

Optimisation des Bandes Fleuries en Zones Mésiques : Approche Expérimentale pour l'Établissement et la Gestion de ces aménagements en Milieux Humides et Bassins de Rétention



Eloïse PERRIN

Master 2 Sciences du vivant - Université de Strasbourg

Parcours Plantes, Environnement et Génie Écologique

Promotion 2022 - 2024

Maître de stage : Guillaume GRÉGOIRE, Professeur titulaire, Département de phytologie, Université Laval, Québec

Responsable de master : Isabelle COMBROUX, Enseignante-chercheuse, Laboratoire Image, Ville, Environnement (LIVE), Université de Strasbourg

Parcelle expérimentale en floraison (mélange 4A), avec *Centaurea cyanus*, *Cosmos bipinnatus*, *Phacelia tanacetifolia* et *Vicia villosa* en fleurs.

Vicia villosa et *Bombus* spp.

Centaurea cyanus et
Apis mellifera

Phacelia tanacetifolia et *Bombus*
spp.

REMERCIEMENTS

En premier lieu, je souhaite remercier toute l'équipe pédagogique du Master « Plantes, Environnement et Génie Écologique » de l'Université de Strasbourg pour ces deux années de formation enrichissantes.

Je tiens à remercier particulièrement mon tuteur, Guillaume GRÉGOIRE, professeur adjoint au Département de phytologie de la Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation de l'Université Laval, pour son accueil chaleureux, son encadrement, ses conseils avisés et sa disponibilité tout au long de mon stage. Son regard et ses conseils bienveillants m'ont permis de développer mes compétences quant à la réalisation d'un projet de recherche. Je lui suis évidemment reconnaissante pour sa confiance et pour m'avoir offert l'opportunité de réaliser un stage à Québec, où j'ai pu découvrir de nouveaux horizons.

Ma reconnaissance se porte également sur toute l'équipe du projet RARE (Recherche et Applications pour une Restauration Eclairée des milieux humides) pour leur accueil, leurs conseils avisés et leur expertise. Je remercie notamment, Madame Monique POULIN, Madame Laurence TURMEL-COURCHESNE, Monsieur Mathieu VAILLANCOURT et Madame Sandrine HUGRON. Je remercie au même titre, Aleksandar, Rosalie, Roxanne et tous.tes les étudiant.es du projet que j'ai rencontré pour les moments passés ensemble.

Je remercie également tous.tes mes camarades de la promotion 2022-2024 pour ces deux années sportives et riches en souvenirs. Je suis reconnaissante de vous avoir rencontrés et j'ai hâte de suivre vos parcours respectifs. Je garde de beaux souvenirs de toutes nos aventures sur le terrain sous toutes les conditions météorologiques.

Je tiens aussi à exprimer ma gratitude envers ma famille et mes amis, pour leur soutien inconditionnel depuis l'autre bout du monde et leur aide pour la rédaction de ce présent rapport. C'était précieux, de par les échanges et les phases de relectures. Je remercie enfin mon humain préféré pour son soutien et ses encouragements tout au long de cette expérience enrichissante.

RÉSUMÉ

La mise en place de bandes fleuries en zone mésiques, c'est-à-dire en milieu ni trop humide ni trop sec, tels que les bordures de milieux humides et talus de bassin de biorétention dans un contexte urbain à péri-urbain, a pour objectif l'amélioration de la biodiversité tant au niveau de la faune que de la flore, notamment en fournissant des ressources nutritives et des habitats propices aux pollinisateurs. L'objectif est alors de se focaliser sur l'importance d'adapter des mélanges de graines aux conditions locales du milieu, en sélectionnant minutieusement des espèces capables de s'y établir et d'y prospérer tout en limitant la colonisation par des espèces non semées, les adventices.

Les principaux résultats des aménagements fleuris testés en conditions expérimentales au sein de la ferme campus de l'Université Laval ont montré que certaines espèces ont un rôle majeur dans l'occupation du sol et l'attraction des pollinisateurs, tandis que d'autres espèces, essentiellement vivaces mais non moins pertinentes nécessitent quelques ajustements pour améliorer leur taux de germination et donc leur contribution à la diversité florale. Dès les premiers stades de développement après la germination des graines, il est important que les espèces semées s'établissent rapidement sur les niches vacantes. La phacélie se distingue par son fort recouvrement au stade juvénile, sa forte floribondité ainsi que l'attraction de nombreux pollinisateurs. Néanmoins, il est nécessaire de la combiner avec d'autres espèces recouvrant le sol et fournissant une diversité de ressources florales, comme la centaurée, la vesce velue ou encore le trèfle rouge. Une grande diversité d'espèce attire également une grande diversité de pollinisateurs tels que les bourdons, les abeilles domestiques, les syrphes mais aussi les plus sensibles à différents stress : les abeilles sauvages.

En somme, ce travail a pour intention de souligner l'importance de concevoir des bandes fleuries adaptées aux spécificités écologiques locales ainsi qu'aux besoins des pollinisateurs indigènes. L'une des principales répercussions sera d'accroître les services écosystémiques tout en soutenant durablement la biodiversité en plus d'agir contre le déclin des pollinisateurs.

MOTS CLÉS

Bandes fleuries, Floribondité, Pollinisateurs, Services écosystémiques, Connectivité écologique

ABSTRACT

The aim of planting flower strips in mesic zones, i.e. in environments that are neither too wet nor too dry, such as the edges of wetlands and the slopes of bioretention basins in an urban or peri-urban context, is to improve biodiversity in terms of both fauna and flora, in particular by providing nutritive resources and habitats that are favourable to pollinators. The goal is therefore to focus on the importance of adapting seed mixes to local environmental conditions, by carefully selecting species capable of establishing themselves and thriving there, while limiting colonisation by unsown species, known as weeds.

The main results of the flower arrangements tested under experimental conditions on the Université Laval campus farm showed that certain species play a major role in occupying the soil and attracting pollinators, while other species, which are essentially perennial but no less relevant, require a few adjustments to improve their germination rate and therefore their contribution to floral diversity. From the earliest stages of development after seed germination, it is important that the sown species quickly establish themselves in vacant niches. Phacelia stands out for its high coverage in the young stage, its high floridity and the fact that it attracts a large number of pollinators. However, it needs to be combined with other species that cover the ground and provide a diversity of floral resources, such as cornflower, hairy vetch or red clover. A wide range of species also attracts a wide range of pollinators, such as bumblebees, honeybees and hoverflies, as well as those most sensitive to various stresses: wild bees.

In summary, the purpose of this work is to highlight the importance of designing flower strips that are adapted to local ecological specificities and to the needs of native pollinators. One of the main repercussions will be to increase ecosystem services while sustainably supporting biodiversity, as well as acting against the decline in pollinators.

KEYWORDS

Flower strips, Floridity, Pollinators, Ecosystem services, Ecological connectivity

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	
Résumé	
Abstract	
Table des matières	
Table des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des annexes	
Avant-propos	
Introduction	1
Matériel et méthodes	7
Site d'étude.....	7
Choix des semences	7
Dispositif expérimental	9
Inventaires	11
Flore.....	11
Pollinisateurs	13
Analyses statistiques	13
Résultats	15
Les premières étapes du cycle de développement.....	15
Recouvrement total.....	15
Recouvrement des espèces semées et des adventices.....	17
Présence de plante abri	17
La période de floraison.....	19
Recouvrement des espèces semées et des adventices.....	19
Hauteur moyenne des espèces implantées.....	21
Répartition des espèces semées	23
Floribondité	25
Les pollinisateurs.....	27
Discussion	29
L'établissement des bandes fleuries	29
Les pollinisateurs.....	33

Retour sur la méthodologie	35
Conclusion.....	37
Perspectives	39
Lexique.....	42
Bibliographie	45
Annexes	53

TABLE DES ABRÉVIATIONS

AA : Acides aminés

BF : Bandes Fleuries

FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations

MH : Milieu humide

RARE : Recherche et Applications pour une Restauration Eclairée des milieux humides

SE : Services écosystémiques

UE : Unité expérimentale / Parcelle

UF : Unité florale

UV : Ultraviolet

ZH : Zone humide

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Les trois axes de recherches du projet RARE (Projet RARE, 2024)

Figure 2 : Localisation du site d'étude

Figure 3 : Plan en bloc complet aléatoire pour le projet bandes fleuries

Figure 4 : Méthode d'échantillonnage par quadrats

Figure 5 : Photographies illustrant la notion d'unité florale (UF) © Eloïse PERRIN

Figure 6 : Méthode d'échantillonnage active des pollinisateurs

Figure 7 : Boxplots du recouvrement moyen de la végétation suivant les différents mélanges de semences (Transformation en racine carrée)

Figure 8 : Boxplot du recouvrement des espèces semées (A) et des adventices (B) suivant les différents mélanges de semences (Transformation en logarithme)

Figure 9 : Boxplot du recouvrement des espèces semées en présence de plante abri

Figure 10 : Barplot du recouvrement total par Canopéo en présence de plantes abris et selon le mélange de semences

Figure 11 : Boxplot du recouvrement des espèces semées (en %) selon les différents mélanges de semences

Figure 12 : Boxplot du recouvrement des adventices (en %) selon les différents mélanges de semences

Figure 13 : Boxplot de la hauteur moyenne (en cm) selon le mélange de semences

Figure 14 : Barplot du recouvrement théorique (A.) et observé (B.) des espèces semées selon le mélange de semences (en %)

Figure 15 : Boxplot de la couverture florale totale (en %) selon le mélange de semences le 18 juillet (A) et le 8 août (B)

Figure 16 : Barplot de couverture florale des espèces semées (en %) selon le mélange de semences le 18 juillet (A) et le 8 août (B)

Figure 17 : Boxplot des indices de Shannon-Wiener des morpho-groupes de pollinisateurs selon les mélanges de semences

Figure 18 : Abondance relative des différents morpho-groupes de pollinisateurs pour chaque mélange de semences

Figure 19 : Évolution de la diversité fonctionnelle des plantes selon le nombre d'espèces semées au départ. Les mélanges restent d'autant plus stables qu'ils ont été semés avec beaucoup d'espèces (Gardarin, 2023)

Figure 20 : Bassin de biorétention fleuri sur le campus de l'Université Laval © Eloïse PERRIN

Figure 21 : Gradient des facteurs influençant la prise de décision lors de la conception de plantations dans les bassins de biorétention (Hendricks et al., 2024)

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Températures moyennes à Québec lors de la saison de croissance de la végétation

Tableau 2 : Liste des espèces végétales utilisées dans les mélanges de semences pour les bandes fleuries

Tableau 3 : Classification en morpho-groupes des principaux pollinisateurs

Tableau 4 : Tableau récapitulatif des principaux morpho-groupes retrouvés dans les différents mélanges de graines

Tableau 5 : Tableau des différents types de services écosystémiques (créé pour le module UVED de Montpellier SupAgro et d'après Étude & Documents n°20, Mai 2010, Commissariat Général au Développement Durable)

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Tableau non exhaustif des principales causes et conséquences du déclin des pollinisateurs

Annexe 2 : Synthèse récapitulative des espèces végétales sélectionnées pour les bandes fleuries et leurs critères attractif pour les pollinisateurs.

Annexe 3 : Période de floraison des espèces sélectionnées d'après les flores locales (Magee et Ahles, 2007 ; Marie-Victorin et al., 2002)

Annexe 4 : Pic de floraison estimée des espèces sélectionnées

Annexe 5 : Photographie du site à la suite de la mise en place des parcelles le 24 mai 2024

Annexe 6 : Photographie de suivi des parcelles le 18 juillet 2024

Annexe 7 : Résultats du test de Kruskal-Wallis et comparaison par paires entre les espèces semées et les mélanges de semences (inventaire du 18 juillet 2024)

Annexe 8 : Résultats du test de Kruskal-Wallis et comparaison par paires entre les adventices et les mélanges de semences (inventaire du 18 juillet 2024)

Annexe 9 : Résultats du test de Kruskal-Wallis et comparaison par paires entre la hauteur moyenne et les mélanges de semences (inventaire du 18 juillet 2024)

Annexe 10 : Résultats du test de Kruskal-Wallis et comparaison par paires entre la couverture florale totale et les mélanges de semences (inventaire du 18 juillet 2024)

Annexe 11 : Résultats du test de Kruskal-Wallis et comparaison par paires entre la couverture florale totale et les mélanges de semences (inventaire du 8 août 2024)

Annexe 12 : Tableau récapitulatif des informations sur les unités florales (UF)

Annexe 13 : Photographies des floraisons des divers mélanges en juillet ©Eloïse PERRIN

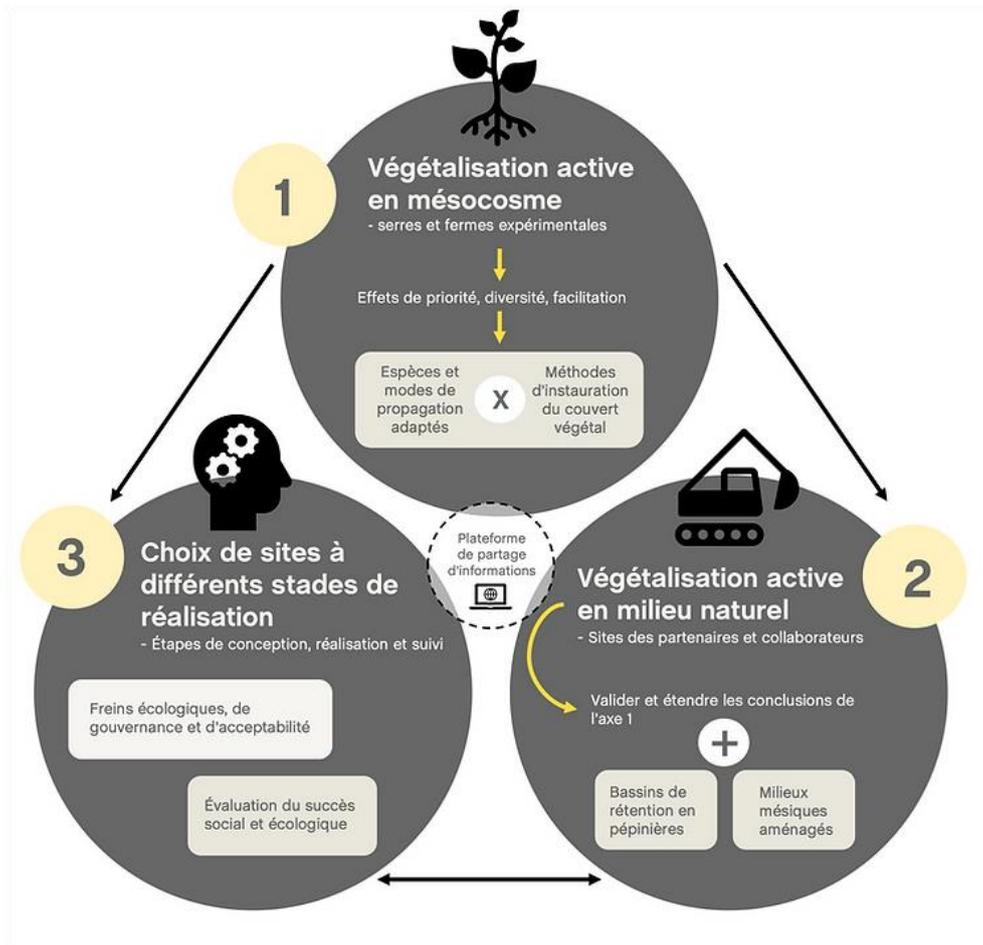


Figure 1: Les trois axes de recherches du projet RARE (Projet RARE, 2024)

AVANT-PROPOS

Ce mémoire est réalisé dans le cadre de l'obtention du diplôme du Master Plantes, Environnement et Génie écologique de l'Université de Strasbourg. Avant de rentrer dans le vif du sujet portant sur **les bandes fleuries pour zones mésiques en bordure de milieux humides et bassins de rétention**, il est utile de présenter le contexte général du projet RARE (Recherche et Applications pour une Restauration Éclairée des milieux humides). Ce dernier, récemment initié, vise à **développer de nouvelles approches pour la conservation et la restauration des milieux humides**.

Le projet RARE a débuté en avril 2024 par une équipe pluridisciplinaire de l'Université Laval et de l'Université de Montréal, réunissant des experts en biologie végétale, géographie humaine et philosophie. Dirigé par Madame Monique Poulin, professeure titulaire au département de phytologie de l'Université Laval, ce projet lancé le 2 avril 2024 et s'achèvera en 2028. Son objectif principal est de coordonner les efforts des scientifiques et des gestionnaires pour promouvoir des actions en faveur des milieux humides (*Projet RARE, 2024*).

Il se découpe en trois grands axes (*Fig. 1*). Le premier vise à développer des méthodes efficaces de végétalisation pour les milieux humides, avec une phase expérimentale initiale. Le deuxième axe vise à optimiser ces méthodes en conditions naturelles, que ce soit dans les sites restaurés ou les bassins de rétention. Le troisième axe se concentre quant à lui sur des études de cas pour identifier les facteurs sociaux qui favorisent la réussite des projets, en particulier en ce qui concerne la gouvernance et l'acceptabilité sociale (*Projet RARE, 2024*).

Mon stage découle du premier axe de ce projet et a pour objectif principal de développer des bandes fleuries pour zones mésiques tels que les bordures de milieux humides et bassins de rétention. À proprement parler, il ne s'agit pas de mesures de restauration mais d'une mise en place conjointe permettant une meilleure acceptabilité des locaux aux projets de restauration se situant à proximité des zones urbaines.

INTRODUCTION

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), 80 % des plantes à fleurs dépendent de la pollinisation par les animaux, en particulier par les insectes entomophiles (Rose *et al.*, 2015 ; Zattara et Aizen, 2021). Au niveau agricole mondial, ce sont 35 % des cultures vivrières qui dépendent des pollinisateurs (Klein *et al.*, 2007). Depuis les années 1990, une baisse de l'abondance ainsi que de la richesse des abeilles domestiques et sauvages sont globalement observées (Belsky et Joshi, 2019 ; Zattara et Aizen, 2021). Plus précisément, dans la province de Québec, environ 350 espèces de pollinisateurs sauvages ont été recensées et répartissent dans différentes familles : Colletidae (25 espèces), Andrenidae (75), Halictidae (80), Melittidae (3), Megachilidae (72) et Apidae (95) (Hamann, 2020 ; Payette, 2004).

Les principales causes du déclin des pollinisateurs sont d'origine anthropique et environnementale, telles que la perte et la fragmentation des habitats, le changement climatique, les monocultures, et bien d'autres facteurs (*Annexe 1*) (Belsky et Joshi, 2019 ; Decourtye *et al.*, 2007 ; Dufour, 2019 ; Egan *et al.*, 2018 ; Jeannerod *et al.*, 2022 ; Pamminer *et al.*, 2019 ; Pernal et Currie, 2000 ; Schmechl *et al.*, 2014 ; Shahmohamadloo *et al.*, s. d. ; Williams *et al.*, 2014). Qui plus est, la diminution de la diversité florale accentuée par les monocultures nuit à la nutrition des pollinisateurs, entraînant des carences nutritionnelles, en protéines et en acides aminés (AA), qui affectent ensuite leur reproduction et leur survie (Belsky et Joshi, 2019 ; Decourtye *et al.*, 2007 ; Dufour, 2019 ; Dufour *et al.*, 2020a, 2020b ; Girard *et al.*, 2012 ; Jeannerod *et al.*, 2022 ; Moisan-De Serres *et al.*, 2014). De façon semblable, le manque de disponibilité en ressources florales d'un point de vue spatio-temporel nuit également aux communautés de pollinisateurs (Moisan-De Serres *et al.*, 2014).

Dès lors, les milieux semi-naturels ont leur importance et complètent les milieux naturels en augmentant la connectivité écologique, permettant ainsi de diminuer l'impact de la fragmentation du paysage ou encore de la destruction des habitats. Les milieux semi-naturels peuvent tout autant représenter un outil de conservation en faveur de la faune et la flore en formant des « Hotspot » (Baldock *et al.*, 2019). Dans ce cadre, la mise en place de bandes fleuries a pour but premier de promouvoir et maintenir la diversité en espèces (Tschumi *et al.*, 2015). Ces bandes fleuries se veulent pérennes et sont constituées d'espèces végétales herbacées annuelles ayant une facilité à se ressemer pour l'année suivante et vivaces. Elles permettent en plus de fournir des services écosystémiques (SE) en ciblant des espèces spécifiques pour assurer certains services comme la pollinisation, l'attraction d'auxiliaires de

cultures ou encore d'ennemis naturels des ravageurs de culture (Haaland *et al.*, 2011 ; Tschumi *et al.*, 2015 ; Uyttenbroeck *et al.*, 2015). La gestion, la restauration ou encore la création de ces éléments paysagers permettent de maintenir des zones de refuge, de reproduction et de nourriture pour la faune dont les pollinisateurs et ont un effet positif sur les zones environnantes tout en favorisant les SE.

Ainsi, il est important d'adapter les espèces florales en fonction des insectes que l'on souhaite attirer. Plus précisément, le régime alimentaire des pollinisateurs est constitué principalement d'hydrates de carbone (sucre présent dans le nectar et le miel), d'AA (protéines présentes dans le pollen), de lipides, de vitamines, de minéraux et d'eau (Belsky et Joshi, 2019). De plus, le pollen est crucial pour la croissance, l'immunité, la longévité ou encore la reproduction des abeilles (LoCascio *et al.*, 2019). Certains acides aminés retrouvés dans le pollen sont essentiels et ne sont pas synthétisés *de novo* par les abeilles. La présence de ces derniers en quantité suffisante est donc primordiale pour garantir leur santé (LoCascio *et al.*, 2019). Par exemple, la proline (AA) est nécessaire pour assurer la ponte des reines et est également indispensable pour assurer le vol des abeilles (Jeannerod *et al.*, 2022).

Le régime alimentaire des pollinisateurs affecte aussi leur réponse immunitaire et suggère que les ressources florales consommées accroissent la résistance naturelle face aux agents pathogènes (Adler *et al.*, 2020 ; Giacomini *et al.*, 2018). Certaines espèces végétales semblent avoir des propriétés « médicinales » telles que les Astéracées ou « nutritives » tels que les Fabacées (Adler *et al.*, 2020 ; Figueroa *et al.*, 2023 ; LoCascio *et al.*, 2019 ; Shahmohamadloo *et al.*, s. d.). Par conséquent, certains pollinisateurs vont donc se diriger selon leurs besoins vers des espèces végétales ayant des effets anti-pathogènes et pourrait être assimilé à une forme d'automédication. C'est notamment le cas du pollen de tournesol (*Helianthus annuus*), plus précisément de l'exine épineuse du pollen, qui réduirait l'infection du pathogène *Crithidia bombi* chez le bourdon *Bombus impatiens* (Figueroa *et al.*, 2023 ; Giacomini *et al.*, 2018 ; LoCascio *et al.*, 2019 ; Shahmohamadloo *et al.*, s. d.). Il importe donc non seulement d'augmenter la quantité de bandes fleuries dans le paysage mais également de bien sélectionner les espèces végétales à implanter afin d'assurer une qualité de nourriture pouvant répondre aux besoins des pollinisateurs.

