l'ordre de chaque individu pollinisateur collecté et leur nombre. Sur le tube, il faut marquer à l'aide d'un marqueur fin l'identifiant de l'interaction et le code de la fleur, et le mettre dans une glacière.

L'identifiant de l'interaction se compose de l'identifiant de la placette, suivi de celui de la session, et du numéro de l'interaction (p. ex., le 12^e coup de filet de la 2^e session de la placette A1 : A1_S2_12).

L'espèce végétale est indiquée via un code, composé des 3 premières lettres du genre suivi des 3 premières lettres de l'espèce (p. ex. *Galium pumilum* = GALPUM). Les espèces végétales nécessitant une correction pour éviter les doublons de code au sein de la flore relevée dans SurPas sont :

Nom binomial	CODE FLORE VALIDE
<i>Carum carvi</i>	CARUCAR
<i>Cirsium eriophorum</i>	CIRERIO
<i>Cirsium eristhales</i>	CIRERIS
<i>Knautia arvernensis</i>	KNAARVE
<i>Reseda luteola</i>	RESLUTE
<i>Rumex acetosella</i>	RUMACET
<i>Trifolium angustifolium</i>	TRIANGU
<i>Verbena officinalis</i>	VERBOFF
<i>Veronica officinalis</i>	VEROOFF

Lorsque le collecteur est prêt, il peut indiquer la reprise du chronomètre qui sera faite par le notateur afin de poursuivre le transect de là où il s'était arrêté.

La fin de capture s'effectue lorsque l'on atteint **20 min de captures nettes** (temps indiqué au chronomètre). Si le collecteur fini le transect avant la fin du temps de capture, il continue les captures en remontant celui-ci à l'envers, ainsi de suite. Le collecteur veillera à toujours avoir des tubes sur lui lors des captures.

Au laboratoire, les insectes sont conservés **au congélateur** dans l'attente de leur montage sur épingle pour leur identification.

Méthode de comptage des unités florales

Placer aléatoirement **7 quadrats** de 1*1 m au sein de la placette. La seule contrainte au placement est que l'ensemble de la surface fleurie doit être représentée dans ces quadrats en termes de richesse et d'abondance.

Sur chaque quadrat, pour chaque espèce végétale angiosperme hors graminoides (joncacées, cypéracées et poacées), **compter le nombre d'unités florales** puis **le nombre moyen de fleurs** ou de fleurons ouverts par unité florales. Les unités florales doivent avoir au moins une fleur ouverte pour être comptée.



L'unité florale correspond à toute ou partie de l'inflorescence dont les fleurs sont suffisamment proches pour que l'insecte pollinisateur n'ait pas besoin de s'envoler pour se déplacer sur celle-ci.

Noter pour chaque espèce végétale le type d'unité florale retenu, en cas de doute considérer la fleur seule. En référence à ce choix de l'unité florale, utiliser : *Baldock, K. C. R., Goddard, M. A., Hicks, D. M., Kunin, W. E., Mitschunas, N., Osgathorpe, L. M., Potts, S. G., Robertson, K.M., Scott, A. V., Stone, G. N., Vaughan, I. P. and Memmott, J. (2015) Where is the UK's pollinator biodiversity? The importance of urban areas for flower-visiting insects. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 282 (1803).*

Méthode de mesure des traits floraux sur la végétation

Pour chaque espèce végétale angiosperme hors graminoides de l'ensemble des relevés botaniques réalisés sur l'ensemble du site Natura 2000, mesurer la hauteur et l'aire florale de l'unité florale **sur 8 individus** pour chaque espèce végétale identifiée.

La hauteur se mesure tige tendue, au millimètre, de la base de la tige à l'insertion racinaire jusqu'au sommet de l'unité florale mesurée.

L'aire florale se mesure selon la forme de l'unité florale, par le diamètre de l'unité florale si celle-ci est ronde, et par sa largeur et sa longueur si celle-ci est rectangulaire. La forme est toujours évaluée vue face à l'ouverture des fleurs de l'inflorescence.