A cela s'ajoute le défi s'assurer un large éventail dans les périodes de floraison des espèces sélectionnées (Pamminger *et al.*, 2019 ; Schoch *et al.*, 2022). Que ce soit par la sélection d'espèces à longue période de floraison ou bien d'un mélange d'espèces qui couvre une longue période allant du printemps à l'automne (Williams *et al.*, 2014). Tout comme l'inclusion de fleurs de différentes morphologies permet l'attraction d'une plus grande variété

de pollinisateurs à langue courte et longue (Moisan-De Serres *et al.*, 2014 ; Uyttenbroeck *et al.*, 2015 ; Williams *et al.*, 2014). De plus, une bonne connaissance des pollinisateurs indigènes, des conditions saisonnières et des caractéristiques des espèces florales sélectionnées est primordiale pour développer des bandes fleuries adaptées (Haaland *et al.*, 2011 ; Moisan-De Serres *et al.*, 2014 ; Uyttenbroeck *et al.*, 2015). Dans l'optique d'optimiser des bandes fleuries, les parcelles de butinage devraient compter environ une dizaine d'espèces végétales afin d'augmenter la présence de pollinisateurs de façon significative et ce quel que soit leur taille (Moisan-De Serres *et al.*, 2014). De surcroît, une sélection minutieuse des graines semées permettrait d'augmenter le succès de ces aménagements, *a contrario* des mélanges commerciaux qui contiennent souvent un grand nombre d'espèces, parfois en faibles proportions. Ce qui peut non seulement diluer l'efficacité de certaines espèces clés mais aussi augmenter le coût du mélange sans apporter une réelle valeur ajoutée pour l'objectif souhaité.

Le projet de bandes fleuries pour zone mésique situés en bordure de milieux humides restaurés proche des milieux urbains ou de bassins de rétention se place dans le cadre du premier axe du Projet RARE (*Projet RARE*, 2024). Les zones mésiques, ne sont souvent ni très humides ni très sèches. L'implantation de bandes fleuries dans ces zones permet d'améliorer l'offre d'habitats pour les pollinisateurs sauvages et rehausser l'intérêt esthétique des aménagements pour une meilleure intégration dans le paysage urbain et péri-urbain. L'objectif principal est de développer des méthodes permettant la mise en place et le maintien sur plusieurs années de ces aménagements. Le second objectif est de déterminer quelles caractéristiques des communautés végétales peuvent augmenter la résistance à l'envahissement par les adventices puis de fournir des recommandations pour de futurs projets. De façon spécifique, la sélection minutieuse d'espèces permettrait de fournir une diversité de ressources florales tout en assurant une continuité temporelle et en améliorant l'abondance et la diversité des pollinisateurs. Le but est aussi d'augmenter la disponibilité des ressources florales adéquates et diversifiées au niveau local pendant la saison d'activité des pollinisateurs.

Ainsi, quelle est la capacité d'implantation des différentes espèces introduites seules ou en mélange ? Est-ce qu'une diversité élevée d'espèces réduit-elle significativement la colonisation des adventices ? De plus, l'ajout de plantes abri favorise-t-il l'implantation des semences en limitant les adventices ? Est-ce que certaines espèces ou combinaisons d'espèces se distinguent par une forte occupation des niches écologiques vacantes mais également par leur floraison dense ? Enfin, est-ce que des mélanges avec une grande diversité attirent une grande diversité et abondance de pollinisateurs, et ce de façon proportionnelle ?

	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre
Températures maximales	17 C°	22 C°	25 C°	24 C°	18 C°	11 C°
Températures minimales	5 C°	10,5 C°	13,5 C°	12,5 C°	7,5 C°	2 C°

Tableau 1 : Températures moyennes à Québec lors de la saison de croissance de la végétation

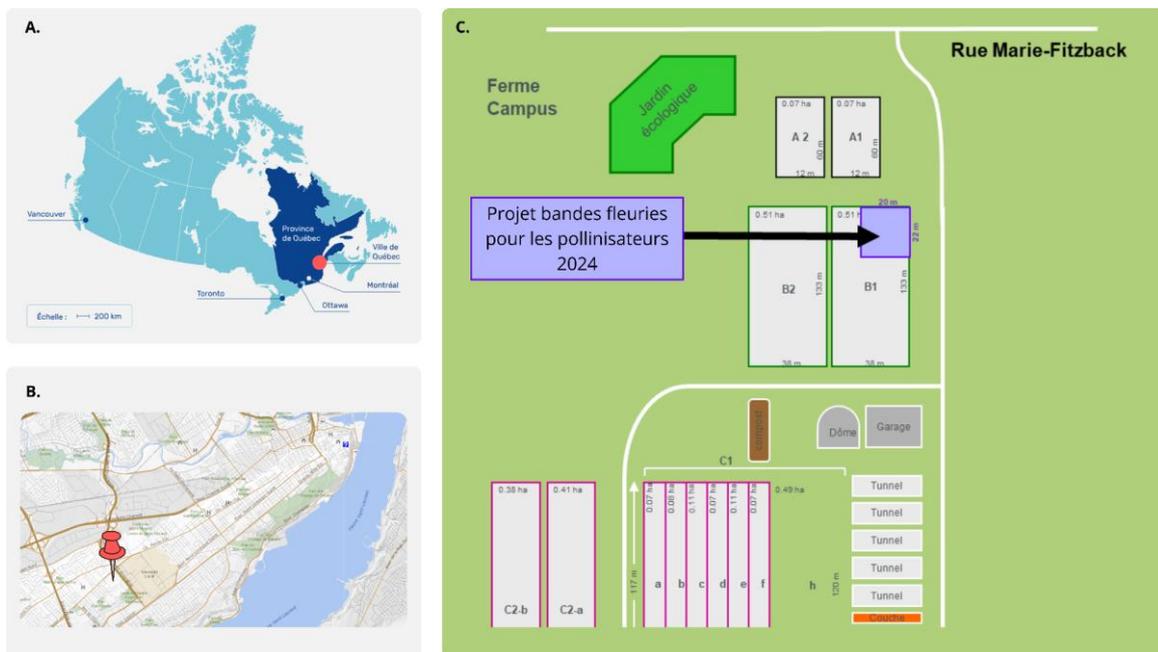


Figure 2 : Localisation du site d'étude

(A) Localisation générale de la ville de Québec dans la province de Québec au Canada. (B) Localisation de la ferme campus de l'Université Laval à Québec. (C) Plan de la ferme campus avec les emplacements des différentes parcelles expérimentales. En violet, la zone utilisée pour le dispositif de Bandes Fleuries (BF).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Site d'étude

Le dispositif expérimental est situé au sein de la ferme Campus de l'Université Laval, à Québec. Il s'agit d'un espace de 12 ha dédié aux travaux de recherches (*Fig. 2*). Les conditions abiotiques sont les suivantes : le sol est constitué de loam schisteux, souvent utilisé en agriculture (communication interne) et la parcelle de sol arable allouée à cette expérience est entièrement exposée au soleil (46.778346, -71.284395). Selon le Gouvernement du Québec, la température annuelle moyenne à Québec est de 4°C, oscillant entre -21°C en janvier et 25°C en juillet (*Tableau 1*). Les précipitations annuelles moyennes sont d'environ 900 mm de pluie, 300 cm de neige, et 1150 mm de précipitations totales par an (Gouvernement du Québec, 2024).

Choix des semences

À la suite d'une étude bibliographique, différentes espèces végétales ont été préalablement sélectionnées en vue de constituer des mélanges diversifiés tout en assurant un couvert floral continu au cours de la saison. Ces espèces présentent en plus des caractéristiques nutritives avérées, soit un pollen riche en protéines et/ou nectar riche en glucides d'après la base de données FloRes (Baden-Böhm *et al.*, 2022 ; Hicks *et al.*, 2016, 2021). Mais également vers des espèces avec des propriétés « médicinales ». De plus, différentes formes florales ont été sélectionnées avec des couleurs variées pour attirer différents pollinisateurs et s'adapter à la taille de leurs langues, qui suivant les espèces peuvent être courtes ou longues. Ces derniers sont attirés par une combinaison de stimuli et s'appuient notamment sur la couleur des fleurs pour leurs recherches alimentaires (Ômura et Honda, 2005 ; Ricou *et al.*, 2014). Par exemple, les abeilles sont plutôt attirées par les couleurs violettes à bleues ou par les motifs UV, les papillons sont attirés par le rose tandis que les syrphes par le blanc et le jaune aux motifs UV (Faegri et Pijl, 2013 ; Reverté *et al.*, 2016).

Par la suite, pour réduire la liste de candidats potentiels, les espèces déjà présentes sur le territoire, qui n'appartiennent pas à la classe des espèces exotiques envahissantes (EEE) et qui ne présentent pas de caractères envahissants ont été gardées. Puis celles qui ne nécessitent pas de stratification à froid au préalable ont été retenues puis filtrées en fonction des ressources disponibles chez les différents pépiniéristes. Ainsi, la liste fut considérablement réduite pour aboutir à une dizaine d'espèces pertinentes (*Annexe 2 et 12*). Ces dernières fleurissent sur une large période et ont des pics de floraisons différents pour assurer des ressources nourricières continues pour les pollinisateurs (*Annexes 3 et 4*).

Tableau 2 : Liste des espèces végétales utilisées dans les mélanges de semences pour les bandes fleuries

Quatre niveaux de complexité sont testés dans les mélanges de semences. Le niveau 1 correspond à une espèce représentative de chaque famille botanique, les niveaux 2, 3, et 4 contiennent respectivement 3, 6 et 10 espèces. Puis, l'ajout d'une plante abri (*Avena sativa*) est également testé.

Espèces Annuelles / Bisannuelles Vivaces	Masse de semences par sachet (g)														Taux d'application (kg/ha)	
	Sans plante abri							Avec plante abri								
	Niveau 1				Niv 2	Niv 3	Niv 4	Niveau 1				Niv 2	Niv 3	Niv 4		
	1A	1B	1C	1D	2A	3A	4A	1A	1B	1C	1D	2A	3A	4A		
<i>Achillea millefolium</i>				1,5	1,5	1,5	1,5					1,5	1,5	1,5	1,5	5
<i>Avena sativa</i>								18	18	18	18	18	18	18	18	60
<i>Centaurea cyanus</i>					3	3	3					3	3	3		10
<i>Cosmos bipinnatus</i>							1,95								1,95	6,5
<i>Leucanthemum maximum</i>							0,75								0,75	2,5
<i>Melilotus officinalis</i>							1,5								1,5	5
<i>Monarda fistulosa</i>			0,6			0,6	0,6			0,6			0,6	0,6		2
<i>Phacelia tanacetifolia</i>		3,9				3,9	3,9	3,9					3,9	3,9		13
<i>Symphyotrichum leave</i>							0,3								0,3	1
<i>Trifolium incarnatum</i>	4,5				4,5	4,5	4,5	4,5				4,5	4,5	4,5		15
<i>Vicia villosa</i>						7,5	7,5						7,5	7,5		25
Somme par sachet	4,5	3,9	0,6	1,5	9	21	25,5	22,5	21,9	18,6	19,5	27	39	43,5		
Total espèces	1	1	1	1	3	6	10	2	2	2	2	4	7	11		

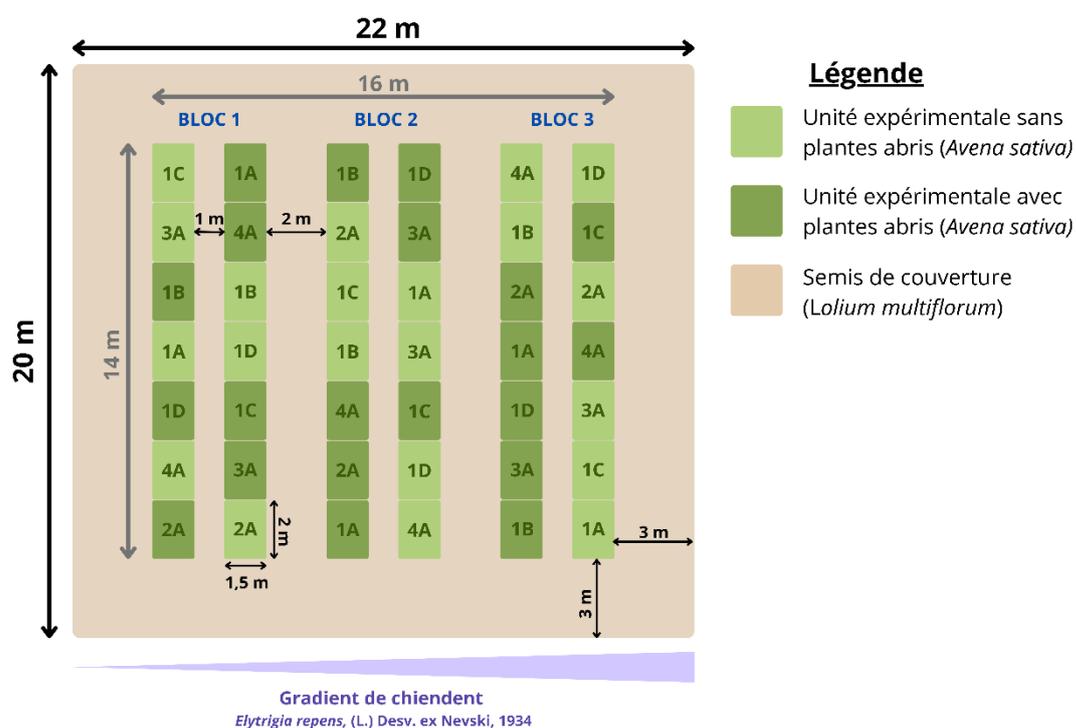


Figure 3 : Plan en bloc complet aléatoire pour le projet Bandes Fleuries

Dispositif expérimental

La zone expérimentale a été mise en place le 24 mai 2024 sur un sol nu. Avant l'implantation des parcelles, un gradient de chiendent commun (*Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski) était présent. Pour remédier à cela, un passage de herse a été effectué pour le déraciner, suivi d'un passage de râteau pour enlever les rhizomes visibles. Le râteau a en plus servi à aplanir les reliefs créés par la herse. Le dispositif des Bandes Fleuries (BF) a été conçu selon un plan en blocs complets aléatoires (3 blocs) afin de contrôler le gradient de chiendent.

Sept mélanges de graines avec différents niveaux de complexité sont testés, allant d'une seule espèce végétale par parcelle à dix espèces (Tableau 2). Par soucis des ressources disponibles toutes les espèces végétales semées n'ont pas pu être testées individuellement. Ainsi, les mélanges monospécifiques représentent des témoins pour chacune des familles botaniques. L'ajout de plante abri, telles que l'avoine cultivé (*Avena sativa* L., 1753) utilisé dans cette expérience, est étudiée pour chaque mélange, permettant de lutter efficacement contre l'implantation des adventices en comblant les niches vacantes tout en limitant l'érosion du sol (Laterre, 2021). Plus précisément, cette espèce est peu coûteuse, polyvalente et supporte une grande variété d'habitats, dont les sols secs ou froids (Lactanet, 2022 ; Laterre, 2021). Puis les plantes abris seront fauchées avant leur montée en graine afin d'éviter qu'elles ne se ressèment. Chaque combinaison, soit 7 mélanges de graines avec ou sans plantes abris, pour un total de 14 traitements, sera répétée à trois reprises. En tout, il y a 42 parcelles de 3 m² (1,5 m x 2 m), avec une distance de 2 mètres entre les blocs et de 1 mètre entre les rangées (Fig. 3).

Les blocs sont délimités avec de gros piquets en bois, tandis que les inter-blocs et les parcelles sont marqués par des piquets en bambou plus fins. Les étiquettes sont placées en bas à gauche de chaque unité expérimentale. Afin d'ensemencer chaque parcelle (ou unité expérimentale) de manière uniforme, 2,4 L de ripe de bois humecté avec de l'eau est ajoutée aux semences. Selon les conseils d'un partenaire du projet RARE, le mélange de copeaux de bois, d'eau et de graines permet une meilleure répartition des semences, qui adhèrent aux copeaux grâce à l'eau (forces de cohésion et forces attractives d'adhésion). Ce mélange est ensuite appliqué à la volée de manière uniforme sur toute la surface de la parcelle. À l'aide d'un râteau, la surface du sol est légèrement brassée pour incorporer les semences au sol. Enfin, un passage de rouleau lesté sur la parcelle permet de favoriser le contact des graines avec le sol. Entre les unités expérimentales (UE), du ray-grass annuel est semé à la volée pour recouvrir le sol nu et éviter les niches vacantes propices à l'implantation d'adventices (Annexe 5 et 6). À noter que les taux d'application des espèces végétales sont basés sur les tests effectués en Montérégie (région administrative du Québec située à l'Est de la ville de Montréal),

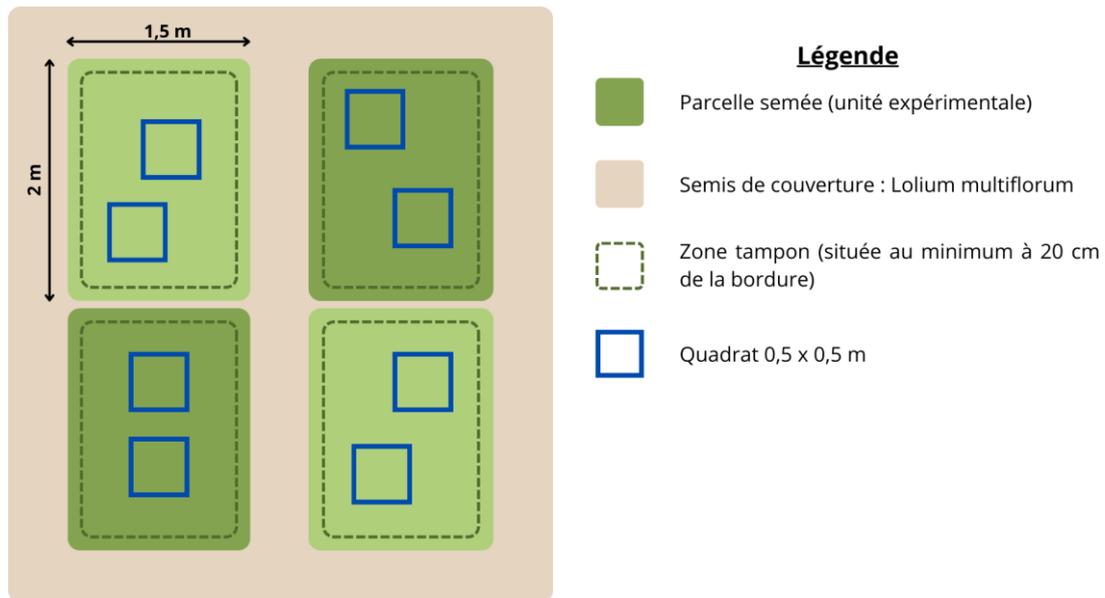


Figure 4 : Méthode d'échantillonnage par quadrats

Les quadrats de 0,5x0,5m sont disposés dans des zones représentatives de l'unité expérimentale et au minimum à 20cm du bords (zone tampon).



Figure 5 : Photographies illustrant la notion d'unité florale (UF)

© Eloïse PERRIN

La détermination d'une UF dépend largement du taxon, par exemple chez les Astéracées il s'agit d'un capitule, d'un racème capituliforme chez certaines Fabacées (*Trifolium* spp. et *Medicago* spp.) tandis que chez les Lamiacées et de nombreux autres taxons il s'agit d'une fleur unique. Ainsi, le cercle violet représente une unité florale.

en bordure de champs agricoles, dans le cadre du projet de recherche sur le bassin-versant du ruisseau Castor, ainsi que sur les recommandations des pépiniéristes (Turmel-Courchesne *et al.*, 2024). Très souvent, ces taux ont été revus à la baisse pour éviter la dominance de certaines espèces.

Inventaires

Flore

Les données floristiques ont été collectées grâce à la méthode des quadrats. Dans chaque unité expérimentale, deux quadrats de 50 x 50 cm ont été placés dans des zones représentatives, en évitant les bords de la parcelle. Une zone tampon d'au moins 20 cm du bord de la parcelle semée a été respectée (*Fig. 4*). Dans chaque quadrat, la végétation présente a été identifiée jusqu'à l'espèce, et leur recouvrement a été estimé en pourcentage de couverture.

D'autres données de recouvrement ont été collectées à travers ce pourcentage de couverture, incluant le recouvrement total des espèces présentes, des adventices seulement (autres espèces non semées) et des espèces semées seulement. Pour tester une nouvelle méthode permettant d'obtenir des informations sur le recouvrement total au sein d'un quadrat, l'application Canopéo a été utilisée, permettant de mesurer le pourcentage de pixels verts sur une photo (Patrignani et Ochsner, 2015). Enfin, pour chaque quadrat, la hauteur moyenne de la communauté a été mesurée et une photographie en vue aérienne de l'ensemble de la parcelle a été prise pour documenter son état à un moment donné.

De plus, des données spécifiques à l'évaluation de la floribondité sont collectées pour chaque espèce présente dans les quadrats. Les mesures suivantes sont recueillies : chaque plante est classée en trois catégories selon son stade de développement : végétatif (V), en fleur (F) ou en graines (G). Le nombre d'unités florales (UF) est déterminé pour chaque espèce au sein de chaque quadrat (*Fig. 5*). Des informations additionnelles sont collectées sur les différentes espèces afin de recueillir des données supplémentaires sur les UF. Les paramètres mesurés incluent la taille de la fleur, la taille de l'UF, le nombre de fleurs en cours de floraison par UF et la taille des fleurons tubulés dans le cas des espèces à capitules radiés de la famille des astéracées. La moyenne de ces quatre paramètres est calculée en réalisant dix mesures aléatoires sur des UF d'individus différents (*Annexe 12*). Ainsi, à chaque inventaire, l'abondance des fleurs sera déterminée par le nombre d'unités florales comptées et le stade de développement des espèces est répertorié. Cependant, toutes les UF ne possèdent pas la même surface, une UF de cosmos sera plus grande d'une UF de trèfle rouge. Il est donc important de tenir compte de l'aire florale de ces dernières.

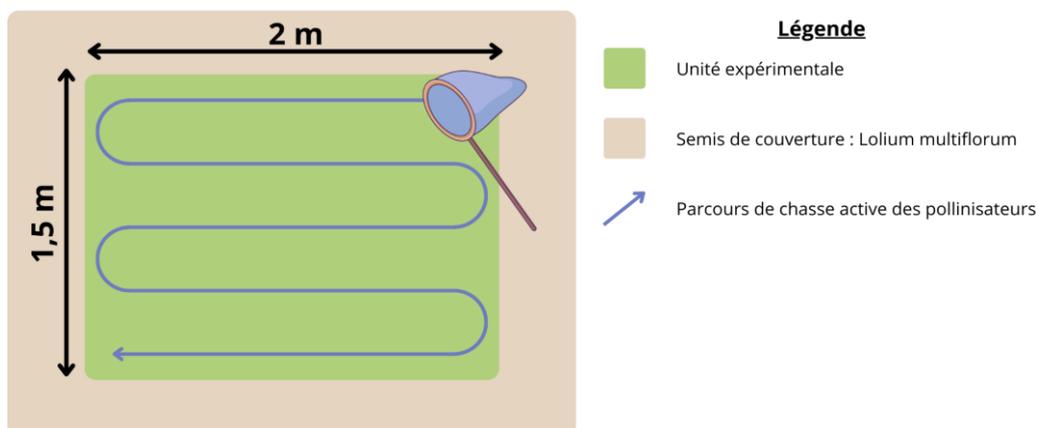


Figure 6 : Méthode d'échantillonnage active des pollinisateurs

L'échantillonnage des pollinisateurs se fait grâce à un filet entomologique. Des mouvements de balayage sont effectués au-dessus de chaque parcelle, en frôlant les fleurs selon le parcours ci-dessus. Cette période de chasse active dure environ 10 sec et est répétée cinq fois avec des intervalles de repos d'une minute.

Tableau 3 : Classification en morpho-groupes des principaux pollinisateurs

Les différents morpho-groupes de pollinisateurs ont été classés en fonction des critères reconnaissables à l'œil et à la loupe directement sur le terrain.

<p align="center">Hyménoptères</p> <p><u>Abeille domestique</u> Apidae • <i>Apis mellifera</i> (Abeille domestique)</p> <p><u>Bourdons</u> Apidae • <i>Bombus</i> spp. (Bourdons)</p> <p><u>Abeilles sauvages</u> • <i>Ceratina</i> spp. • <i>Xylocopa</i> spp. • Autres</p> <p>Halictidae • Abeilles vertes (<i>Agapostemon</i> spp. et <i>Augochlora</i> spp.) • Autres</p> <p>Megachilidae Autres : Colletidae et Andrenidae</p> <p>Vespidae (Guêpes)</p>	<p align="center">Diptères</p> <p>Syrphidae Bombyliidae Autres mouches</p>
	<p align="center">Lépidoptères</p> <p>Sphingidae Autres papillons</p>
	<p align="center">Coléoptères</p>

L'aire florale de chaque UF peut être déterminée par le calcul (Fornoff *et al.*, 2017), puis la couverture florale totale pourra ensuite être calculée (Scheper *et al.*, 2015).

✿ Pour les UF rondes ou à symétrie radiale : $A_e = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2$ en mm², avec D le diamètre de l'UF (en mm) et e l'espèce végétale.

✿ Pour les UF allongées ou à symétrie latérale : $A_e = L \times l$ en mm², avec L la longueur (en mm) et l la largeur (en mm).

✿ Couverture florale totale : $CT = \sum \left(\frac{UF_e \times A_e}{Q}\right) \times 100$ en %, avec UF_e le nombre d'unité florale d'une espèce, A_e l'aire florale de l'espèce (en mm²) et Q la superficie du quadrat (en mm²).

Pollinisateurs

Les inventaires pollinisateurs ont été réalisés entre 8h00 et 17h00 les jours de beau temps, avec un vent faible et des températures supérieures à 15 °C. Adapté du protocole utilisé par Anaïs GRENIER, l'échantillonnage des pollinisateurs est réalisé à l'aide d'un filet entomologique de 35 cm de diamètre (Grenier *et al.*, 2024). Une chasse active par balayage au filet est réalisée au-dessus de chaque unité expérimentale de 3 m² tout en frôlant les fleurs les plus hautes en parcourant l'entièreté de celle-ci (*Fig. 6*). Cette phase de capture active dure environ 10 sec et est répétée cinq fois avec 1 min de repos entre chaque phase active. Cette phase de repos permet aux pollinisateurs de revenir butiner sur la parcelle et d'augmenter les chances de capture. Une fois la salve de capture achevée, il est nécessaire d'effectuer une rotation avec le filet de manière à le fermer avant de le déposer au sol. Les insectes auront tendance à vouloir remonter le filet et ne pourront donc pas s'échapper (communication interne). Lorsque la session de chasse est terminée, les pollinisateurs se retrouvent au fond du filet entomologique. La partie délicate est de transférer les insectes dans un tube Falcon de 50 mL sans les échapper. Chaque échantillon est ensuite déposé sur des blocs de glace, ralentissant ainsi l'activité des insectes et rendant plus facile leur identification. Chaque insecte récolté est identifié et classé par morpho-groupes sur le terrain avant d'être relâché (*Tableau 3*).

Analyses statistiques

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec R Studio version 4.4.0 ("Puppy Cup") parue le 24 avril 2024. Différents packages ont été utilisés : le package « **vegan** » (v. 2.6-6.1) est employé pour calculer les indices de diversité, tandis que le package « **tidyverse** » (v. 2.0.0) et « **dplyr** » (v. 1.1.4) facilite la manipulation des données. Puis, afin de réaliser des

tests de corrélations et d'observer dans leur ensemble, les liens entre les variables, le package « **corrplot** » (v. 0.92) a été utilisé. Le package « **car** », (v. 3.1-2), a servi entre autres pour réaliser les tests de Levene et le package « **lme4** », (v. 1.1-35.4), pour réaliser des modèles linéaires mixtes.

Dans le cas où les données brutes respectent l'homogénéité des variances avec le test de Levene mais rejettent le test de normalité avec le test de Test de Shapiro-Wilk et que la p-value obtenue se trouve proche de la normalité, il est alors possible de regarder les valeurs du Kurtosis et de l'asymétrie « skewness » avec le package « **e1071** », (v. 1.7-14) et « **moments** » (v. 0.14.1). Si les résultats se trouvent dans l'intervalle -2 à 2, alors les données sont robustes à la non-normalité et ne nécessitent pas de transformation (Hair *et al.*, 2022). Si les résultats obtenus ne se trouvent pas dans cet intervalle alors cela suggère une non-normalité substantielle et les données brutes nécessitent une transformation adaptée (logarithme, racine carrée, ...).

Le seuil de significativité pris pour les différentes analyses est de 5% et donc les résultats où $Pr(>F)$ est supérieurs à 0,05 n'ont pas de différences significatives. Ainsi, à la suite d'une anova, le test post-hoc HSD de Tukey et la comparaison letter display (CLD) sont appliqués afin de différencier des groupes avec le package « **multcompView** » (v. 0.1-10). En cas de non-respect des conditions préalables à la réalisation d'une anova, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis est utilisé. Puis, une comparaison par paires (pwc) avec le test de Dunn permet de déceler les potentielles différences avec le package « **emmeans** » (v. 1.10.2). Enfin, les représentations graphiques ont été réalisées par des boîtes à moustaches (boxplots) ou des histogrammes (barplots) grâce au package « **ggplot2** », (v. 3.5.1).

RÉSULTATS

Les premières étapes du cycle de développement

Recouvrement total

Un premier inventaire fut réalisé le 18 juin 2024, soit trois semaines après les semis, lorsque les espèces étaient au stade végétatif. Le recouvrement total de la végétation, incluant les espèces semées et les adventices, a été évalué pour chaque mélange. Après transformation des données en racine carrée pour répondre aux critères d'homogénéité des variances (Test de Levene) et de normalité (Test de Shapiro-Wilk), une anova à un facteur a montré des différences significatives entre les mélanges testés ($p < 0,05$). Trois groupes distincts ont émergé suite à l'analyse de variance en fonction du recouvrement total de la végétation déterminé à l'œil ($F = 45.97$; $df = 6$; $P = < 2e-16$) : le groupe A avec un fort

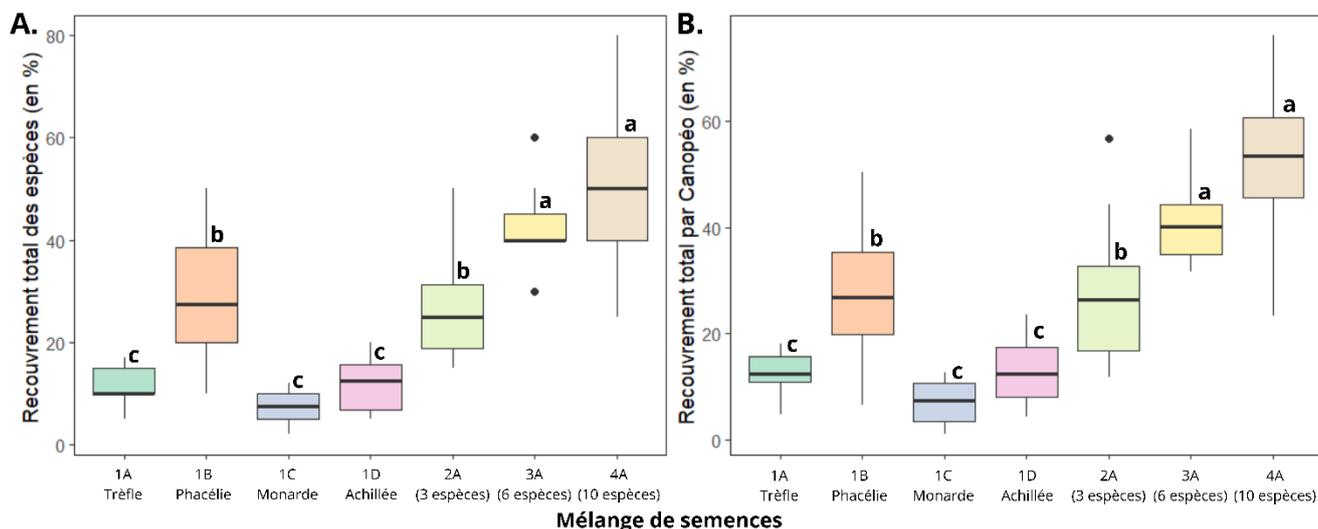


Figure 7 : Boxplots du recouvrement moyen de la végétation suivant les différents mélanges de semences

Le recouvrement total des espèces présentes est estimé à l'œil (A) et par l'application Canopéo mesurant le pourcentage de pixels verts présents sur une photo (B). Les données brutes ont été dé-transformées pour la représentation graphique afin de faciliter la compréhension. Les lettres indiquent les différents groupes, si ces dernières sont identiques, alors n'y a pas de différences significatives entre les mélanges.

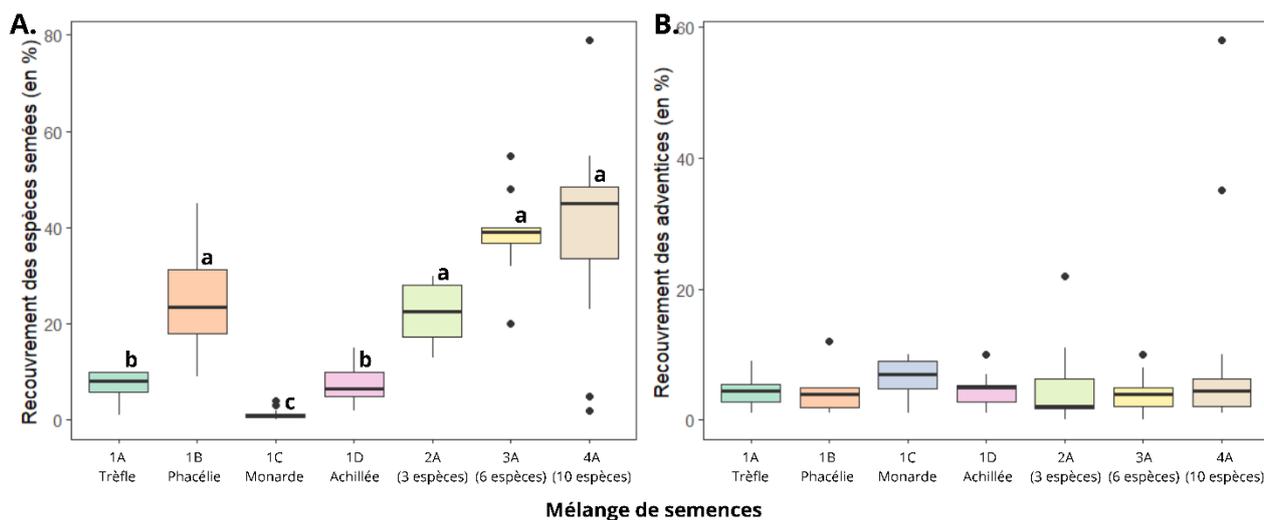


Figure 8 : Boxplot du recouvrement des espèces semées (A) et des adventices (B) suivant les différents mélanges de semences

Les données brutes ont été dé-transformées pour la représentation graphique afin de faciliter la compréhension. Les lettres indiquent les différences significatives entre les mélanges.

recouvrement comprend les mélanges **3A** et **4A** avec respectivement une moyenne de 6.50 ($\approx 42,25\%$) et 7.04 ($\approx 49,56\%$). Le groupe B a recouvrement moyen avec les mélanges **1B** avec 5.23 ($\approx 27,35\%$) et **2A** avec 5.11 ($\approx 26,11\%$) et enfin un groupe C avec un recouvrement faible avec le trèfle **1A** avec 3.37 ($\approx 11,35\%$), la monarde **1C** avec 2.67 ($\approx 7,12\%$) et l'achillée **1D** avec 3.41 ($\approx 11,63\%$) (*Fig. 7A*). Ces mêmes groupes se retrouvent lorsque le recouvrement total est déterminé par l'application Canopéo ($F = 37.34$; $df = 6$; $P = < 2e-16$) avec des moyennes par mélanges légèrement différentes (*Fig. 7B*). Ainsi, aucune différence significative n'a été observée entre les deux méthodes d'estimation.

Recouvrement des espèces semées et des adventices

Une distinction a ensuite été faite entre les espèces semées et les adventices. L'anova à un facteur a révélé des différences significatives dans le recouvrement des espèces semées entre les mélanges ($p < 0,05$), mais aucune différence n'a été observée pour les adventices. A noter que les données brutes ont été précédemment transformées en logarithme + 1, suite à la présence de valeurs nulles pour respecter les conditions d'homogénéité des variances et de normalité.

Les résultats de l'ANOVA ont permis de distinguer trois groupes principaux en fonction du recouvrement des espèces semées ($F = 45.33$; $df = 6$; $P = < 2e-16$) (*Fig. 8A*). Le groupe A, rassemble les mélanges **1B**, **2A**, **3A** et **4A** qui ont tous un fort recouvrement en espèces semées avec respectivement 3.14 ($\approx 24.3\%$), 3.10 ($\approx 22.1\%$), 3.66 ($\approx 38.7\%$) et 3.43 ($\approx 39.6\%$). Le groupe B rallie les mélanges **1A** avec 2.04 ($\approx 7.33\%$) et **1D** avec 2.03 ($\approx 7.58\%$) font partie du groupe à recouvrement moyen. Puis le groupe C à faible recouvrement en espèces semées contient uniquement le mélange **1C** avec 0.698 ($\approx 1.25\%$). Le mélange monospécifique **1B**, composé de phacélie uniquement offre un fort recouvrement comparable aux mélanges plus diversifiés **2A**, **3A** et **4A** avec respectivement 3, 6 et 10 espèces. Concernant le recouvrement des adventices, les résultats de l'ANOVA ne permettent pas de distinguer différents groupes suivant les mélanges ($F = 0.933$; $df = 6$; $P = 0.477$) (*Fig. 8B*). La proportion d'aventices au sein de ces derniers est donc sensiblement la même.

Présence de plante abri

Ensuite, la présence de la plante abri (*Avena ativa*) a été testée afin de voir s'il existait une différence significative lors des premiers stades de développement des plantules. Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis du recouvrement des espèces semées selon la présence d'avoine n'a relevé aucune différence significative ($\chi^2 = 0.371$; $df = 1$; $p = 0.543$) (*Fig. 9*).

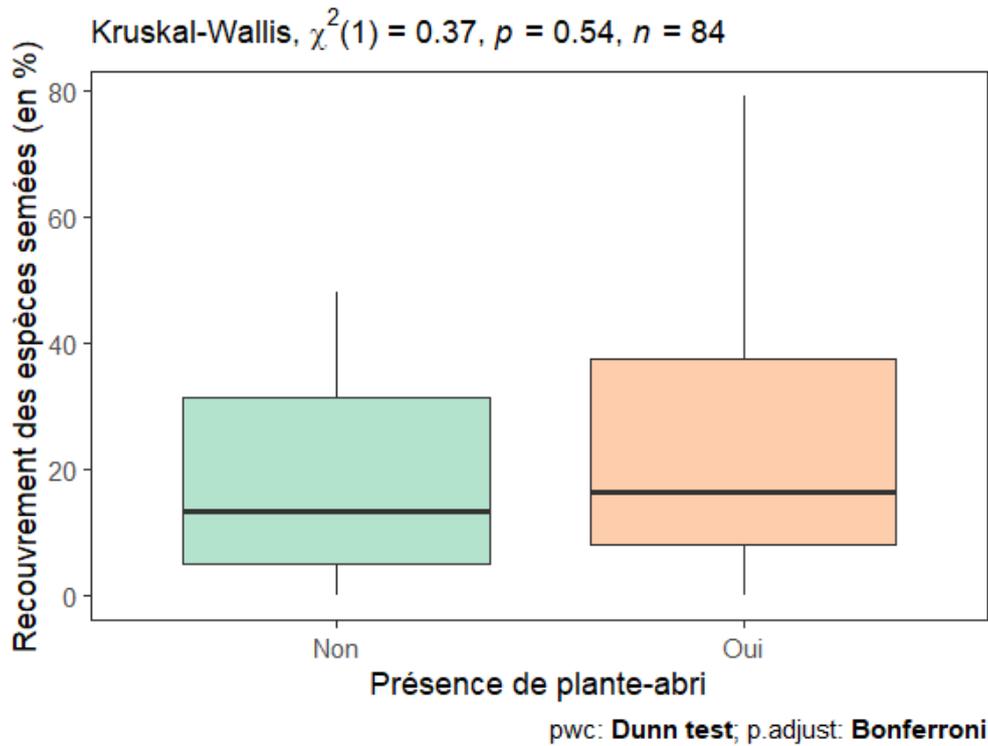


Figure 9 : Boxplot du recouvrement des espèces semées en présence de plante abri

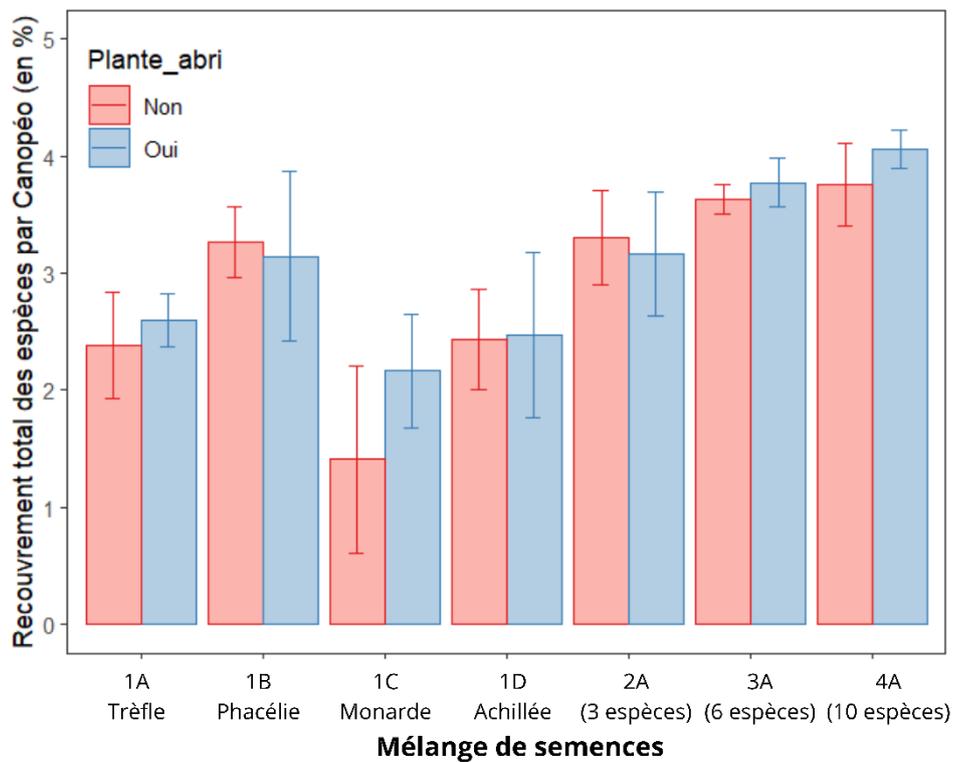


Figure 10 : Barplot du recouvrement total par Canopéo en présence de plante abri et selon le mélange de semences

De façon similaire, la présence de plante abri ne semble pas diminuer la présence d'adventices. Suite à un second test de Kruskal-Wallis entre le recouvrement des adventices et l'ajout de plante abri ($\chi^2 = 0.267$; $df = 1$; $p = 0.605$), aucune différence n'est notable.

De plus, une analyse de la variance à deux facteurs (ANOVA II) a révélé des différences significatives dans le recouvrement total des espèces entre les différents mélanges ($p < 0.05$) mais aucune différence n'est visible avec ou sans plante abri. À noter que les données brutes respectaient l'homogénéité de variance et se trouvaient proches de la normalité (p -value = 0.02231). Le test de kurtosis révèle une valeur de 1.404313 qui rentre dans l'intervalle de confiance entre -2 et 2 et permet de poursuivre l'analyse. Cela indique une distribution plus plate mais les résultats sont robustes à la non-normalité et peuvent donc être utilisés tels quels. L'effet principal soit le mélange de semence est significatif ($F = 35.760$; $df = 6$; $P = < 2e-16$) tandis que l'effet principal plante abri est non significatif ($F = 3.401$; $df = 1$; $P = 0.0694$). Puis, l'interaction entre les mélanges et la présence de plantes abri est non significative ($F = 0.919$; $df = 6$; $P = 0.4869$) (*Fig. 10*). Globalement, l'effet de la plante abri *Avena sativa* n'a pas d'impact positif sur le recouvrement total des différentes espèces semées contrairement à l'effet escompté.

La période de floraison

Un second inventaire a été réalisé le 18 juillet 2024, soit environ 1 mois après le premier relevé, puis un troisième le 8 août 2024. Différentes espèces annuelles sont en fleurs à cette période, tels que *Centaurea cyanus*, *Cosmos bipinnatus*, *Phacelia tanacetifolia*, *Trifolium incarnatum* et *Vicia villosa*. D'autres espèces sont encore au stade végétatif : *Melilotus officinalis* chez les annuelles puis *Achillea millefolium* et *Monarda fistulosa* chez les vivaces. Cependant, deux espèces ne semblent pas avoir germé parmi les vivaces, il s'agit de *Leucanthemum maximum* et de *Symphyotrichum leave*. Le recouvrement total a été réalisé à l'œil nu uniquement. Canopéo n'a pas pu être utilisée sur les parcelles en fleurs, car l'application ne prend pas en compte les fleurs dans son pourcentage de sol couvert.