Méthode de mesure des tubes à nectar

Pour chaque espèce végétale angiosperme hors graminoides de l'ensemble des relevés botaniques réalisés sur l'ensemble du site Natura 2000, **prélever 10 unités florales** sur des individus différents. Disposer l'ensemble des échantillons d'une même espèce dans un tube de type Gosselin **dans l'alcool à 70°**. Mettre une étiquette de papier calque indiquant au crayon de papier le code de l'espèce végétale, l'identifiant de la placette et la date de prélèvement.

Au laboratoire, mesurer la profondeur des tubes à nectar sous loupe binoculaire et à l'aide d'un logiciel spécialisé. La mesure du tube s'effectue des nectaires jusqu'à la zone d'évasement de la corolle, sur la zone dont le diamètre du tube ne dépasse pas 4 mm.

Si le diamètre du tube dépasse les 4 mm sur toute la longueur de la corolle, alors les nectaires sont considérés comme apparentes, et le tube à nectar à 0 mm. S'il n'y a pas de nectaires, le tube à nectar est considéré comme absent et indiqué dans le cadre de ce stage à l'aide du code « -1 ».

Méthode de capture passive à l'aide de coupelles colorées

Les captures passives s'effectuent à l'aide de 3 dispositifs de coupelles colorées par placettes.

Planter 3 piquets sur la longueur du couloir central du transect des captures actives, un à chaque bord et un central. S'aider si besoin d'une tarière et d'une masse.

Disposer une coupelle de chaque couleur (bleu/blanc/jaune) aléatoirement dans chaque porte-coupelle en plaçant la coupelle **centrale en direction du sud**. La hauteur du dispositif des coupelles colorée doit **correspondre à la hauteur standard de la végétation**.



Remplir chaque coupelle d'au moins 400 ml d'eau savonneuse. Noter l'heure de pose.

Revenir exactement 48 h après la pose des coupelles colorées pour leur prélèvement.

Pour chaque coupelle, **récolter l'ensemble des insectes** présents dans un tube de type Gosselin dans **l'alcool à 70°**. S'aider d'une pince souple, d'une petite pipette et d'un pinceau si nécessaire.

Les informations relatives à la couleur de la coupelle, au numéro du dispositif dans la placette, et à l'identifiant de la placette sont indiqués au crayon papier sur une **étiquette de papier calque**, disposé dans chacun des tubes. Les tubes d'un même dispositif sont disposés dans un sachet fermé, comme l'ensemble des sachets des trois dispositifs d'une même placette.

Démonter les porte-coupelles et retirer les piquets du sol. Attention lors du transport et de l'entreposage à maintenir les tubes bien droits pour éviter les fuites d'alcool.

Les données topographiques disponibles sont :

- Coordonnées GPS (Lambert 93) ;
- Position topographique et Morphologie locale ;
- Pente (%) ;
- Exposition (degré) ;
- Géologie ;
- Hétérogénéité de la végétation sur la parcelle agricole.

Les données floristiques disponibles sont :

- Présence / Absence des espèces ;
- Abondance (sur la Chaîne des Puys : évaluée par recouvrement de l'espèce végétative en %) ;
- Biomasse végétale (*Nombre de surfaces prélevées ; Hauteur de prélèvement & standard (cm) ; Epaisseur de la litière (cm) ; Biomasse verte & sèche (%)*) ;
- Données nutritionnelles (*Cellulose brute (g/kg) ; Matières minérales & azotées totales (g/kg) ; Digestibilité à la pepsine cellulase & de la matière organique (%) ; Unité fourragère lait & viande ; Protéines digestibles dans l'intestin (g/kg MS) ; Unités d'Encombrement Bovins & Lait & Moutons ; Balance Anions/Cations (mEq/kg MS) ; Bilan Electrolytique (mEq/kg MS) ; Phosphore & Calcium, dont absorbable & Magnésium & Potassium, dont absorbable & Sodium (g/kg) ; Cuivre & Zinc & Manganèse & Fer (mg/kg) ; Balance Protéique Ruminale (g/kg MS)*).

Les données agricoles disponibles sont :

- Type de gestion (Fauche, Pâturage ou Mixte) ;
- Intensité de gestion estimée (*Abandon ; Fauche : Annuelle / Pluriannuelle ; Pâturage : Faible / Modéré / Fort*) ;
- Taux de raclage (%) pour les placettes pâturées.