Recouvrement des espèces semées et des adventices

Le pourcentage de recouvrement des espèces semées varie comme vu précédemment selon le mélange, où le mélange **1C** possède le plus faible recouvrement avec en moyenne 5.42 %, suivi de **1D** avec un recouvrement moyen de 56.7 %. Les mélanges monospécifiques **1A** et **1B** possèdent un plus fort recouvrement avec respectivement 74.4% et 78.7%.

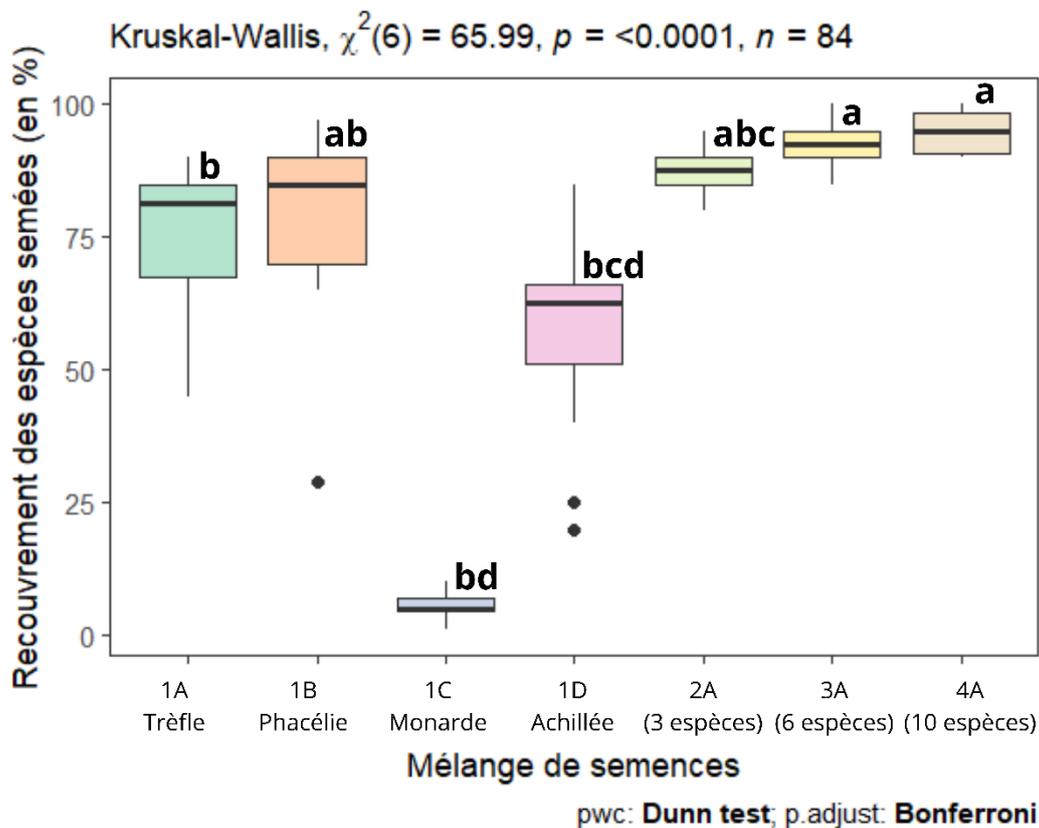


Figure 11 : Boxplot du recouvrement des espèces semées (en %) selon les différents mélanges de semences

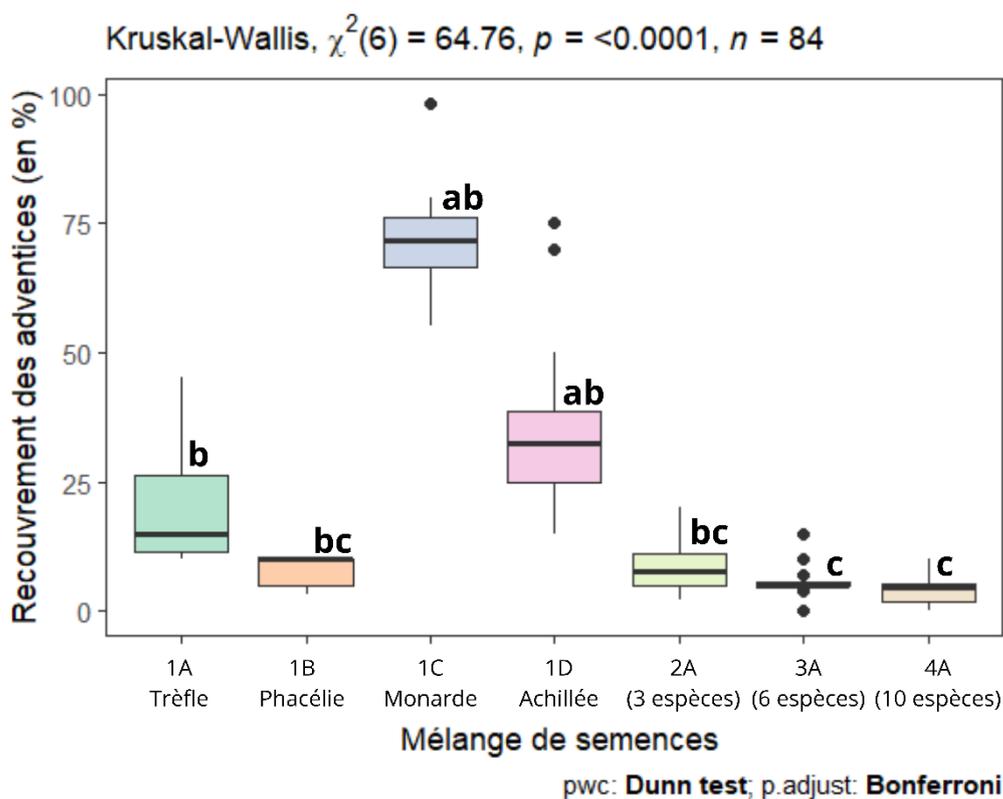


Figure 12 : Boxplot du recouvrement des adventives (en %) selon les différents mélanges de semences

Enfin les mélanges les plus diversifiés **2A**, **3A** et **4A** possèdent des recouvrements très élevés avec respectivement 87.3 %, 92.4 % et 94.8 % (*Fig. 11*). Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis révèle des différences significatives ($\chi^2 = 65.988$; $df= 6$; $p = 2.71e-12$). Puis la comparaison par paires avec le test de Dunn décèle des différences entre les groupes : le mélange **1A** est significativement différent du mélange **3A** ($p.adj = 3.490e-02$) et **4A** ($p.adj = 2.690e-03$). Le mélange **1C** est quant à lui différent des mélanges **1B** ($p.adj = 2.555e-03$), **2A** ($p.adj = 1.749e-04$), **3A** ($p.adj = 4.979e-08$) et **4A** ($p.adj = 5.933e-10$). Et le mélange **1D** est différent des mélanges **3A** ($p.adj = 3.709e-04$) et **4A** ($p.adj = 1.350e-05$). Enfin, il n'existe aucune différence significative entre les mélanges **1B**, **2A**, **3A** et **4A**. Ces derniers offrent une très forte occupation du sol étant donné leur fort recouvrement (*Annexe 7*).

Contrairement au premier inventaire, où aucune différence significative dans le recouvrement des adventices n'avait été observée, le second inventaire révèle des variations notables entre les mélanges de graines. Le mélange **1C** montre le plus fort recouvrement d'adventices (72,5 %), suivi par **1D** (36,7 %) et **1A** (19,8 %). Les mélanges avec la plus faible présence d'adventices sont **1B**, **2A**, **3A** et **4A** avec respectivement 7.75%, 8.92%, 5.92% et 4.33% (*Fig. 12*). Les résultats du test de Kruskal-Wallis entre le recouvrement des adventices selon le mélange de semence révèlent des différences significatives ($\chi^2 = 64.763$; $df= 6$; $p = 4.82e-12$). Puis le test de Dunn indique des différences entre les groupes : le mélange **1A** est significativement différent des mélanges **3A** ($p.adj = 4.056e-02$) et **4A** ($p.adj = 4.474e-03$). Le mélange **1C** est quant à lui différent des mélanges **1B** ($p.adj = 4.230e-05$), **2A** ($p.adj = 1.020e-04$), **3A** ($p.adj = 6.061e-07$) et **4A** ($p.adj = 1.621e-08$). Le mélange **1D** est différent des mélanges **1B** ($p.adj = 9.437e-03$), **2A** ($p.adj = 1.836e-02$), **3A** ($p.adj = 3.500e-04$) et **4A** ($p.adj = 1.933e-05$). Comme pour le recouvrement des espèces semées vu précédemment, il n'existe pas de différences significatives entre les mélanges **1B**, **2A**, **3A** et **4A** (*Annexe 8*).

Hauteur moyenne des espèces implantées

La hauteur moyenne des espèces varie selon les mélanges. Le mélange **1C**, composé de monarde, présente la hauteur la plus faible avec 7,29 cm, cette espèce étant encore au stade végétatif. Le mélange **1D** avec l'achillée atteint 17,7 cm, suivi du mélange **1A** composé de trèfle rouge avec 34,9 cm et du mélange **1B** composé de phacélie avec 66,0 cm. Les mélanges **2A**, **3A** et **4A** ont des hauteurs moyennes de 71,7 cm, 72 cm, et 73,8 cm respectivement (*Fig. 13*). Dans les mélanges diversifiés, la centaurée bleuet, la phacélie, le cosmos, et la vesce dominant la strate herbacée supérieure, avec le mélilot et le trèfle rouge en dessous, tandis que l'achillée reste proche du sol et se développe lentement.

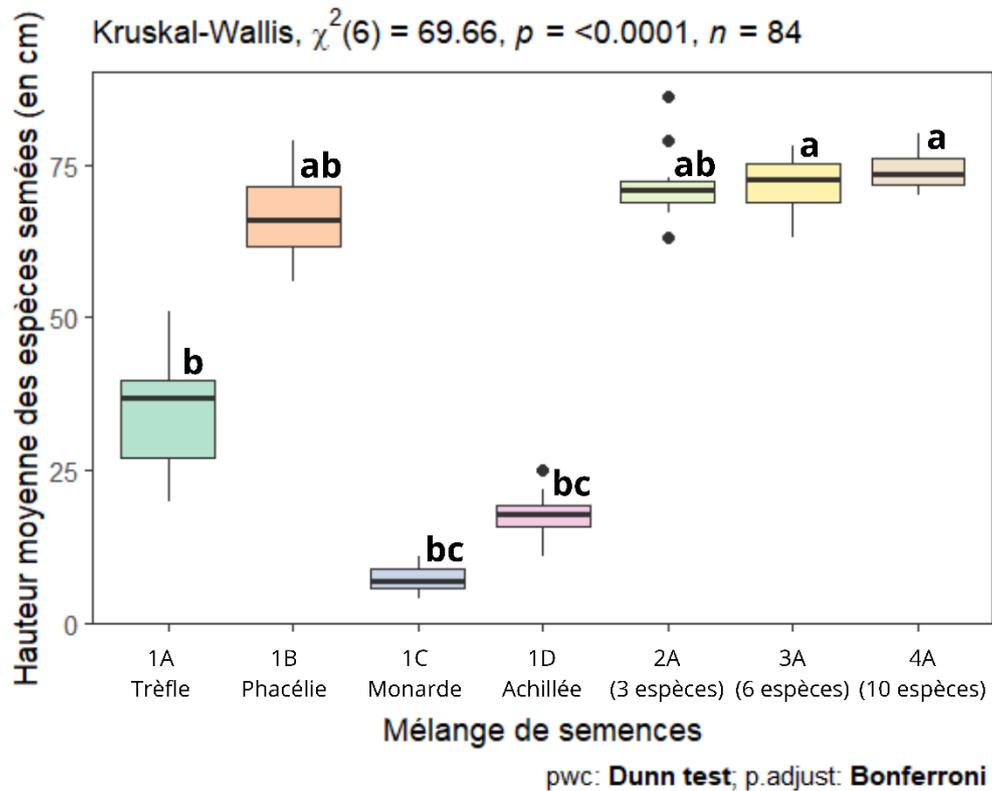


Figure 13 : Boxplot de la hauteur moyenne (en cm) selon le mélange de semences

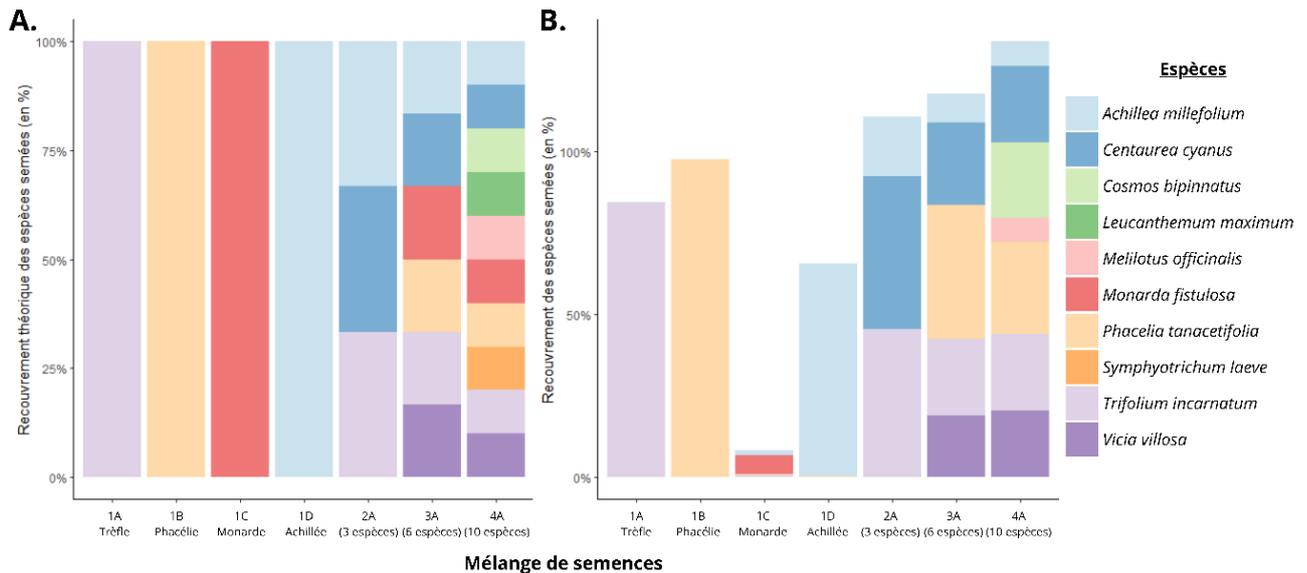


Figure 14 : Barplot du recouvrement théorique (A.) et observé (B.) des espèces semées selon le mélange de semences (en %)

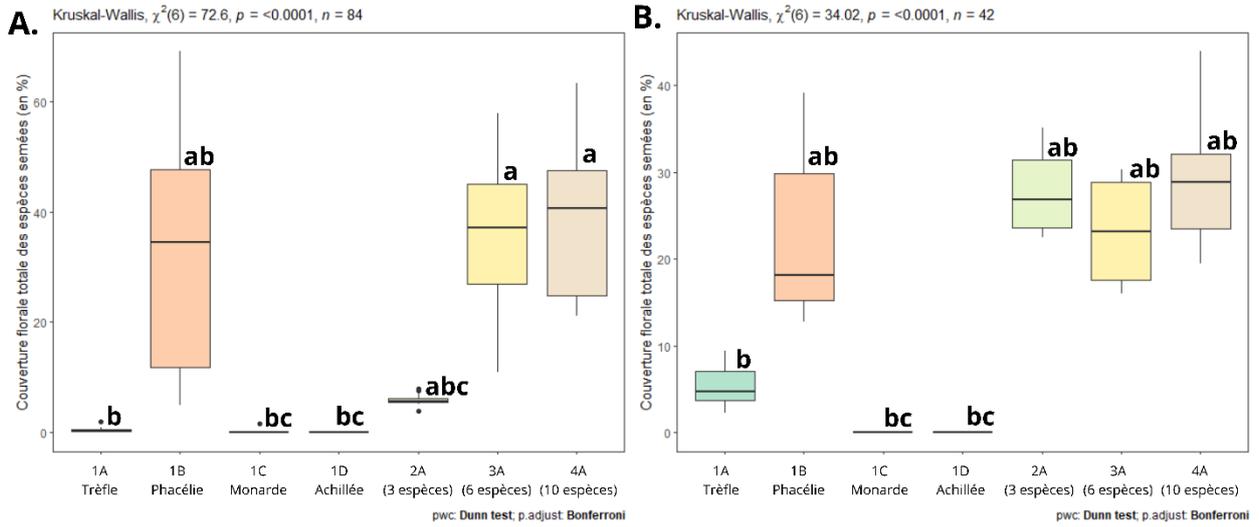
Au cours des inventaires floristiques, la somme du pourcentage de recouvrement de chaque espèce peut dépasser les 100% car ces dernières peuvent occuper différentes strates de végétation herbacée.

De plus, le test de Kruskal-Wallis entre la hauteur moyenne des espèces semées et le mélange de semence révèle des différences significatives ($\chi^2 = 69.658$; $df = 6$; $p = 4.805e-13$). Le test de Dunn permet d'établir des différences significatives entre les mélanges : le mélange **1A** se distingue des mélanges **3A** (p.adj = 2.129e-02) et **4A** (p.adj = 2.591e-03) tandis que le mélange **1C** est différent des mélanges **1B** (p.adj = 1.394e-04), **2A** (p.adj = 2.018e-06), **3A** (p.adj = 3.410e-07) et **4A** (p.adj = 1.181e-08). Le mélange **1D** diffère des mélanges **1B** (p.adj = 2.327e-02), **2A** (p.adj = 9.040e-04), **3A** (p.adj = 2.227e-04) et **4A** (p.adj = 1.502e-05). Les mélanges **1B**, **2A**, **3A** et **4A** ne présentent toujours pas de différences notables (Annexe 9).

Répartition des espèces semées

Précédemment, des différences de recouvrement des espèces semées selon les mélanges ont pu être observées. Cependant au sein de ces derniers, la répartition des espèces diverge entre leur répartition théorique et observé. Bien que les mélanges les plus diversifiés soient supposés avoir une distribution homogène, suite à l'ajustement des taux de semis lors de la mise en place des parcelles, certaines espèces dominent (Fig. 14). Dans les mélanges monospécifiques, *Phacelia tanacetifolia* dans le mélange **1B** montre un fort recouvrement (81,42 %), suivi par *Trifolium incarnatum* dans le mélange **1A** (70,25 %), avec une légère contamination par *Achillea millefolium* (0,17 %). Le mélange **1D**, avec *A. millefolium*, présente un recouvrement de 54,58 % avec de légères contaminations par *P. tanacetifolia* (0,08 %) et *T. incarnatum* (0,17 %). En revanche, le mélange **1C**, composé de *Monarda fistulosa*, a un recouvrement faible de 5 %, avec des contaminations de *A. millefolium* (1,08 %), *P. tanacetifolia* (0,17 %), *T. incarnatum* (0,42 %), et *Vicia villosa* (0,17 %).

Pour le mélange **2A** avec trois espèces, le recouvrement total avoisine les 100 %, avec une répartition similaire entre *Centaurea cyanus* (39,17 %) et *T. incarnatum* (37,92 %), et un recouvrement plus faible pour *A. millefolium* (15,25 %). Le mélange **3A** (6 espèces) montre un fort recouvrement global avec une distribution relativement équilibrée des espèces, bien que *P. tanacetifolia* soit dominante (34,17 %), suivie par *C. cyanus* (21,25 %), *T. incarnatum* (19,58 %), *Vicia villosa* (15,83 %), et *A. millefolium* (7,33 %). Seul *M. fistulosa* ne s'est pas développée dans ce mélange. Dans le mélange le plus diversifié **4A**, les espèces se répartissent relativement bien : *P. tanacetifolia* (23,75 %), *C. cyanus* (19,58 %), *Cosmos bipinnatus* (19,17 %), *T. incarnatum* (19,58 %), et *V. villosa* (17,08 %). En revanche, *A. millefolium* (6,5 %) et *Melilotus officinalis* (6 %) ont un recouvrement plus faible, tandis que *Leucanthemum maximum*, *M. fistulosa*, et *Symphotrichum laeve* ne se sont pas développés. À noter que *A. millefolium* se développe moins bien dans les mélanges diversifiés que lorsqu'elle est semée seule (Fig. 14).



Mélange de semences

Figure 15 : Boxplot de la couverture florale totale (en %) selon le mélange de semences le 18 juillet (A) et le 8 août (B)

Floribondité

La couverture florale correspond au recouvrement en pourcentage de la surface des unités florales (UF) de chaque espèce présente au sein du quadrat. Puis la somme permet d'obtenir la couverture florale totale d'un mélange donné. À noter qu'aucunes UF n'ont été répertoriées dans le mélange **1D** composé d'achillée, tout comme le mélange **1C** composé de monarde. Tandis que le mélange **1A**, le trèfle rouge débutait sa floraison. À la suite du test de Kruskal-Wallis de la couverture florale totale selon les mélanges, des différences significatives ont pu être observées en juillet ($\chi^2 = 72.6$; $df = 6$; $p = 1.20e-13$) et en août ($\chi^2 = 34$; $df = 6$; $p = 6.0e-6$), puis le test de Dunn permet d'établir des différences significatives entre les mélanges en juillet et en août (*Annexe 10 et 11*).

Le mélange **1A**, avec une couverture florale moyenne de 0,451 % se distingue des mélanges **1B** (p.adj = 5.353e-03), **3A** (p.adj = 9.037e-04) et **4A** (p.adj = 4.799e-04). Le mélange **1B** diffère des mélanges **1A**, **1C** (p.adj = 2.997e-05) et **1D** (p.adj = 1.180e-05) tandis que le mélange **1C** se distingue des mélanges **3A** (p.adj = 3.118e-06) et **4A** (p.adj = 1.408e-06). Enfin le mélange **1D** se différencie des mélanges **2A** (p.adj = 3.508e-02), **3A** (p.adj = 1.137e-06) et **4A** (p.adj = 5.007e-07). Les mélanges **1C** et **1D** ont une couverture florale nulle et sont au stade végétatif. Puis comme précédemment, les mélanges **1B**, **2A**, **3A** et **4A** ne sont significativement pas différents avec une couverture florale moyenne de 31,9%, 5,92%, 36,4% et 39,2% respectivement (*Fig. 15A*).

Tandis qu'en fin de saison, aucune différence n'est observée entre le mélange **1A** et les autres groupes tandis que le mélange **1C** est semblable à **1D** mais est significativement différent de **1B** (p.adj = 0.048), **2A** (p.adj = 0.004), **3A** (p.adj = 0.038) et **4A** (p.adj = 0.003). Puis le mélange **1D** est différent de **1B** (p.adj = 0.048), **2A** (p.adj = 0.004), **3A** (p.adj = 0.038) et **4A** (p.adj = 0.003). Aucune différences sont notables entre les mélanges **1B**, **2A**, **3A** et **4A** (*Fig. 15B*). Concernant la couverture florale moyenne de chaque mélange on retrouve une couverture nulle chez **1C** et **1D** car aucunes espèces semées n'est en floraison. Le mélange **1A** composé de trèfle possède un faible pourcentage de couverture avec 5,35% en moyenne. Quant aux mélanges **1B**, **2A**, **3A** et **4A**, ils ont des recouvrements floraux de 22,7%, 27,8%, 23,2% et 29,3% respectivement.

Selon les mélanges de graines et la période, la proportion que peuvent occuper les unités florales des différentes espèces varie. En juillet, la couverture florale de la phacélie semble largement dominante chez les mélanges diversifiés **3A** (27.114%) et **4A** (25.644%) mais

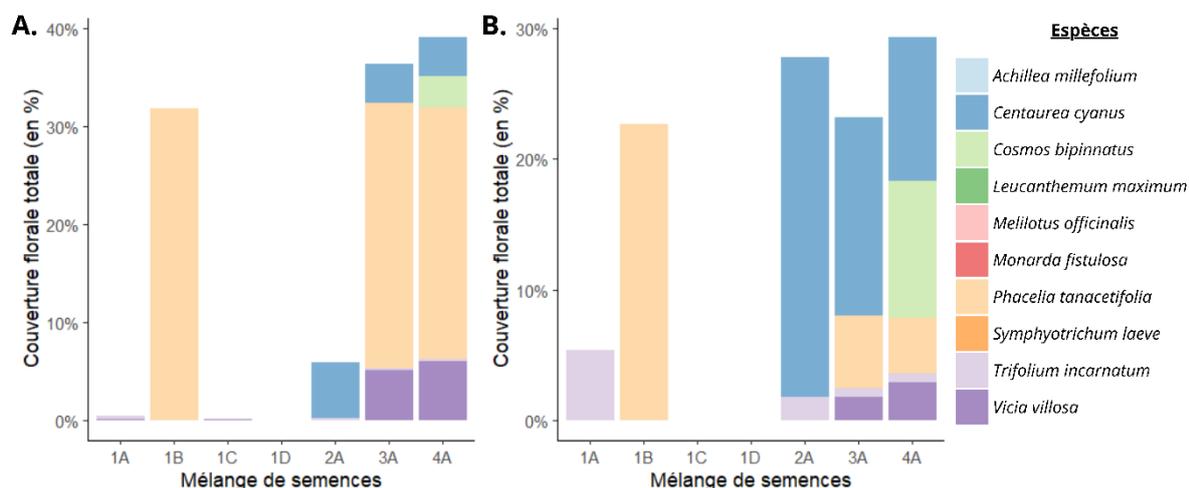


Figure 16 : Barplot de couverture florale des espèces semées (en %) selon le mélange de semences le 18 juillet (A) et le 8 août (B)

L'abondance florale moyenne de chaque espèce a été empilée selon chaque mélange de semence. La couverture florale (en %) de chaque espèce déterminée par le calcul faisant suite au dénombrement des unités florales (UF) au sein de chaque quadrat.

Tableau 4 : Tableau récapitulatif des principaux morpho-groupes retrouvés dans les différents mélanges de graines

Sur le total des 42 parcelles, chaque mélange est répliqué à trois reprises avec ou sans plantes abris (n=6), la somme des insectes retrouvés suite à leur capture a été compilée dans ce tableau. L'indice de Shannon-Wiener a été pour chaque réplikat de chaque mélange puis la moyenne est reportée dans le tableau.

Mélange	1A n=6	1B n=6	1C n=6	1D n=6	2A n=6	3A n=6	4A n=6
Abeilles domestiques	0	0	0	0	15	12	8
Abeilles sauvages	1	13	5	3	12	16	20
Autres mouches	9	3	9	10	5	12	7
Bourdons	0	18	1	0	5	23	18
Coccinelles	0	1	3	0	1	0	5
Coléoptères	1	1	0	0	0	1	0
Papillons	1	0	0	0	0	0	0
Syrphes	27	17	24	16	19	16	19
Total	39	53	42	29	57	80	77
Richesse	5	6	5	3	6	6	6
Indice de Shannon-Wiener	0,550	1,145	0,922	0,732	1,228	1,447	1,468

également lorsqu'elle est semée en monospécifique chez 1B (31.896%). Le trèfle rouge, en début de floraison, n'est encore que très peu présent parmi la diversité de fleurs avec environ 0,2% de couverture florale dans les mélanges le contenant. La centaurée occupe une part plus faible que la phacélie avec 5.709% chez 2A, 3.935 chez 3A et 3.999% chez 4A dans la couverture florale globale tout comme la vesce velue avec 5.174% chez 3A et 6.097% chez 4A. Enfin, le cosmos possède de grandes fleurs mais peu nombreuses et occupe environ 3.221% de couverture florale dans le quadrat (*Fig. 16A*).

En août, la phacélie semble moins dominante avec 5.543% dans le mélange 3A et 4.239% chez 4A et tend vers sa fin de floraison. Puis laisse place aux autres espèces tel que la centaurée qui semble plus dominante avec 25.996% chez le mélange 2A, 15.095% chez 3A et 10.966% chez 4A. Le trèfle rouge semble également occuper plus de place dans la couverture florale totale avec 5.352% en moyenne lorsqu'il est en monospécifique chez le mélange 1A, 1.812% chez 2A, 0.736% chez 3A et 0.680% chez 4A. Tout comme le cosmos qui occupe 10.469% de la couverture florale du mélange 4A. Enfin, la vesce velue semble comme la phacélie en fin de floraison avec une abondance florale de 1.790% chez 3A et 2.965% chez 4A. Les espèces au stade végétatif en juillet, n'ont pas fleuri en août.

Les pollinisateurs

L'inventaire des pollinisateurs a été réalisé les 23 et 24 juillet 2024 et les conditions climatiques lors de ces deux journées étaient identiques, soit un ciel dégagé et ensoleillé, un vent faible pour des températures estivales. Toutes les observations ont été compilées sous forme de tableau récapitulatif (*Tableau 4*). La diversité locale (alpha), la richesse spécifique des différents morpho-groupes retrouvés dans les mélanges est déterminées. L'indice de Shannon-Wiener (H') a été calculé pour chaque réplicat de mélange, puis une moyenne est établie et ajoutée au précédent tableau. Si l'indice de Shannon est de 0, cela signifie qu'une seule espèce est présente et plus cette valeur est élevée, plus la diversité est grande.

Puis une ANOVA à un facteur a été réalisée avec l'indice de Shannon précédemment calculé. Cette analyse révèle des différences significatives entre les mélanges ($F = 11,05$; $df = 6$; $p = 6.83e-07$). À la suite des tests post-hoc de Tukey et de la CLD, différents groupes semblent se démarquer. Les mélanges 1B, 2A, 3A et 4A appartiennent au groupe A et tous ces mélanges sont en floraison. Les mélanges 1B, 1C et 2A appartiennent au groupe B, les mélanges 1B, 1C et 1D appartiennent au groupe C et enfin les mélanges 1A, 1C et 1D appartiennent au groupe D (*Fig. 17*).

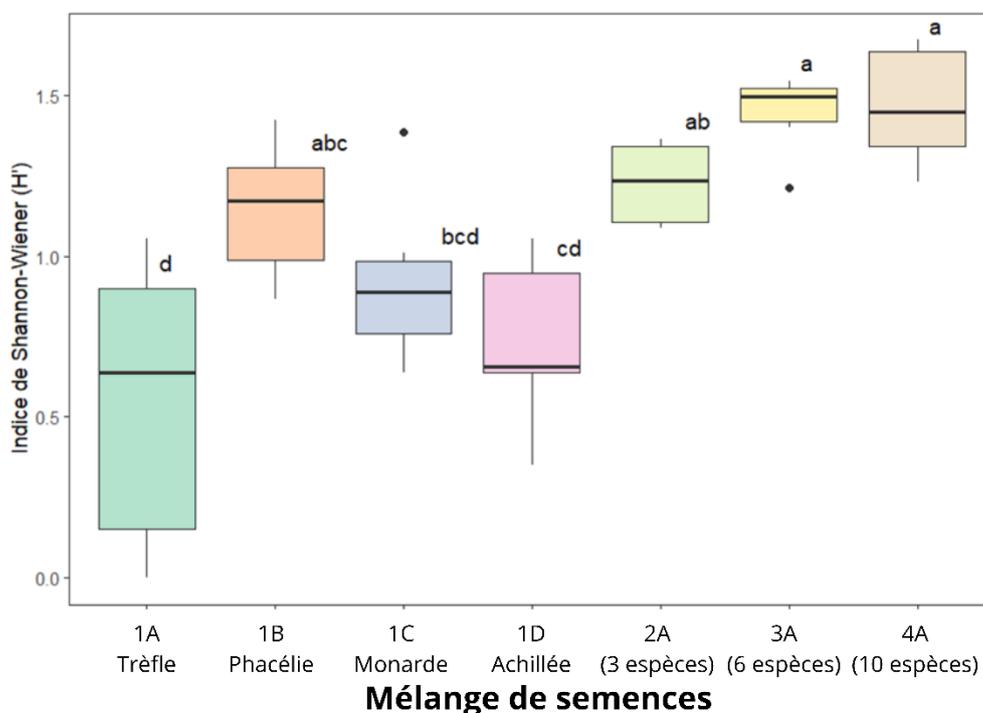


Figure 17 : Boxplot des indices de Shannon-Wiener des morpho-groupes de pollinisateurs selon les mélanges de semences.

Comparaison de la diversité des pollinisateurs entre les mélanges de semences par l'intermédiaire de l'indice de Shannon-Wiener (H'). Les lettres représentent différences significatives entre des groupes.

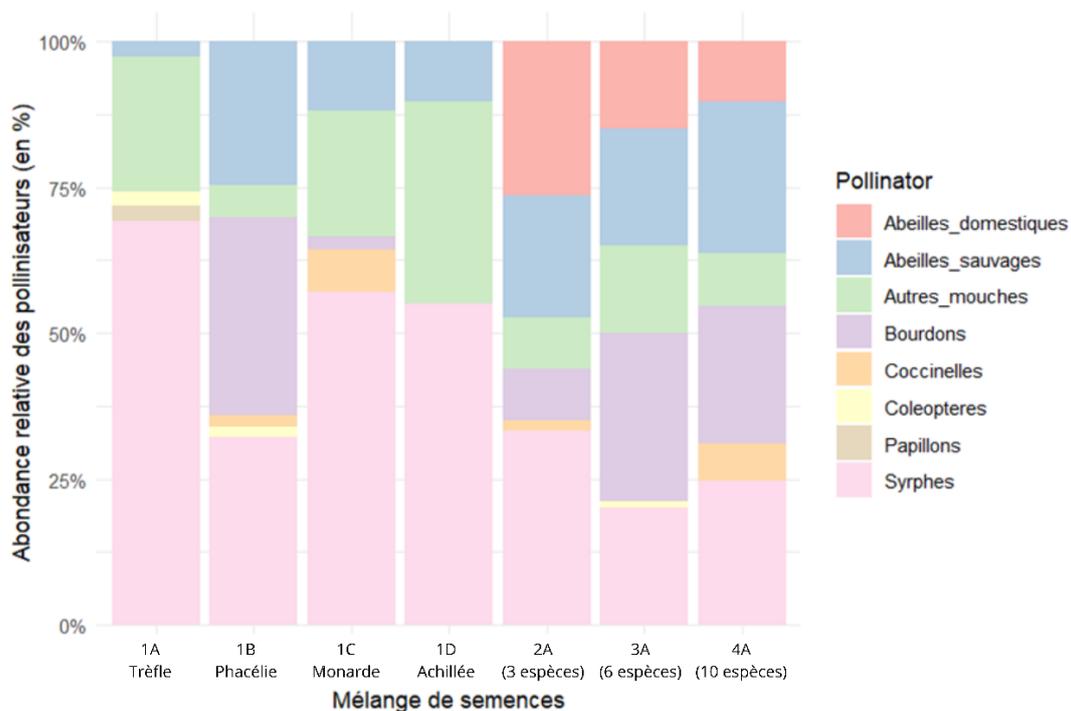


Figure 18 : Abondance relative des différents morpho-groupes de pollinisateurs pour chaque mélange de semences

Plus précisément, l'abondance relative des différents morpho-groupes de pollinisateurs diffère suivant les mélanges et se visualise grâce à un diagramme en barres empilées (*Fig. 18*). Le mélange **1A** présente une majorité de diptères tels que les syrphes (69,23%), les autres mouches (23,07%) et plus faiblement d'abeilles sauvages (2,56%), de coléoptères (2,56%) et de papillons (2,56%) pour un total de 39 observations sur les 6 parcelles de ce mélange. Le mélange **1B** semble plus équilibré entre les abeilles sauvages (24,53%), les bourdons (33,96%) et les syrphes (32,07%) et plus faiblement des autres mouches (5,66%), coccinelles (1,88%) et coléoptères (1,88%) pour un total de 53 observations. Le mélange **1C** comprend une large majorité de diptères tels que les syrphes (57,14%) et les autres mouches (21,42%), suivi des abeilles sauvages (11,90%), des coccinelles (7,14%) et des bourdons (2,38%) pour un total de 42 observations. Le mélange **1D** présente plus de la moitié de syrphes (55,17%), suivi des autres mouches (34,48%) puis des abeilles sauvages (10,34%) pour un total de 29 visites. Ces quatre mélanges de semences sont des témoins monospécifiques et contenaient respectivement du trèfle rouge (*Trifolium incarnatum*), de la phacélie (*Phacelia tanacetifolia*), de la monarde (*Monarda fistulosa*) et de l'achillée (*Achillea millefolium*). Seule la phacélie était en pleine floraison, tandis que le trèfle rouge était en début de floraison. La monarde et l'achillée n'étaient à cette date pas en fleurs, néanmoins on y retrouve de nombreux pollinisateurs.

Les mélanges les plus diversifiés, soit **2A**, **3A** et **4A** ont reçu en plus la visite d'abeilles mellifères. Au sein du mélange **2A**, composé de phacélie, de trèfle et d'achillée, les syrphes (33,33%), les abeilles domestiques (26,31%) et les abeilles sauvages (21,05%) sont largement retrouvées. Suivi des bourdons (8,77%), des pollinisateurs secondaires tels que les autres mouches (8,77%) et les coccinelles (1,75%) pour un total de 57 observations. Le mélange **3A** comprend en majorité des bourdons (28,75%), des abeilles sauvages (20%) et des syrphes (20%), suivi de près par des abeilles domestiques (15%), des autres mouches (15%) et plus faiblement des coléoptères (1,25%) pour un total de 80 observations. Enfin le mélange **4A**, le plus diversifié, comprend en grande partie des abeilles sauvages (25,97%), des syrphes (24,67%) et des bourdons (23,37%), puis des abeilles domestiques (10,38%), des autres mouches (9,09%) et des coccinelles (6,49%) pour 77 observations (*Fig. 18*).

Discussion

L'établissement des bandes fleuries

Les bandes fleuries semées à la ferme expérimentale sont composées d'une association de plantes à fleurs herbacées vivaces et annuelles. Lors de cette première saison d'implantation et dès les premiers stades de développement, les mélanges les plus diversifiés (**2A**, **3A** et **4A**)

offrent les plus forts taux de recouvrement du sol, occupant largement les parcelles tout en laissant peu de place aux adventices. La phacélie, semée en monospécifique dans le mélange **1B**, recouvre aussi très bien le sol, atteignant environ 78.7% à maturité, ce qui est comparable avec les mélanges plus diversifiés. À noter que l'achillée seule (mélange **1D**) n'a qu'une très faible canopée lors de cette première saison, mais pourrait vite s'avérer dominante dès l'année suivante (observations personnelles).

Certaines plantes s'établissent en hauteur, comme la vesce qui grimpe en s'accrochant aux autres espèces grâce à ces vrilles ramifiées ou le cosmos bipenné, qui s'implante facilement une fois semé et a un fort impact visuel, mais qui compétitionne peu face aux adventices en raison de son faible recouvrement au sol. De façon similaire, bien que la phacélie occupe une grande partie du sol après germination, elle laisse apparaître beaucoup de sol nu à des stades plus avancés, notamment au moment de la floraison. Cependant, elle offre une couverture florale abondante et de longue durée grâce à ses inflorescences en cymes scorpioïdes, particulièrement en juillet. Toutefois, elle peut s'avérer dominante au sein de mélanges diversifiés et son taux de semis devrait être revu légèrement à la baisse. Ainsi, combiner ces dernières avec des espèces à fort recouvrement du sol serait intéressant, comme le trèfle rouge, présent dans les mélanges **1A**, **2A**, **3A** et **4A** et qui ne présente pas une dominance excessive comme le trèfle des prés (*Trifolium pratense* L.). Puis en août, la phacélie laisse place à la centaurée (**2A**, **3A**, **4A**), au cosmos (**4A**) et au trèfle rouge (**1A**, **2A**, **3A** et **4A**) qui ont des floraisons abondantes. En accord avec la littérature, les espèces annuelles assurent un recouvrement rapide des niches vacantes et une longue période de floraison, tandis que les vivaces s'implantent plus lentement (Decourtye *et al.*, 2007). Leurs stratégies de survie et de reproduction leur permettent de croître rapidement et de produire une grande quantité de graines et se rapportent à une stratégie « r » du modèle r/K élaboré par Mac Arthur et Wilson en 1967.

À noter également que la centaurée, le cosmos, le trèfle, la vesce et la phacélie sont montés en fleurs et produisent des graines, suggérant un bon potentiel à la prochaine saison. Il est possible que des espèces non établies cette saison puissent germer après avoir bénéficié d'une stratification à froid pendant l'hiver. Certaines espèces peuvent nécessiter ce processus afin de lever leur dormance. Dans cette expérience, cela a été préalablement évité pour favoriser des germinations immédiates après semis. Toutefois, il est possible que le taux de germination de certaines graines, comme *Achillea millefolium*, *Leucanthemum maximum*, *Monarda fistulosa* et *Symphotrichum laeve*, aurait pu être plus élevé après une étape de stratification.

Patrick BOIVIN, lors de sa conférence lors de la journée PHARE à l'occasion du lancement du projet RARE, évoquait la mise en place de semis dormants, une méthode d'ensemencement tardif favorable à l'établissement des semences (Projet RARE, 2024 ; Piqueray *et al.*, 2021).

L'ajout d'avoine pour jouer le rôle de plante abri n'a pas montré de résultats intéressants dans cette expérience, notamment face à l'implantation d'adventices et ne favorise pas la croissance des espèces semées. Cela pourrait être dû à un taux de semis trop faible, la germination étant relativement éparse lors de ces premiers stades de développement. Une augmentation du taux de semis ou l'adoption d'une nouvelle approche, comme le faux semis, pourrait améliorer les résultats. Le faux semis est une méthode de travail du sol utilisée classiquement en agriculture biologique avant l'implantation des semis. Cela consiste en un travail superficiel du sol pour favoriser la levée de dormance des graines adventices, qui sont ensuite retirées avant les semis, réduisant ainsi le stock grainier des premiers centimètres du sol (Prieur, 2016). Ce désherbage préalable favorise la germination des semences (Moisan-De Serres *et al.*, 2014).

Les adventices, souvent considérées comme des espèces indésirables, peuvent pourtant s'acclimater et se développer grâce à leurs cycles de développement courts, utilisant efficacement les ressources du sol. Malgré leur mauvaise réputation, elles peuvent être bénéfiques pour les pollinisateurs, comme les pissenlits (*Taraxacum spp.*) (Lavoie, 2024). Certaines adventices identifiées dans les inventaires de cet été incluent l'asclépiade de Syrie (*Asclepias syriaca* L.), une espèce vivace indigène du Québec, bénéfique pour les papillons, en particulier le papillon monarque (*Danaus plexippus* L.) (Bouchard, 2023).

Les pollinisateurs

Quant à la période d'activité des pollinisateurs, il est important d'ajuster les ressources florales disponibles tout au long de la saison. Par exemple, les bourdons, des pollinisateurs très efficaces grâce à leur pollinisation vibratile, sont actifs dès le début du printemps car ils tolèrent des températures basses, jusqu'à 0°C, contrairement aux abeilles (Séminaire de maîtrise par Amélie MORIN). En effet, les abeilles domestiques ne sortent pas de la ruche lorsque les températures sont < 12°C sans quoi elles se figeraient. Ils ont également tendance à visiter des zones denses en fleurs, ce qui pourrait être lié à l'Optimal Foraging Theory (Lázaro *et al.*, 2011). La phacélie, très visitée pendant sa floraison, attire à la fois des bourdons, des abeilles sauvages et des syrphes. Les abeilles domestiques semblent préférer les mélanges plus diversifiés contenant de la centaurée. Globalement, les abeilles sauvages sont présentes dans

tous les mélanges fleuris et leur présence est d'autant plus forte lorsque la diversité en espèces florales est élevée. Ainsi, les semis qui offrent des ressources florales abondantes ont également montré un plus fort recouvrement végétal. En accord avec la littérature, l'abondance des pollinisateurs, y compris celle des abeilles sauvages, est positivement affectée par la couverture florale des bandes (Schoch *et al.*, 2022). Les mélanges de fleurs sauvages d'espèces différentes permettent de pallier à de potentielles déficiences en acides aminés (AA) dans le pollen et donc peuvent mutuellement se compléter (Jeannerod *et al.*, 2022). Certaines familles botaniques, comme les Astéracées, sont une source précieuse de nectar, en quantité et en qualité, mais possèdent un pollen carencé en AA (Jeannerod *et al.*, 2022 ; Ouvrard *et al.*, 2018).

Lorsque les ressources sont limitées, une concurrence peut survenir entre les abeilles domestiques et sauvages (Belsky et Joshi, 2019). Bien qu'*Apis mellifera* soit une espèce d'élevage, elle peut subir des pertes printanières à la suite d'hivers rudes, d'un manque de ressources nutritives ou encore par des infections de varois (*Varroa destructor*). En tant que tel, son avenir n'est pas menacé contrairement aux abeilles sauvages. Il est donc crucial de veiller à la présence de fleurs dès le printemps, et d'introduire des espèces à floraison tardive pour la fin de saison. Ces ressources en fin d'été fournissent des ressources aux pollinisateurs comme les bourdons, qui entreront prochainement en hibernation (Ouvrard *et al.*, 2018)

Retour sur la méthodologie

Concernant les différents protocoles d'inventaires, le pourcentage de couverture de la végétation a été utilisé au lieu de l'indice de Braun-Blanquet, jugé trop imprécis en raison de la largeur des classes, ce qui pourrait entraîner des biais. Conjointement, la détermination du recouvrement total de la végétation a été testée avec l'application Canopéo. Cette dernière est prometteuse pour obtenir des résultats précis lors des mesures de canopée, mais présente toutefois des limites. Lorsque la végétation est trop haute ou en fleur, il devient difficile d'obtenir des résultats fiables. Néanmoins, cette méthode rapide et facile d'utilisation reste intéressante pour diverses applications en agronomie, écologie ou en laboratoire. Concernant l'analyse de la floribondité, les unités florales (UF) ont été dénombrées et le calcul des couvertures florales a été établi grâce à des mesures de l'aire florale pour chaque espèce. Cependant, bien que cette approche fournisse des données précises sur le nombre d'UF du point de vue d'un pollinisateur, le recours à des calculs peut entraîner des biais, et il pourrait être plus aisé d'utiliser également un pourcentage de couverture pour les fleurs. Quant à la méthode d'échantillonnage des pollinisateurs par chasse active, elle présente des avantages et des inconvénients. Le filet entomologique permet de récolter facilement des spécimens pour une

identification précise, mais il favorise l'échantillonnage des grosses espèces et peut déranger les pollinisateurs aux alentours. De plus, les abeilles sauvages sont globalement plus petites que les bourdons ou les abeilles domestiques. L'identification par morpho-groupes, bien que moins précise qu'une détermination à l'espèce, est rapide, réalisable sur le terrain, et non létale. Un œil expérimenté pourrait permettre d'obtenir davantage de précision.