Les données agricoles à acquérir sont :

- Production principale de l'exploitation, Fonctionnement (*conventionnel ou bio*) et SAU totale (ha) ;
- Chargement moyen sur l'exploitation (UGB/SAU fourragère) ;

Les données pédologiques disponibles sont :

- Description des horizons du sol (*Profondeur (cm), Abondance racinaire (%), Texture, Hydromorphie, Eléments grossiers (%)*)
- Analyses physicochimiques (*Granulométrie, Carbone total & organique (g/kg), Azote total (g/kg), Phosphore assimilable (g/kg), CEC (mEq/100g), Carbonates (g/kg), Manganèse (g/kg), Potasse (g/kg), Sodium (g/kg), pH*).

Les données d'habitat d'espèces récoltées et disponibles sont :

- Pourcentage de sol nu (%) ;
- Nombre de plages de sol nu ;
- Roches et éléments grossiers (%) ;
- Recouvrement de la strate muscinale (%) ;
- Recouvrement de la strate herbacée (%) ;
- Recouvrement de la strate ligneuse (%) ;
- Recouvrement des rosettes de feuilles basilaires (%) ;
- Recouvrement des fèces (%) ;
- Présence/Absence de coprophages sur, dans et sous les fèces (%) ;
- Hauteur standard de la végétation (cm) ;
- Epaisseur de la litière (cm) ;
- Recouvrement des fleurs ouvertes pour chaque espèce végétale vasculaire (hors graminoides, i.e. *Juncaceae, Poaceae* et *Cyperaceae*) (%).

- Sur la parcelle agricole :
 - o Surface (ha) ; Altitude (m) ; Pente (*Aucun / Faible / Moyen / Fort*) ; Faciès (*Prairie Maigre / Grasse / Humide, Pelouse*) ;
 - o Fauche : *Surface ; Dates ; Hauteur de coupe (cm) ; Rendement* ;
 - o Pâturage : *Surface ; Dates ; Chargement instantanée & annuel ; Type d'animaux ; Traitements* ;
 - o Entretien : *Surface ; Dates ; Type* ;
 - o Fertilisation : *Surface ; Dates ; Quantité ; Type ; NPK* ;
 - o Changement de pratiques : *Annuel/Non ; Date du dernier changement*.

ANNEXE IV : Bilan des critères identifiés lors des précédents stages relatifs à l'état de conservation ou à l'évaluation des habitats naturels, effectués dans les unités de recherches participant au projet SurPas

	Composantes	Indicateur	Critères identifiés	Types de prairies	Stages sources
Composition	Identité de la flore	Richesse spécifique	<ul style="list-style-type: none"> • Richesse spécifique totale • Richesse en plantes de la liste « prairies fleuries » • Richesse spécifique en espèces indicatrices d'un bon état de conservation des prairies fauchées • Richesse en espèces turficoles et de mégaphorbiaies (prairies humides) • Richesse en espèces patrimoniales 	Montagnard (Vercors, Alpes) ; Plaine et moyenne montagne (Chaîne des Puys) ; Prairies humides (Marais Poitevin) ; Cultures (Marais Poitevin)	(GIRARDIER, 2019) (LEMOINE, 2015) (HERBERT, 2014) (PRADET, 2014) (ARTAUX, 2011)
		Composition floristique	<ul style="list-style-type: none"> • Présence d'espèces eutrophiles (%) • Présence d'espèces indicatrices du régime de fauche (prairie fauchées) • Recouvrement des espèces allochtones envahissantes (herbacée, ligneuses) • Recouvrement en <i>Juncus effusus</i> et en <i>Molinia caerulea</i> (prairie humide) • Présence d'espèces prairiales (prairie humide) • Proportion d'espèces hygrophiles sur le relevé • Proportion d'espèces potentielles selon les Cahiers d'habitats (en arbres, arbustes, herbacées et lianes) 	Plaine et moyenne montagne (Chaîne des Puys) ; Prairies humides (Marais Poitevin) ; Habitats fluviaux (France)	(LEMOINE, 2015) (HERBERT, 2014) (PECHEUR, 2008)
	Diversité de la flore	Indices de diversité	<ul style="list-style-type: none"> • Diversité de Shannon • Equitabilité de Piélou 	Montagnard (Vercors) ; Prairies humides (Marais Poitevin) ; Cultures (Marais Poitevin)	(GIRARDIER, 2019) (HERBERT, 2014) (PRADET, 2014)
Structure	Aspects de la végétation	Stratification et Recouvrements	<ul style="list-style-type: none"> • Recouvrement de ligneux (%) • Structure du peuplement forestier • Recouvrement total de la strate arborée et arbustive (%) 	Plaine et moyenne montagne (Chaîne des Puys) ; Habitats fluviaux (France)	(LEMOINE, 2015) (PECHEUR, 2008)
	Hétérogénéité spatiale	Patches d'habitats	<ul style="list-style-type: none"> • Présence, nombre et surface couverte par des habitats d'intérêts communautaires 	Prairies humides (Marais Poitevin)	(HERBERT, 2014)