Les semences des espèces sélectionnées ont été achetées auprès de divers fournisseurs et pépiniéristes tels qu'American Meadows, West Coast Seeds, Northern Wildflowers et McKenzie, présents en Amérique du Nord. Ces derniers n'apportent cependant pas d'informations sur la provenance des graines. Ce qui entraîne un manque de traçabilité concernant leur origine ou encore leur lieu de production. Il n'existe pas encore de label semblable à Végétal Local en France, qui permet de garantir qu'une espèce commercialisée provienne d'une aire biogéographique spécifique et que sa collecte est durable, ne nuit pas à l'équilibre des communautés du site de prélèvement. Ce label est, en outre, intéressant car il favorise la diversité génétique au sein de l'espèce et garantit ainsi que celles-ci soient adaptées à leur aire biogéographique (Clément et Malaval, 2019 ; Malaval *et al.*, 2015).

Conclusion

Pour conclure, la mise en place de bandes fleuries permet d'augmenter la richesse spécifique à l'échelle locale et potentiellement à l'échelle du paysage en attirant, entre autres, des pollinisateurs et des ennemis naturels aux ravageurs de cultures (Haaland *et al.*, 2011 ; Korpela *et al.*, 2013). La sélection rigoureuse d'espèces végétale est un paramètre essentiel pour favoriser l'attractivité des pollinisateurs indigènes vers ce milieu, tout en tenant compte des préférences de ces derniers (Ouvrard *et al.*, 2018). Qui plus est, cela permet d'assurer de meilleurs services écosystémiques (SE) et le développement de ces milieux semi-naturels adaptées aux conditions climatiques données permettrait de les maximiser (Uyttenbroeck *et al.*, 2015). Se pencher sur les traits fonctionnels intéressants pour les pollinisateurs est donc crucial (Voir travaux de Lucile GUILLON). Il faut aussi veiller à garantir la disponibilité d'un réseau d'habitats diversifiés et de ressources alimentaires pour les pollinisateurs tout au long de l'année, ainsi que des sites de nidification pour de nombreuses espèces. (Buhk *et al.*, 2018).

Concernant les espèces entomophiles testées dans les bandes fleuries expérimentales, la phacélie, la centaurée, la vesce et, dans une moindre mesure, le trèfle rouge et le cosmos attirent de nombreux pollinisateurs, y compris les bourdons et les abeilles sauvages.

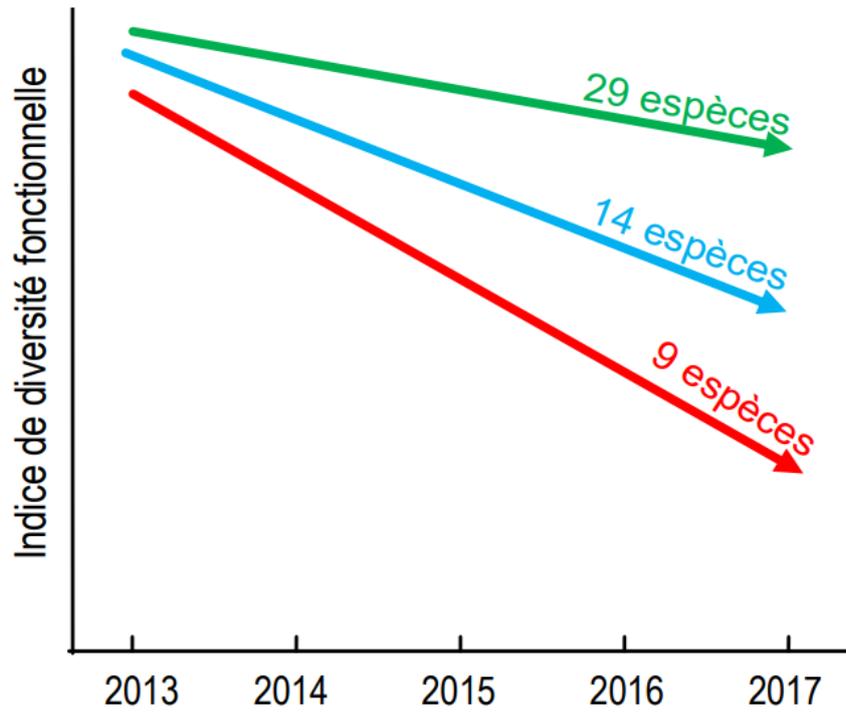


Figure 19 : Évolution de la diversité fonctionnelle des plantes selon le nombre d'espèces semées au départ. Les mélanges restent d'autant plus stables qu'ils ont été semés avec beaucoup d'espèces (Gardarin, 2023)

Quant aux espèces qui ne se sont pas implantées, ou très peu, telles que la monarde, l'aster et la marguerite, bien que leur succès ait été limité lors de cette phase expérimentale, elles n'en restent pas moins intéressantes pour les pollinisateurs. Idéalement, il faudrait les semer après une stratification à froid ou lors d'un semis d'automne. Le mélilot est une espèce bisannuelle, dont la floraison survient généralement lors de la deuxième année après sa germination.

De plus, avoir une diversité en espèces végétales suffisamment grande permet d'éviter la simplification du mélange avec les années et réduit l'implantation d'adventices (*Fig. 19*). Il est conseillé de favoriser des espèces vivaces pour la pérennité des bandes fleuries, mais sans omettre les annuelles lors des premières années d'implantation. Ces dernières jouent un rôle déterminant dans le soutien des pollinisateurs peu après l'implantation de bandes de fleurs sauvages. Il est également judicieux d'allier des espèces à forte floribondité telles que la phacélie, le cosmos, la centaurée ou encore la vesce avec des espèces au fort recouvrement du sol comme le trèfle rouge et l'achillée millefeuille. Enfin, les espèces testées peuvent être combinées avec d'autres espèces pertinentes, pouvant nécessiter préalablement d'une stratification à froid, comme la verveine hastée (*Verbana hastata* L.) de la famille des Verbénacées, une espèce indigène au Québec qui semble attirer de nombreuses abeilles sauvages en août (*Fig. 20*) (observations personnelles). D'autres espèces intéressantes à ajouter dans les compositions peuvent être l'héliénie d'automne (*Helenium autumnale* L.), l'échinacée pourpre (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) qui sont de grandes sources de pollen et de nectar, toutes deux de la famille des Astéracées.

Perspectives

La deuxième phase du projet, tirant les leçons des expériences menées à la ferme campus, vise à réaliser des aménagements en conditions réelles, notamment en bordure de bassins de rétention et de milieux humides urbains ou périurbains. Ces zones mésiques, sont idéales pour l'implantation de bandes fleuries. Non seulement elles favorisent la biodiversité en attirant les pollinisateurs et les auxiliaires de culture, mais enrichissent également les ressources nutritives disponibles pour les pollinisateurs sauvages. Elles permettent aussi de créer de nouveaux habitats pour certaines abeilles solitaires, tels que les Mégachiles, qui découpent des feuilles, les Xylocopes plus connu sous le nom d'abeilles charpentières ou encore les Osmies, des abeilles maçonnes, ainsi que d'autres insectes. De plus, ces aménagements améliorent l'intégration des projets de restauration dans le paysage urbain, rehaussent l'attrait esthétique et facilitent leur acceptation par les habitants.



Figure 20 : Bassin de biorétention fleuri sur le campus de l'Université Laval © Eloïse PERRIN

Exemple d'un bassin de biorétention fleuri présent à l'Université Laval au mois d'août (coordonnées GPS : 46°46'53.67"N 71°16'21.64"O). Ce dernier semblerait avoir été mis en place début 2023, tandis que les plantations sont survenues par la suite.

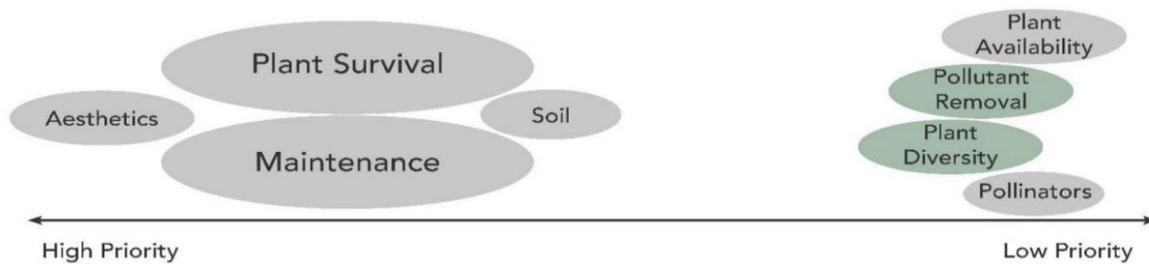


Figure 21 : Gradient des facteurs influençant la prise de décision lors de la conception de plantations dans les bassins de biorétention (Hendricks et al., 2024)

Compilations de retours de quinze experts dans l'optique d'offrir des recommandations concrètes concernant l'amélioration des pratiques de conception des bassins de biorétention. Les facteurs influençant la prise de décision et leur importance ont été placés le long d'un gradient.

Cependant, la pérennité des bandes fleuries reste un enjeu majeur. Si l'établissement initial de nouvelles communautés végétales est relativement aisé, leur maintien sur plusieurs années pose des défis. La dynamique entre les espèces annuelles, bisannuelles et vivaces est essentielle dès la première saison, bien que les annuelles et bisannuelles tendent à disparaître au fil des années à la suite de la compétition induite par les vivaces. Cette succession de la végétation entraîne une convergence des traits fonctionnels des espèces végétales, ce qui complique le maintien de la diversité florale et représente un ainsi un réel défi (Fukami *et al.*, 2005 ; Uyttenbroeck *et al.*, 2015). A noter qu'il peut être nécessaire de ressemer certaines espèces, tel que les trèfles, souvent après cinq ans pour maintenir la richesse des bandes.

Les résultats obtenus à la ferme campus permettent d'orienter les futurs aménagements en privilégiant les espèces ou mélanges d'espèces se basant sur celles testées qui permettent d'assurer un bon recouvrement dès les premiers stades de développement, suivi d'une couverture florale variée et durable. Un entretien, tel qu'une fauche tardive, est essentiel pour freiner les successions écologiques et maintenir un milieu ouvert, permettant ainsi aux espèces semées de se ressemer et de contrôler les annuelles (Piqueray *et al.*, 2021 ; Scheper *et al.*, 2015). Sans gestion adéquate, les successions écologiques, caractérisées par l'invasion de poacées et d'adventices, réduisent la présence des fleurs sauvages semées (Haaland *et al.*, 2011).

Pour optimiser la diversité des ressources dans les bandes fleuries, il est recommandé de réaliser des inventaires des habitats adjacents aux futurs aménagements. Cela permettrait de cibler les espèces végétales à favoriser pour les pollinisateurs cibles et d'ajuster les mélanges en fonction des conditions locales (Haaland *et al.*, 2011). Il faudrait favoriser des mélanges plus diversifiés mais adaptés, avec une grande productivité florale et un recouvrement végétatif élevé, est crucial pour assurer leur compétitivité avec les adventices. De plus, peu importe la taille de ses dernières, elles auront un effet positif sur les communautés de pollinisateurs (Van Drunen *et al.*, 2022). Les bandes fleuries sont d'autant plus attrayantes lorsque le contraste écologique est fort c'est-à-dire lorsque les paysages n'ont que de faibles disponibilités en ressources (Scheper *et al.*, 2015).

Ces aménagements fleuris, en plus d'enrichir la biodiversité, peuvent également servir de corridors écologiques, reliant des habitats isolés sous forme de pas japonais. Leur connectivité est particulièrement importante en milieu urbain, où ces bandes pourraient être intégrées à la partie haute des bassins de biorétention ou des jardins de pluie (Bjørn et Howe, 2023). Actuellement, cette dimension n'est pas encore prioritaire lors de la conception de ces infrastructures mais pourrait être approfondie (*Fig. 21*) (Hendricks *et al.*, 2024).

Lexique

Adventices : Espèce végétale qui se développe dans un milieu où elle n'a pas été semée et qui s'est installée de façon non intentionnelle.

Anthropique : Actions réalisées directement ou indirectement par l'activité humaine comme la transformation de l'environnement, l'érosion des sols ou la pollution.

Constance florale : Relation entre un pollinisateur et une espèce végétale se traduisant par un comportement fidèle du pollinisateur envers les fleurs d'une certaine espèce (Fortel, 2014 ; Wells et Wells, 1983).

Entomophile : Méthode de pollinisation des plantes à fleurs par l'intermédiaire d'insectes pollinisateurs.

Espèces exotiques envahissantes (EEE) : D'après le Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs du Québec, il s'agit d'une espèce végétale, animale ou d'un micro-organisme introduit en dehors de son aire de répartition naturelle. Cette espèce introduite colonise de nouveaux milieux rapidement et compétitionne avec les espèces indigènes. Ainsi, son établissement a un impact négatif sur la biodiversité locale et constitue une menace pour l'environnement, l'économie ou la société (Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, s. d.).

Exine : Couche externe du grain de pollen (Figuroa *et al.*, 2023).

Facilitation : Les interactions facilitatrices sont des rencontres entre organismes bénéfiques à au moins l'un d'entre eux sans nuire à aucun. Elles créent des conditions favorables, offrent un refuge contre le stress, augmentent les ressources disponibles, favorisent la dissémination génétique et individuelle, et atténuent les effets des perturbations environnementales (Stachowicz, 2001). Dans ce mémoire, l'une des relations de facilitation abordées est le mutualisme, où deux espèces bénéficient de l'interaction, comme c'est le cas dans la relation entre les plantes et les pollinisateurs.

Fleuron : Terme botanique définissant les petites fleurs retrouvées sur les capitules de la famille des Astéracées et simulant une fleur. Les fleurons peuvent être soit tubulé au centre, soit ligulé sur le pourtour ou sur tout le capitule (Magee et Ahles, 2007 ; Marie-Victorin *et al.*, 2002).

Floribondité : Caractère floribond, produisant beaucoup de fleurs. Il est également corrélé positivement à la diversité spécifique des abeilles (Fortel, 2014)

Hotspot : Les points chauds de la biodiversité sont des milieux caractérisés par une grande richesse en espèces mais également soumis à des pressions (destruction des habitats, changement climatique, exploitation, ...)

Milieu semi-naturel : Un système peut être considéré comme semi-naturel lorsque l'action de l'Homme en son sein a pour seul effet de bloquer durablement un ou quelques processus participant au déterminisme écologique de ce système. Le rôle de l'Homme dans la gestion de ces systèmes doit se limiter à des événements perturbateurs cycliquement répétés permettant de bloquer une dynamique naturelle.

Mésocosme : Dispositif expérimental permettant d'étudier l'environnement dans des conditions contrôlées. Les mésocosmes sont souvent utilisés en écotoxicologie.

Milieu humide : écosystèmes avec un sol saturé en eau ou bien inondé pendant une durée suffisante pour altérer la nature du sol ou la composition de la végétation. On retrouve notamment les marais, les marécages, les tourbières, les prairies humides et les étangs (*Conservation des milieux humides et hydriques*, s. d.).

Monolectique* : Le pollinisateur prélève du pollen sur une unique espèce végétale.

Oligolectique* : Pollinisateur spécialisé sur un certain nombre de taxons d'un même genre ou d'une même famille botanique (Fortel, 2014).

Optimal Foraging Theory : La théorie de recherche optimale de nourriture suppose que les animaux adoptent un comportement visant à maximiser l'apport de ressources alimentaires et de minimiser l'énergie dépensée pour la trouver (Pyke, 2010). Cela permettrait également de prédire le comportement d'un animal dans sa recherche de nourriture.

Plante abri : Semée en même temps que les espèces d'intérêt, les plantes-abris permettent par exemple d'améliorer le rendement fourrager dans le cas de cultures (Lactanet, 2022). Les principales caractéristiques des plantes abris sont leur croissance et recouvrement rapide du sol ce qui diminue les risques d'érosion et leur compétition aux adventices.

Polylectique* : Ce terme désigne les espèces d'abeilles qui butinent des genres variés de plantes à fleur pour la récolte du pollen. Ces espèces sont généralistes (Fortel, 2014 ; Williams *et al.*, 2014).

Services écosystémiques : D'après le Millennium Ecosystem Assessment (MAE), les services écosystémiques sont des avantages matériels ou immatériels que l'Homme peut tirer des écosystèmes fonctionnels. Cet organisme classe les services écosystémiques en quatre catégories : les services de régulation , de support, d'approvisionnement et culturels (*Tableau 5*) (*Millennium Ecosystem Assessment, 2005*) ;

Services de Support/Soutien	Services de Production	Services de Régulation	Services Culturels
<ul style="list-style-type: none"> • Cycle de la matière • Cycle de l'eau • Formation des sols • Conservation de la biodiversité 	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentation • Eau • Fibres • Combustible • Ressources génétiques • Produits biochimiques et pharmaceutiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Du climat • De la qualité de l'air • Des flux hydriques • De l'érosion • Des maladies • Des parasites • De la pollinisation • Des risques naturels 	<ul style="list-style-type: none"> • Valeurs spirituelles et religieuses • Valeurs esthétiques • Récréation et écotourisme

Tableau 5 : Tableau des différents types de services écosystémiques (créé pour le module UVED de Montpellier SupAgro et d'après Étude & Documents n°20, Mai 2010, Commissariat Général au Développement Durable)

Sol arable : Terre qui peut être labourée et cultivée par la suite.

Stratification : Période de froid endurée par les graines allant de quelques jours à plusieurs semaines et qui permet la levée de dormance des semences. Cette étape est nécessaire pour certaines espèces afin d'initier leur germination et floraison. Ce procédé se réalise lors de l'hiver mais peut aussi être mimé en stratifiant les graines en conditions humides dans un congélateur.

Syndrome de pollinisation : Il s'agit des caractéristiques florales telles que la morphologie, la couleur, l'odeur ou encore les récompenses des fleurs associées à l'attraction d'un groupe de pollinisateurs assurant le succès reproductif des espèces végétales (Hermann et Kuhlemeier, 2011).

Unité florale : En se plaçant d'après le point de vue d'un pollinisateur, une unité florale correspond à une ou plusieurs fleurs pouvant être visitées par un pollinisateur de 0,5 cm de long sans voler. Il peut s'agir d'un capitule pour les Asteracées, d'une ombelle secondaire pour les Apiacées, d'une fleur simple ou encore d'une inflorescence (Baldock *et al.*, 2015 ; Fornoff *et al.*, 2017).

Zone mésique : D'après le Gouvernement du Québec, il s'agit d'un milieu avec un apport d'eau modéré ni trop humides, ni trop sec et avec un sol bien drainé. Ce terme large regroupe différentes formes d'habitats tels que les bordures de milieux humides, les prairies humides à mi-sèche, les forêts tempérées de feuillus.

* Ces définitions ne sont pas strictes car il existe de nombreux intermédiaires. Certaines espèces de pollinisateurs peuvent par exemple butiner du pollen sur une espèce végétale et collecter du nectar sur une autre.

Bibliographie

- Acorn Herb School. (s. d.). *Bee balm Monarda*. Récupéré le 29 juillet 2024 de <https://www.acornherbschool.com/bee-balm-monarda>
- Adler, L. S., Barber, N. A., Biller, O. M. et Irwin, R. E. (2020). Flowering plant composition shapes pathogen infection intensity and reproduction in bumble bee colonies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(21), 11559-11565. <https://doi.org/10.1073/pnas.2000074117>
- Al-Ghzawi, A. A.-M., Samarah, N., Zaitoun, S. et Alqudah, A. (2009). Impact of bee pollinators on seed set and yield of *Vicia villosa* spp. *dasycarpa* (Leguminosae) grown under semiarid conditions. *Italian Journal of Animal Science*, 8(1), 65-74. <https://doi.org/10.4081/ijas.2009.65>
- Baden-Böhm, F., App, M. et Thiele, J. (2022). The FloRes Database: A floral resources trait database for pollinator habitat-assessment generated by a multistep workflow. *Biodiversity Data Journal*, 10, e83523. <https://doi.org/10.3897/BDJ.10.e83523>
- Baldock, K. C. R., Goddard, M. A., Hicks, D. M., Kunin, W. E., Mitschunas, N., Morse, H., Osgathorpe, L. M., Potts, S. G., Robertson, K. M., Scott, A. V., Staniczenko, P. P. A., Stone, G. N., Vaughan, I. P. et Memmott, J. (2019). A systems approach reveals urban pollinator hotspots and conservation opportunities. *Nature Ecology & Evolution*, 3(3), 363-373. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0769-y>
- 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. et 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), 20142849. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.2849>
- Barnes, R. F., Nelson, C., Collins, M. et Moore, K. J. (2003). Forages: an introduction to grassland agriculture. *Environmental aspects of forage management*, 99-124.
- Belsky, J. et Joshi, N. K. (2019). Impact of Biotic and Abiotic Stressors on Managed and Feral Bees. *Insects*, 10(8), 233. <https://doi.org/10.3390/insects10080233>
- Benedek, P., Bánk, L. et Komlódi, J. (1973). Behaviour of wild bees (Hymenoptera: Apoidea) on hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.) flowers. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 74(1-4), 80-85. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1973.tb01782.x>

- Bjørn, M. C. et Howe, A. G. (2023). Multifunctional bioretention basins as urban stepping stone habitats for wildflowers and pollinators. *Urban Forestry & Urban Greening*, 90, 128133. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128133>
- Blanchart, E. (s. d.). *Les services écosystémiques*. Récupéré le 30 juillet 2024 de <https://www.supagro.fr/ress-petes/Opale/ServicesEco/co/ServicesEcosystemique.html>
- Buhk, C., Oppermann, R., Schanowski, A., Bleil, R., Lüdemann, J. et Maus, C. (2018). Flower strip networks offer promising long term effects on pollinator species richness in intensively cultivated agricultural areas. *BMC Ecology*, 18(1), 55. <https://doi.org/10.1186/s12898-018-0210-z>
- Carrié, R. J. G., George, D. R. et Wäckers, F. L. (2012). Selection of floral resources to optimise conservation of agriculturally-functional insect groups. *Journal of Insect Conservation*, 16(4), 635-640. <https://doi.org/10.1007/s10841-012-9508-x>
- Chabot, J. Nap., (1948). *Plantes mellifères du Québec*. Ministère de l'agriculture, service de l'apiculture, division des cultures spéciales <https://www.agrireseau.net/apiculture/documents/PLANTES%20MELLIF%3%88RES%20DU%20QU%3%89BEC%20version%202.pdf>
- Clément, O. et Malaval, S. (2019). « Végétal local » : une marque au service des acteurs du territoire. *Sciences Eaux & Territoires*, Numéro 30(4), 78-79. <https://doi.org/10.3917/set.030.0078>
- Cole, L. J., Baddeley, J. A., Robertson, D., Topp, C. F. E., Walker, R. L. et Watson, C. A. (2022). Supporting wild pollinators in agricultural landscapes through targeted legume mixtures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 323, 107648. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107648>
- Comba, L., Corbet, S. A., Hunt, L. et Warren, B. (1999). Flowers, Nectar and Insect Visits: Evaluating British Plant Species for Pollinator-friendly Gardens. *Annals of Botany*, 83(4), 369-383. <https://doi.org/10.1006/anbo.1998.0835>
- Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. (s. d.). *Conservation des milieux humides et hydriques*. Récupéré le 8 août 2024 de <https://mddep.gouv.qc.ca/eau/rives/milieuxhumides.htm>
- Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. (s. d.). *Espèces exotiques envahissantes (EEE)*. (s. d.). Récupéré le 30 juillet 2024 de <https://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes-exotiques-envahissantes/index.asp>
- Decourtye, A., Lecompte, P., Pierre, J., Chauzat, M.-P. et Thiébeau, P. (2007). Introduction de jachères florales en zones de grandes cultures : comment mieux concilier agriculture, biodiversité et apiculture ? *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 54(54), 33-56.
- Dufour, C. (2019). Les carences nutritionnelles des abeilles (*Apis mellifera* L.) en condition de pollinisation du bleuet à feuilles étroites (*Vaccinium angustifolium* Ait.) et de la canneberge (*Vaccinium macrocarpon* Ait.).