Fonction	Esthétique	Attractivité visuelle	<ul style="list-style-type: none"> • Richesse, diversité et équitabilité des couleurs 	Montagnard (Vercors)	(GIRARDIER, 2019)
	Naturalité	Indice de naturalité	<ul style="list-style-type: none"> • Indice de naturalité bois mort • Flux de régénération • Composition de régénération 	Habitats fluviaux (France)	(PECHEUR, 2008)
	Valeur agronomique	Saisonnalité d'usage	<ul style="list-style-type: none"> • Indices de souplesse d'utilisation • Ratio Dicotylédones/Graminées • Indice de précocité • Indice de tardiveté 	Montagnard (Vercors)	(GIRARDIER, 2019)
		Qualité fourragère	<ul style="list-style-type: none"> • Indice de fréquence de refus au foin/pâturage • % Plantes aromatiques • Teneur en matière sèche de la végétation • Digestibilité 	Montagnard (Vercors, Alpes) ; Prairies humides (Marais Poitevin)	(GIRARDIER, 2019) ; (HERBERT, 2014) ; (ARTAUX, 2011)
		Production de fourrage	<ul style="list-style-type: none"> • Indices de productivité • Biomasse sur pied 	Montagnard (Vercors, Alpes) ; Prairies humides (Marais Poitevin)	(GIRARDIER, 2019) ; (HERBERT, 2014) ; (ARTAUX, 2011)
		Nutriments du sol	Fertilité	<ul style="list-style-type: none"> • Taux de minéralisation de l'azote du sol 	Prairies humides (Marais Poitevin)
	Pollinisation	Potentiel mellifère	<ul style="list-style-type: none"> • % Plantes mellifères • Richesse des plantes mellifères 	Montagnard (Vercors)	(GIRARDIER, 2019)
	Phénologie de la flore	Floraison	<ul style="list-style-type: none"> • Date de début de floraison 	Montagnard (Alpes)	(ARTAUX, 2011)
	Perturbations	Atteintes d'origines naturelles	<ul style="list-style-type: none"> • Proportion des surfaces impactées par le rat taupier • Proportion des surfaces couvertes par une litière • Proportion de sol nu ou perturbé (prairie humide) • Présence de ravageurs des cultures • Impact du sanglier 	Prairies de fauche uniquement (Chaîne des Puys) ; Prairies et cultures humides (Marais Poitevin) ; Habitats fluviaux (France)	(LEMOINE, 2015) ; (PRADET, 2014) ; (PECHEUR, 2008)
		Atteintes d'origines anthropiques	<ul style="list-style-type: none"> • Proportion des surfaces impactées par le tassement du sol par des engins • Présence de plantations • Proportion des surfaces recouvertes de fèces (prairie humide) • Présence de drains, blocs, ou autre aménagement (prairie humide) • Types de fertilisation et de produits phytosanitaires utilisés 	Prairies de fauche uniquement (Chaîne des Puys) ; Prairies et cultures humides (Marais Poitevin)	(LEMOINE, 2015) ; (PRADET, 2014)
		Dynamique de dégradation	<ul style="list-style-type: none"> • % Dicotylédones en rosettes • % Espèces rudérales • % Espèces nitrophiles 	Montagnard (Vercors)	(GIRARDIER, 2019)