[https://www.semanticscholar.org/paper/Les-carences-nutritionnelles-des-abeilles-\(Apis-L.\)-Dufour/07fa748d6c100aca9bc380821b324b092da44051](https://www.semanticscholar.org/paper/Les-carences-nutritionnelles-des-abeilles-(Apis-L.)-Dufour/07fa748d6c100aca9bc380821b324b092da44051)

- Dufour, C., Fournier, V. et Giovenazzo, P. (2020a). Diversity and nutritional value of pollen harvested by honey bee (Hymenoptera: Apidae) colonies during lowbush blueberry and cranberry (Ericaceae) pollination. *The Canadian Entomologist*, 152(5), 622-645. <https://doi.org/10.4039/tce.2020.29>
- Dufour, C., Fournier, V. et Giovenazzo, P. (2020b). The impact of lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) and cranberry (*Vaccinium macrocarpon* Ait.) pollination on honey bee (*Apis mellifera* L.) colony health status. *PLOS ONE*, 15(1), e0227970. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227970>
- Ecological Agriculture Projects. (1993). Plantes compagnes et couvre-sol floraux pour la lutte biologique des ravageurs en verger. *McGill University*. Récupéré le 30 juillet 2024 de <https://www.eap.mcgill.ca/agrobio/ab330-09.htm>
- Egan, P. A., Adler, L. S., Irwin, R. E., Farrell, I. W., Palmer-Young, E. C. et Stevenson, P. C. (2018). Crop Domestication Alters Floral Reward Chemistry With Potential Consequences for Pollinator Health. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1357. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01357>
- Faegri, K. et Pijl, L. V. D. (2013). *Principles of Pollination Ecology*. Elsevier.
- Figuroa, L. L., Fowler, A., Lopez, S., Amaral, V. E., Koch, H., Stevenson, P. C., Irwin, R. E. et Adler, L. S. (2023). Sunflower spines and beyond: Mechanisms and breadth of pollen that reduce gut pathogen infection in the common eastern bumble bee. *Functional Ecology*, 37(6), 1757-1769. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.14320>
- Fornoff, F., Klein, A.-M., Hartig, F., Benadi, G., Venjakob, C., Schaefer, H. M. et Ebeling, A. (2017). Functional flower traits and their diversity drive pollinator visitation. *Oikos*, 126(7), 1020-1030. <https://doi.org/10.1111/oik.03869>
- FranceAgriMer (2017). Liste de plantes attractives pour les abeilles : Plantes nectarifères et pollinifères à semer et à planter. *Ministère de l'agriculture et de l'alimentation* https://www.tela-botanica.org/actu/IMG/Liste_Plantes_attractives-abeilles.pdf
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s. d.). *Global Action on Pollination Services for Sustainable Agriculture*. Pollination Services. Récupéré le 19 août 2024 de <https://www.fao.org/pollination/en>
- Fortel, L. (2014). *Écologie et conservation des abeilles sauvages le long d'un gradient d'urbanisation* [phdthesis, Université d'Avignon]. <https://theses.hal.science/tel-01159781>
- Fukami, T., Martijn Bezemer, T., Mortimer, S. R. et van der Putten, W. H. (2005). Species divergence and trait convergence in experimental plant community assembly. *Ecology Letters*, 8(12), 1283-1290. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00829.x>
- Gardarin, A. (2023). Des bandes fleuries diversifiées et pérennes, favorables à la biodiversité et à la lutte biologique : Résultats de huit années d'essais en grandes cultures dans le bassin parisien. UMR Agronomie. 2023. Récupéré le 03 août 2024 de

https://www.agroparistech.fr/sites/default/files/media/2023-05/plaquette_des_bandes_fleuries_favorables_a_la_biodiversite_et_a_la_lutte_biologique.pdf

- Giacomini, J. J., Leslie, J., Tarpay, D. R., Palmer-Young, E. C., Irwin, R. E. et Adler, L. S. (2018). Medicinal value of sunflower pollen against bee pathogens. *Scientific Reports*, 8(1), 14394. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32681-y>
- Girard, M., Chagnon, M. et Fournier, V. (2012). Pollen diversity collected by honey bees in the vicinity of *Vaccinium* spp. crops and its importance for colony development ¹ This article is part of a Special Issue entitled “Pollination biology research in Canada: Perspectives on a mutualism at different scales”. *Botany*, 90(7), 545-555. <https://doi.org/10.1139/b2012-049>
- Gouvernement du Québec. (2024). Normales climatiques du Québec. Récupéré le 23 juin 2024 de <https://www.environnement.gouv.qc.ca/climat/normales/index.asp>
- Grenier, A., McCune, F., Normandin, É., Favret, C., Fournier, V. et Grégoire, G. (2024). Enhancing urban lawn biodiversity: Investigating groundcovers introduction and pollinators attraction.
- Haaland, C., Naisbit, R. E. et Bersier, L.-F. (2011). Sown wildflower strips for insect conservation: a review: Wildflower strips for insect conservation. *Insect Conservation and Diversity*, 4(1), 60-80. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4598.2010.00098.x>
- Hair, J., Hult, G. T. M., Ringle, C. et Sarstedt, M. (2022). A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM).
- Hendricks, L., Hoffman, M., Wang, R. et Wu, H. (2024). Bioretention Planting Design for Pollutant Removal: Barriers and Best Practices.
- Hermann, K. et Kuhlemeier, C. (2011). The genetic architecture of natural variation in flower morphology. *Current Opinion in Plant Biology*, 14(1), 60-65. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2010.09.012>
- Hicks, D., Baude, M., Kratz, C., Ouvrard, P. et Stone, G. (2021). Deep learning object detection to estimate the nectar sugar mass of flowering vegetation. *Ecological Solutions and Evidence*, 2(3), e12099. <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12099>
- Hicks, D. M., Ouvrard, P., Baldock, K. C. R., Baude, M., Goddard, M. A., Kunin, W. E., Mitschunas, N., Memmott, J., Morse, H., Nikolitsi, M., Osgathorpe, L. M., Potts, S. G., Robertson, K. M., Scott, A. V., Sinclair, F., Westbury, D. B. et Stone, G. N. (2016). Food for Pollinators: Quantifying the Nectar and Pollen Resources of Urban Flower Meadows. *PLOS ONE*, 11(6), e0158117. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158117>
- Jeannerod, L., Carlier, A., Schatz, B., Daise, C., Richel, A., Agnan, Y., Baude, M. et Jacquemart, A.-L. (2022). Some bee-pollinated plants provide nutritionally incomplete pollen amino acid resources to their pollinators. *PLOS ONE*, 17(8), e0269992. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269992>
- Klein, A.-M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C. et Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world

- crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303-313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Korpela, E.-L., Hyvönen, T., Lindgren, S. et Kuussaari, M. (2013). Can pollination services, species diversity and conservation be simultaneously promoted by sown wildflower strips on farmland? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 179, 18-24. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.07.001>
- Lactanet. (2022, 10 mars). Établir sa prairie avec la meilleure plante-abri. *Lactanet*. <https://lactanet.ca/etablir-sa-prairie-avec-la-meilleure-plante-abri/>
- Laterre, R. (2021, 14 juin). *La plante-abri : allié ou compétiteur de la luzerne ?* La Terre de chez nous. <https://www.laterre.ca/actualites/la-plante-abri-allie-ou-competiteur-de-la-luzerne/>
- Laubertie, E. A., Wratten, S. D. et Hemptinne, J.-L. (2012). The contribution of potential beneficial insectary plant species to adult hoverfly (Diptera: Syrphidae) fitness. *Biological Control*, 61(1), 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.12.010>
- Lavoie, C. (2024). *Pissenlit contre pelouse : Une histoire d'amour, de haine et de tondeuse*. Éditions MultiMondes.
- Lázaro, A., Aase, A. L. T. O. et Totland, Ø. (2011). Relationships between densities of previous and simultaneous foragers and the foraging behaviour of three bumblebee species. *Ecological Entomology*, 36(2), 221-230. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2011.01263.x>
- Lévesque, J., and St-Laurent Samuel A. (2016). Pollinisateurs En Milieu Agricole : Outil d'Aide à La Décision. *Nature Québec*. Récupéré le 27 mars 2024 de https://naturequebec.org/wp-content/uploads/2019/11/Outil-daide-%C3%A0-la-d%C3%A9cision_Pollinisateurs-en-milieu-agricole_complet.pdf
- LoCascio, G. M., Aguirre, L., Irwin, R. E. et Adler, L. S. (2019). Pollen from multiple sunflower cultivars and species reduces a common bumblebee gut pathogen. *Royal Society Open Science*, 6(4), 190279. <https://doi.org/10.1098/rsos.190279>
- Magee, D. W. et Ahles, H. E. (2007). *Flora of the Northeast: a manual of the vascular flora of New England and adjacent New York* (2nd ed). *University of Massachusetts Press*.
- Malaval, S., Bischoff, A., Hédont, M., Provendier, D. D., Boutaud, M., Dao, J., Bardin, P., Dixon, L., Millet, J., Sandra, M., Mari-Anne, H., Michel, B., Jérôme, D., Philippe, B., Lara, D. et Jérôme, M. (2015). *Végétal Local : Une marque française pour la conservation de la flore indigène*. Eurogard VII The Seventh European Botanic Gardens Congress. <https://univ-avignon.hal.science/hal-01778344>
- Marie-Victorin, Brouillet, L., Hay, S. G. et Goulet, I. (2002). *Flore laurentienne* (3e éd. mise à jour et annotée). G. Morin.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Overview of the Millennium Ecosystem Assessment*. Récupéré le 30 juillet 2024 de <https://www.millenniumassessment.org/en/about.overview.aspx?>

- Minister of Agriculture and Agri-Food. Government of Canada (2014). Native Pollinators and Agriculture in Canada https://publications.gc.ca/collections/collection_2014/aac-aafc/A59-12-2014-eng.pdf
- Moisan-De Serres, J., Bourgoïn, F. et Lebeau, M.-O. (2014). Pollinisateurs et plantes mellifères : guide d'identification et de gestion. *Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec*.
- Ômura, H. et Honda, K. (2005). Priority of color over scent during flower visitation by adult *Vanessa indica* butterflies. *Oecologia*, 142(4), 588-596. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1761-6>
- Ouvrard, P., Transon, J. et Jacquemart, A.-L. (2018). Flower-strip agri-environment schemes provide diverse and valuable summer flower resources for pollinating insects. *Biodiversity and Conservation*, 27(9), 2193-2216. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-1531-0>
- Pamminger, T., Becker, R., Himmelreich, S., Schneider, C. W. et Bergtold, M. (2019). The nectar report: quantitative review of nectar sugar concentrations offered by bee visited flowers in agricultural and non-agricultural landscapes. *PeerJ*, 7, e6329. <https://doi.org/10.7717/peerj.6329>
- Patrignani, A. et Ochsner, T. E. (2015). Canopeo: A Powerful New Tool for Measuring Fractional Green Canopy Cover. *Agronomy Journal*, 107(6), 2312-2320. <https://doi.org/10.2134/agronj15.0150>
- Payette, A. (2003). Abeilles indigènes : connaître et recruter plus de pollinisateurs ! *Agri-Réseau* <https://www.agrireseau.net/petitsfruits/documents/61352/abeilles-indigenes-connaître-et-recruter-plus-de-pollinisateurs>
- Pernal, S. F. et Currie, R. W. (2000). Pollen quality of fresh and 1-year-old single pollen diets for worker honeybees (*Apis mellifera* L.). *Apidologie*, 31(3), 387-409. <https://doi.org/10.1051/apido:2000130>
- Petanidou, T. (2003). Introducing plants for bee-keeping at any cost? – Assessment of *Phacelia tanacetifolia* as nectar source plant under xeric Mediterranean conditions. *Plant Systematics and Evolution*, 238(1-4), 155-168. <https://doi.org/10.1007/s00606-002-0278-x>
- Piqueray, J., Gilliaux, V., Bodson, B. et Mahy, G. (2021). Autumn sowing and first-year mowing enhance flowering species abundance and diversity in wildflower strips. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 25, 1-7. <https://doi.org/10.25518/1780-4507.18812>
- Prieur, L. (2016). Gestion des adventices : essais de faux-semis. [Weed control : false seed bed trials.] *Alter Agri*, 1 March 2016 (136), pp. 26-28 <https://orgprints.org/id/eprint/34144/>
- Projet RARE. (2024). Axes de recherche. Récupéré le 5 mai 2024 <https://www.projetrare.ca/axes-de-recherche-1>

- Pyke, G. H. (2010). Optimal Foraging Theory: Introduction. Dans M. D. Breed et J. Moore (dir.), *Encyclopedia of Animal Behavior* (p. 601-603). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-045337-8.00210-2>
- Reverté, S., Retana, J., Gómez, J. M. et Bosch, J. (2016). Pollinators show flower colour preferences but flowers with similar colours do not attract similar pollinators. *Annals of Botany*, 118(2), 249-257. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw103>
- Ricou, C., Schneller, C., Amiaud, B., Plantureux, S. et Bockstaller, C. (2014). A vegetation-based indicator to assess the pollination value of field margin flora. *Ecological Indicators*, 45, 320-331. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.03.022>
- Robson, D. B. (2014). Identification of Plant Species for Crop Pollinator Habitat Enhancement in the Northern Prairies. *Journal of Pollination Ecology*, 14, 218-234. [https://doi.org/10.26786/1920-7603\(2014\)21](https://doi.org/10.26786/1920-7603(2014)21)
- Rose, T., Kremen, C., Thrupp, A., Gemmill-Herren, B., Graub, B. et Azzu, N. (2015). *Mainstreaming of Biodiversity and Ecosystem Services With A Focus On Pollination*.
- Scheper, J., Bommarco, R., Holzschuh, A., Potts, S. G., Riedinger, V., Roberts, S. P. M., Rundlöf, M., Smith, H. G., Steffan-Dewenter, I., Wickens, J. B., Wickens, V. J. et Kleijn, D. (2015). Local and landscape-level floral resources explain effects of wildflower strips on wild bees across four European countries. *Journal of Applied Ecology*, 52(5), 1165-1175. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12479>
- Schmehl, D. R., Teal, P. E. A., Frazier, J. L. et Grozinger, C. M. (2014). Genomic analysis of the interaction between pesticide exposure and nutrition in honey bees (*Apis mellifera*). *Journal of Insect Physiology*, 71, 177-190. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2014.10.002>
- Schoch, K., Tschumi, M., Lutter, S., Ramseier, H. et Zingg, S. (2022). Competition and Facilitation Effects of Semi-Natural Habitats Drive Total Insect and Pollinator Abundance in Flower Strips. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.854058>
- Shahmohamadloo, R. S., Tissier, M. L. et Guzman, L. M. (2024). Risk assessments underestimate threat of pesticides to wild bees. *Conservation Letters*, n/a(n/a), e13022. <https://doi.org/10.1111/conl.13022>
- Stachowicz, J. J. (2001). Mutualism, Facilitation, and the Structure of Ecological Communities. *BioScience*, 51(3), 235. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0235:MFATSO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0235:MFATSO]2.0.CO;2)
- Turmel-Courchesne, L., Chaise-Leal, L., Bourgeois, B., Poulin, M. (2024). Aménagement de la végétation riveraine en milieu agricole. Projet pilote en milieu agricole - Bassin versant du ruisseau au Castor. Rapport présenté au ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs.
- Tschumi, M., Albrecht, M., Entling, M. H. et Jacot, K. (2015). High effectiveness of tailored flower strips in reducing pests and crop plant damage. *Proceedings. Biological Sciences*, 282(1814), 20151369. <https://doi.org/10.1098/rspb.2015.1369>

- Uyttenbroeck, R., Hatt, S., Piqueray, J., Paul, A., Bodson, B., Francis, F. et Monty, A. (2015). Creating Perennial Flower Strips: Think Functional! *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 6, 95-101. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.08.044>
- Van Drunen, S. G., Linton, J. E., Kuwahara, G. et Ryan Norris, D. (2022). Flower plantings promote insect pollinator abundance and wild bee richness in Canadian agricultural landscapes. *Journal of Insect Conservation*, 26(3), 375-386. <https://doi.org/10.1007/s10841-022-00400-8>
- Wells, H. et Wells, P. H. (1983). Honey Bee Foraging Ecology: Optimal Diet, Minimal Uncertainty or Individual Constancy? *Journal of Animal Ecology*, 52(3), 829-836. <https://doi.org/10.2307/4457>
- Williams, I. H. et Christian, D. G. (1991). Observations on *Phacelia tanacetifolia* Bentham (Hydrophyllaceae) as a food plant for honey bees and bumble bees. *Journal of Apicultural Research*, 30(1), 3-12. <https://doi.org/10.1080/00218839.1991.11101227>
- Williams, P. H., Thorp, R. W. et Richardson, L. L. (2014). Bumble Bees of North America: an Identification Guide. *Princeton University Press*.
- Wood, T. J., Holland, J. M. et Goulson, D. (2017). Providing foraging resources for solitary bees on farmland: current schemes for pollinators benefit a limited suite of species. *Journal of Applied Ecology*, 54(1), 323-333. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12718>
- Xerces Society for Invertebrate Conservation. (2023). Native Plants for Pollinators and Beneficial Insects: Northeast Region. <https://www.xerces.org/publications/plant-lists/native-plants-for-pollinators-and-beneficial-insects-northeast>
- Zattara, E. E. et Aizen, M. A. (2021). Worldwide occurrence records suggest a global decline in bee species richness. *One Earth*, 4(1), 114-123. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.12.005>

Annexes

Annexe 1 : Tableau non exhaustif des principales causes et conséquences du déclin des pollinisateurs

Ce tableau découle d'une revue bibliographique sur les conséquences du déclin des pollinisateurs à l'échelle mondiale dans le cadre de ce stage. (Belsky et Joshi, 2019 ; Decourtye et al., 2007 ; Dufour, 2019 ; Egan et al., 2018 ; Figueroa et al., 2023 ; Jeannerod et al., 2022 ; Pamminer et al., 2019 ; Pernal et Currie, 2000 ; Schmehl et al., 2014 ; Shahmohamadloo et al., s. d. ; Williams et al., 2014)

Cause	Conséquences
Perte et fragmentation des habitats	Réduction de la disponibilité des ressources florales, d'habitats de nidification et d'hivernage Diminution de la proximité de ces différents sites Augmentation de la compétition pour les ressources limitées entre les abeilles indigènes et mellifères domestiques
Monocultures	Augmentation des cultures agricoles pollinisateurs-dépendantes Accès à une variété de pollens et de nectar limitée Manque de richesse et carences en nutriments lorsque la diversité florale est faible Ex : Le pollen du maïs (<i>Zea mays</i> L., 1753) fournit du pollen de "mauvaise qualité" et engendre chez le bourdon terrestre (<i>Bombus terrestris</i> L., 1758) un impact négatif sur sa croissance et entraîne un mauvais développement du couvain à la suite de carences de certains acides aminés
Insecticides et pesticides	Présence de pesticides dans le pollen consommé par les pollinisateurs. Ex : Chez l'abeille domestique (<i>Apis mellifera</i> L., 1758) la consommation en quantité de pollen de qualité permet une résistance accrue aux pesticides tel que le chlorpyrifos.
Changement climatique	Perturbation de la synchronisation des pollinisateurs et de la floraison Réduction de la disponibilité des ressources florales Nécessité d'une adaptation physiologique des pollinisateurs
Pathogènes	Augmentation de la résistance des parasites, pathogènes et ravageurs des pollinisateurs Diminution de la "santé" des pollinisateurs Transmission de maladies, parasites et pathogènes des espèces de pollinisateurs domestiqués vers les pollinisateurs sauvages (pathogen spillover). Ex : Chez le bourdon fébrile (<i>Bombus impatiens</i> Cresson, 1863) la domestication de la grande myrtille (<i>Vaccinium corymbosum</i> L., 1753) entraîne la diminution de la diversité chimique en AA et en esters cafféique dans le pollen. La présence de ce dernier en quantité réduit significativement l'infection parasitaire intestinale par <i>Crithidia</i> chez la myrtille sauvage.
Espèces exotiques envahissantes	Altération de l'écosystème par l'introduction et l'établissement d'abeilles, de guêpes et de plantes. Compétition entre les espèces pour l'accès aux ressources

	Ex : L'abeille domestique (<i>Apis mellifera</i> L., 1758) introduite en Amérique du Nord il y a quelques décennies serait en partie responsable du déclin de certains pollinisateurs comme les bourdons.
Elimination	Parfois perçus comme dangereux ou porteur de la peste certains pollinisateurs vivant en colonies tels que les bourdons sont décimés notamment au sein du paysage urbain et agricole

Annexe 2 : Synthèse récapitulative des espèces végétales sélectionnées pour les bandes fleuries et leurs critères attractif pour les pollinisateurs

Famille des Astéracées

***Achillea millefolium* L., 1753**

Pollinisateurs attirés : Hyménoptères, diptères (syrphes), lépidoptères, coléoptères

L'achillée millefeuille est une espèce herbacée vivace, introduite et originaire d'Europe. Cette espèce a une forte densité florale est très attractive pour les abeilles à langue courtes, les syrphes ou encore les guêpes parasitoïdes (FranceAgriMer, 20217 ; Xerces Society for Invertebrate Conservation, 2023). De plus, elle est une source importante de nectar et de pollen notamment en aout lorsque les ressources florales tendent à être moins disponibles (Hicks *et al.*, 2016). *A. millefolium* possède une forte concentration de sucre dans le nectar, quant à son pollen, il est modérément riche en protéine (Baden-Böhm *et al.*, 2022 ; Kleijn *et al.*, 2018 ; Sydenham *et al.*, 2023 ; Uyttenbroeck *et al.*, 2015). Selon Hicks *et al.* (2016), la quantité de sucre issu du nectar par unité florale (UF) est d'environ $31,105 \pm 2,725 \mu\text{g}/\text{jour}$.

De façon générale, cette espèce est très appréciée des syrphes, qui sont notamment attirés par le blanc, mais attire aussi des hyménoptères, des coléoptères, des hémiptères ou encore des lépidoptères (Observations personnelles, Carrié *et al.*, 2012 ; Ouvrard *et al.*, 2018). *A. millefolium* participe également à la lutte contre les ravageurs de culture grâce à l'attraction d'ennemis naturels aux ravageurs de culture tel que les pucerons (Carrié *et al.*, 2012 ; Ecological Agriculture Projects, 1993).

***Centaurea cyanus* L., 1753**

Pollinisateurs attirés : Hyménoptères, notamment les abeilles et les bourdons, diptères (syrphes) et lépidoptères.

Le bleuet des moissons est une espèce herbacée annuelle, introduite d'Europe. Cette espèce attire une large diversité d'insectes, tels que les abeilles mellifères, les bourdons ou encore les abeilles sauvages non-Apidé (Observations personnelles, Comba *et al.*, 1999 ;

Ouvrard *et al.*, 2018). De plus, cette espèce à des potentiels pollinifère et nectarifères hauts notamment grâce à sa haute teneur en sucre dans le nectar par UF (Baden-Böhm *et al.*, 2022 ; FranceAgriMer, 2017). Afin d’avoir un ordre d’idée, la quantité de sucre issu du nectar par unité florale (UF) est d’environ $896 \pm 174 \mu\text{g/jour}$ (Hicks *et al.*, 2016).

Cosmos bipinnatus Cav., 1791

Pollinisateurs attirés : Hyménoptères et lépidoptères.

Le cosmos est une espèce herbacée annuelle originaire du Mexique et de la partie méridionale de l’Amérique du Sud. Sa croissance est rapide et lui permet de s’établir facilement, mais son recouvrement au sol reste relativement faible (Observations personnelles). *C. bipinnatus* est remarquable par son fort impact visuel grâce à l’abondance et la durabilité de ses grosses fleurs roses dont la floraison peut s’étendre jusqu’à l’automne, offrant ainsi des ressources nutritives pour les pollinisateurs (FranceAgriMer, 2017 ; Lévesque and St-Laurent Samuel, 2016). Son potentiel nectarifère est donc très important en fin d’été (Moisan-De Serres *et al.*, 2014). Selon Hicks *et al.* (2016), la quantité de sucre issu du nectar par unité florale (UF) est d’environ $701 \pm 69 \mu\text{g/jour}$.

Leucanthemum maximum (Ramond) DC., 1837

Pollinisateurs attirés : Hyménoptères (abeilles et guêpes), diptères, lépidoptères, coléoptères.

La grande marguerite est une espèce herbacée vivace, originaire d’Europe. Cette espèce attire une grande variété de pollinisateurs, sa floraison estivale est abondante et persistante pendant plusieurs semaines (Chabot, J. Nap., 1948 ; FranceAgriMer, 2017 ; Lévesque and St-Laurent Samuel, 2016 ; Xerces Society for Invertebrate Conservation, 2023). *L. maximum* est aussi une source de pollen et de nectar importante notamment pour les abeilles solitaires (Moisan-De Serres *et al.*, 2014 ; Wood *et al.*, 2017). Tout comme le cosmos, le potentiel pollinifère par UF est très élevé avec $15,9 \pm 2\mu\text{l}$ chez *Leucanthemum vulgare*, appartenant au même genre (Hicks *et al.*, 2016). Concernant cette dernière, la quantité de sucre issu du nectar par unité florale (UF) est d’environ $515,213 \pm 222,175 \mu\text{g/jour}$ (Hicks *et al.*, 2016). Cependant, *L. vulgare* est considérée comme une adventice au Québec et s’implante très facilement lorsque des niches sont vacantes (Observations personnelles). Néanmoins, les données précédentes permettent d’avoir un aperçu des qualité nutritives de *L. maximum*. Ce genre est également favorable aux auxiliaires de culture (Ecological Agriculture Projects, 1993).

Symphotrichum laeve (L.) Á.Löve & D.Löve, 1982

Pollinisateurs attirés : Hyménoptères (abeilles et guêpes), diptères, lépidoptères, coléoptères.

L'aster lisse est une espèce herbacée vivace indigène en Amérique du Nord, dont le Québec. Sa floraison en fin de saison, fournit une ressource alimentaire tardive souvent jusqu'à fin octobre pour les pollinisateurs. Sa floraison est abondante, s'étale sur plusieurs semaines et permet de prolonger la période de butinage des pollinisateurs (Moisan-De Serres et al., 2014 ; Williams et al., 2014). Concernant la qualité des ressources nutritives, *S. leave* est une source de nectar importante et en moindre mesure de pollen (Chabot, J. Nap., 1948 ; FranceAgriMer, 2017 ; Lévesque S. and St-Laurent Samuel A., 2016 ; Xerces Society for Invertebrate Conservation, 2023). Ces dernières sont facilement accessibles pour de nombreux pollinisateurs à langue courtes, y compris les abeilles, les papillons ou encore les syrphes grâce à son inflorescence en capitule.

Famille des Lamiacées

***Monarda fistulosa* L., 1753**

Pollinisateurs attirés : Hyménoptères, diptères (Syrphidae), lépidoptères, coléoptères et colibris.

La monarde fistuleuse est une espèce herbacée vivace indigène au Québec, ses fleurs aux couleurs vives et parfumées offrent une source abondante de nectar et de pollen. Sa floraison s'étend du milieu de l'été à l'automne et assure des ressources nutritives en fin de saison estivale pour les pollinisateurs (Moisan-De Serres *et al.*, 2014 ; North American Native Plant Society ; Williams *et al.*, 2014). Sa corolle longue, rend son nectar difficilement accessible et favorise les polinisateurs à langue longues (Lévesque and St-Laurent Samuel, 2016, Xerces Society for Invertebrate Conservation, 2023).

M. fistulosa possède également des propriétés médicinales intéressantes et permettrait de traiter la toux, la fièvre ou encore la congestion pulmonaire en faisant des infusions. Elle est traditionnellement utilisée pour stimuler la transpiration lors des cérémonies de la hutte à sudation des communautés autochtones d'amérindiens (Acorn Herb School., s. d.).

Famille des Boraginacées

***Phacelia tanacetifolia* Benth., 1835**

Pollinisateurs attirés : Hyménoptères, diptères (Syrphidae), lépidoptères et coléoptères.

La phacélie est une espèce annuelle herbacée introduite, originaire du nord du Mexique et du Sud de la Californie, elle est connue pour sa longue période de floraison. *P. tanacetifolia* se trouve être une grande source de nectar et de pollen pour de nombreux insectes et offre une nourriture soutenue pour les pollinisateurs par le renouvellement constant de ses fleurs

(Moisan-De Serres *et al.*, 2014 ; Van Drunen *et al.*, 2022 ; Williams et Christian, 1991 ; FranceAgriMer, 2017). Les hyménoptères tels que l'abeille mellifère et les bourdons sont largement retrouvés sur ses fleurs en plus des autres pollinisateurs. De plus, son potentiel mellifère est important en produisant du nectar (majoritairement du saccharose et plus faiblement du fructose et du glucose) ainsi que du pollen et peut attirer les abeilles jusqu'à 8km de distance (Petanidou, 2003). Son pollen est également très concentré en protéines avec environ 25% de protéines (Baden-Böhm *et al.*, 2022 ; Pernal et Currie, 2000 ; Van Drunen *et al.*, 2022).

Cette espèce permet aussi de lutter naturellement contre les parasites de culture par l'attraction d'une faune bénéfique tels que les prédateurs des pucerons et autres ravageurs de cultures (syrphes, trichogrammes, guêpes parasitoïdes et coléoptères dévoreurs de limaces) (Laubertie *et al.*, 2012 ; Moisan-De Serres *et al.*, 2014 ; Van Drunen *et al.*, 2022). Par exemple, la phacélie accroît le taux de ponte et la fécondité d'une syrphé : *Episyrphus balteatus* (Laubertie *et al.*, 2012). *P. tanacetifolia* est également utilisée, entre autres, comme engrais vert, culture de couverture, ou encore comme fourrage. Les fleurs une fois fanées, la plante peut se récolter et offrir un fourrage riche en protéines et acides aminés pour les animaux.

Famille des Fabacées

***Melilotus officinalis* (L.) Lam., 1779**

Pollinisateurs attirés : Hyménoptères, lépidoptères et coléoptères.

Le mélilot est une espèce bisannuelle herbacée, originaire d'Europe et d'Asie occidentale, introduite et naturalisée en Amérique du Nord. Sa longue période de floraison offre une ressource continue de nectar et de pollen pour de nombreux insectes pollinisateurs. De plus, *M. officinalis* assure une nutrition de haute qualité car les protéines présentes dans le pollen favorisent le bon développement ovarien et la ponte des reines chez l'abeille mellifère (Chabot, J. Nap., 1948 ; Decourtye *et al.*, 2007 ; Pernal et Currie, 2000 ; Van Drunen *et al.*, 2022 ; Williams *et al.*, 2014).

Au-delà de ses avantages pour les pollinisateurs, après sa floraison, *M. officinalis* peut être valorisé en fourrage riche en protéines et en acides aminés pour les animaux. Comme toutes les espèces de la famille des Fabacées, le mélilot a la capacité d'enrichir le sol en azote et est notamment utilisée dans les rotations de culture (Barnes *et al.*, 2003)

***Trifolium incarnatum* L., 1753**

Pollinisateurs attirés : Hyménoptères en large majorité dont les abeilles à langues longues, diptères, lépidoptères, hémiptères, coléoptères et orthoptères.

Le trèfle rouge est une espèce annuelle herbacée, originaire d'Europe et capable d'autopollinisation. Cependant sa reproduction est largement facilitée par l'intervention des pollinisateurs. *T. incarnatum* est une très bonne source de nectar et de pollen. Plus largement, le genre *Trifolium* est utile pour la nidification de deux Familles d'abeilles indigènes : les Apidés et les Adréniés (Kleijn *et al.*, 2018 ; Moisan-De Serres *et al.*, 2014 ; Williams *et al.*, 2014 ; FranceAgriMer, 2017). De plus, le trèfle rouge grâce à sa floraison dense soutien de la diversité des pollinisateurs en favorisant une plus grande richesse et densité de bourdons par rapport à *T. pratense* (environ six fois plus) (Cole *et al.*, 2022). Cependant sa corolle profonde favorise les pollinisateurs à langues longues tel que les bourdons au détriment des pollinisateurs à langues courtes. Ainsi, une combinaison de légumineuses fonctionnellement distinctes au niveau de la structure florale et leur phénologie de floraison, soutient une plus large gamme d'insectes pollinisateurs et permet de stabiliser la disponibilité temporelle du fourrage (Cole *et al.*, 2022).

En plus d'être intéressant pour les pollinisateurs, *T. incarnatum* est utilisé comme engrais vert et améliore la fertilité du sol par la fixation de l'azote comme toutes les légumineuses. Elles sont aussi riches en protéines et intéressantes pour l'alimentation humaine et animale (Cole *et al.*, 2022).

***Vicia villosa* Roth, 1793**

Pollinisateurs attirés : Hyménoptères et lépidoptères.

La vesce velue est une espèce annuelle herbacée introduite, originaire d'Europe, elle possède une très haute teneur en protéine dans le pollen (Baden-Böhm *et al.*, 2022 ; Williams *et al.*, 2014, Chabot, J. Nap., 1948, Minister of Agriculture and Agri-Food. Government of Canada, 2014). Elle produit également du nectar et favorise la diversité de pollinisateurs. La corolle profonde de ses fleurs favorise les abeilles dont la langue est longue qui butinent sans effort et rapidement les fleurs par rapport aux pollinisateurs dont la langue est plus courte (Benedek *et al.*, 1973). De plus, les fleurs de *V. villosa* sont bien plus visitées aux premières heures de la journée par les pollinisateurs (Al-Ghzawi *et al.*, 2009).

En plus d'être intéressant pour les pollinisateurs, *V. villosa* est couramment utilisée en culture de couverture et fourragère. Elles fixent l'azote atmosphérique et augmente la fertilité du sol. *V. villosa* est bien plus tolérante au froid que *V. sativa* et peut donc supporter les hivers rudes du Québec.

Annexe 3 : Période de floraison des espèces sélectionnées d'après les flores locales (Magee et Ahles, 2007 ; Marie-Victorin et al., 2002)

Espèce	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.
<i>Achillea millefolium</i>								
<i>Centaurea cyanus</i>								
<i>Cosmos bipinnatus</i>								
<i>Leucanthemum maximum</i>								
<i>Melilotus officinalis</i>								
<i>Monarda fistulosa</i>								
<i>Phacelia tanacetifolia</i>								
<i>Symphyotrichum laeve</i>								
<i>Trifolium incarnatum</i>								
<i>Vicia villosa</i>								

Annexe 4 : Pic de floraison estimée des espèces sélectionnées

La date du pic de floraison a été déterminée par le calcul d'après les périodes de floraison de chaque espèce et en suivant la méthode utilisée par Baude et al. (2016).

Espèce	Pic de floraison	Durée de floraison en jours
<i>Achillea millefolium</i>	31/07/2024	121
<i>Centaurea cyanus</i>	16/07/2024	91
<i>Cosmos bipinnatus</i>	31/08/2024	122
<i>Leucanthemum maximum</i>	31/07/2024	121
<i>Melilotus officinalis</i>	31/07/2024	121
<i>Monarda fistulosa</i>	15/08/2024	91
<i>Phacelia tanacetifolia</i>	31/07/2024	183
<i>Symphyotrichum laeve</i>	15/09/2024	91
<i>Trifolium incarnatum</i>	01/07/2024	122
<i>Vicia villosa</i>	16/07/2024	91

Annexe 5 : Photographie du site à la suite de la mise en place des parcelles le 24 mai 2024



Annexe 6 : Photographie de suivi des parcelles le 18 juillet 2024



Annexe 7 : Résultats du test de Kruskal-Wallis et comparaison par paires entre les espèces semées et les mélanges de semences (inventaire du 18 juillet 2024)

	.y.	group1	group2	n1	n2	statistic	p	p.adj	p.adj.signif
1	Esp_semees	1A	1B	12	12	1.0174401	3.089441e-01	1.000000e+00	ns
2	Esp_semees	1A	1C	12	12	-2.8252883	4.723809e-03	9.919999e-02	ns
3	Esp_semees	1A	1D	12	12	-1.1477734	2.510621e-01	1.000000e+00	ns
4	Esp_semees	1A	2A	12	12	1.6312677	1.028339e-01	1.000000e+00	ns
5	Esp_semees	1A	3A	12	12	3.1448150	1.661919e-03	3.490030e-02	*
6	Esp_semees	1A	4A	12	12	3.8301155	1.280831e-04	2.689745e-03	**
7	Esp_semees	1B	1C	12	12	-3.8427284	1.216741e-04	2.555156e-03	**
8	Esp_semees	1B	1D	12	12	-2.1652135	3.037134e-02	6.377981e-01	ns
9	Esp_semees	1B	2A	12	12	0.6138275	5.393293e-01	1.000000e+00	ns
10	Esp_semees	1B	3A	12	12	2.1273748	3.338895e-02	7.011680e-01	ns
11	Esp_semees	1B	4A	12	12	2.8126754	4.913122e-03	1.031756e-01	ns
12	Esp_semees	1C	1D	12	12	1.6775149	9.344183e-02	1.000000e+00	ns
13	Esp_semees	1C	2A	12	12	4.4565560	8.328687e-06	1.749024e-04	***
14	Esp_semees	1C	3A	12	12	5.9701033	2.371035e-09	4.979173e-08	****
15	Esp_semees	1C	4A	12	12	6.6554039	2.825232e-11	5.932987e-10	****
16	Esp_semees	1D	2A	12	12	2.7790410	5.451964e-03	1.144912e-01	ns
17	Esp_semees	1D	3A	12	12	4.2925883	1.766023e-05	3.708647e-04	***
18	Esp_semees	1D	4A	12	12	4.9778889	6.428153e-07	1.349912e-05	****
19	Esp_semees	2A	3A	12	12	1.5135473	1.301407e-01	1.000000e+00	ns
20	Esp_semees	2A	4A	12	12	2.1988479	2.788874e-02	5.856635e-01	ns
21	Esp_semees	3A	4A	12	12	0.6853006	4.931543e-01	1.000000e+00	ns

Annexe 8 : Résultats du test de Kruskal-Wallis et comparaison par paires entre les adventices et les mélanges de semences (inventaire du 18 juillet 2024)

	.y.	group1	group2	n1	n2	statistic	p	p.adj	p.adj.signif
1	Adventices	1A	1B	12	12	-2.3043845	2.120107e-02	4.452225e-01	ns
2	Adventices	1A	1C	12	12	2.4476186	1.438038e-02	3.019879e-01	ns
3	Adventices	1A	1D	12	12	1.2048519	2.282605e-01	1.000000e+00	ns
4	Adventices	1A	2A	12	12	-2.1232354	3.373413e-02	7.084167e-01	ns
5	Adventices	1A	3A	12	12	-3.1005978	1.931304e-03	4.055739e-02	*
6	Adventices	1A	4A	12	12	-3.7030237	2.130450e-04	4.473944e-03	**
7	Adventices	1B	1C	12	12	4.7520031	2.014112e-06	4.229636e-05	****
8	Adventices	1B	1D	12	12	3.5092364	4.493953e-04	9.437302e-03	**
9	Adventices	1B	2A	12	12	0.1811491	8.562506e-01	1.000000e+00	ns
10	Adventices	1B	3A	12	12	-0.7962133	4.259081e-01	1.000000e+00	ns
11	Adventices	1B	4A	12	12	-1.3986392	1.619212e-01	1.000000e+00	ns
12	Adventices	1C	1D	12	12	-1.2427668	2.139538e-01	1.000000e+00	ns
13	Adventices	1C	2A	12	12	-4.5708541	4.857404e-06	1.020055e-04	***
14	Adventices	1C	3A	12	12	-5.5482164	2.885985e-08	6.060568e-07	****
15	Adventices	1C	4A	12	12	-6.1506424	7.716976e-10	1.620565e-08	****
16	Adventices	1D	2A	12	12	-3.3280873	8.744446e-04	1.836334e-02	*
17	Adventices	1D	3A	12	12	-4.3054496	1.666469e-05	3.499585e-04	***
18	Adventices	1D	4A	12	12	-4.9078756	9.206823e-07	1.933433e-05	****
19	Adventices	2A	3A	12	12	-0.9773623	3.283898e-01	1.000000e+00	ns
20	Adventices	2A	4A	12	12	-1.5797883	1.141554e-01	1.000000e+00	ns
21	Adventices	3A	4A	12	12	-0.6024259	5.468907e-01	1.000000e+00	ns

Annexe 9 : Résultats du test de Kruskal-Wallis et comparaison par paires entre la hauteur moyenne et les mélanges de semences (inventaire du 18 juillet 2024)

	.y.	group1	group2	n1	n2	statistic	p	p.adj	p.adj.signif
1	H_moy	1A	1B	12	12	2.1436242	3.206301e-02	6.733232e-01	ns
2	H_moy	1A	1C	12	12	-2.3613360	1.820922e-02	3.823937e-01	ns
3	H_moy	1A	1D	12	12	-1.1178665	2.636240e-01	1.000000e+00	ns
4	H_moy	1A	2A	12	12	2.9726039	2.952853e-03	6.200991e-02	ns
5	H_moy	1A	3A	12	12	3.2866113	1.014007e-03	2.129415e-02	*
6	H_moy	1A	4A	12	12	3.8392644	1.234035e-04	2.591473e-03	**
7	H_moy	1B	1C	12	12	-4.5049602	6.638538e-06	1.394093e-04	***
8	H_moy	1B	1D	12	12	-3.2614907	1.108281e-03	2.327389e-02	*
9	H_moy	1B	2A	12	12	0.8289797	4.071159e-01	1.000000e+00	ns
10	H_moy	1B	3A	12	12	1.1429871	2.530439e-01	1.000000e+00	ns
11	H_moy	1B	4A	12	12	1.6956402	8.995403e-02	1.000000e+00	ns
12	H_moy	1C	1D	12	12	1.2434695	2.136949e-01	1.000000e+00	ns
13	H_moy	1C	2A	12	12	5.3339399	9.610436e-08	2.018192e-06	****
14	H_moy	1C	3A	12	12	5.6479473	1.623749e-08	3.409873e-07	****
15	H_moy	1C	4A	12	12	6.2006004	5.624815e-10	1.181211e-08	****
16	H_moy	1D	2A	12	12	4.0904704	4.304992e-05	9.040483e-04	***
17	H_moy	1D	3A	12	12	4.4044778	1.060390e-05	2.226819e-04	***
18	H_moy	1D	4A	12	12	4.9571309	7.154177e-07	1.502377e-05	****
19	H_moy	2A	3A	12	12	0.3140074	7.535154e-01	1.000000e+00	ns
20	H_moy	2A	4A	12	12	0.8666606	3.861280e-01	1.000000e+00	ns
21	H_moy	3A	4A	12	12	0.5526531	5.805010e-01	1.000000e+00	ns

Annexe 10 : Résultats du test de Kruskal-Wallis et comparaison par paires entre la couverture florale totale et les mélanges de semences (inventaire du 18 juillet 2024)

	.y.	group1	group2	n1	n2	statistic	p	p.adj	p.adj.signif
1	Total	1A	1B	12	12	3.6572909	2.548950e-04	5.352796e-03	**
2	Total	1A	1C	12	12	-1.1638765	2.444740e-01	1.000000e+00	ns
3	Total	1A	1D	12	12	-1.3465287	1.781321e-01	1.000000e+00	ns
4	Total	1A	2A	12	12	1.7967875	7.236936e-02	1.000000e+00	ns
5	Total	1A	3A	12	12	4.0905588	4.303351e-05	9.037036e-04	***
6	Total	1A	4A	12	12	4.2349814	2.285706e-05	4.799982e-04	***
7	Total	1B	1C	12	12	-4.8211674	1.427205e-06	2.997130e-05	****
8	Total	1B	1D	12	12	-5.0038196	5.620536e-07	1.180313e-05	****
9	Total	1B	2A	12	12	-1.8605034	6.281434e-02	1.000000e+00	ns
10	Total	1B	3A	12	12	0.4332679	6.648201e-01	1.000000e+00	ns
11	Total	1B	4A	12	12	0.5776905	5.634731e-01	1.000000e+00	ns
12	Total	1C	1D	12	12	-0.1826522	8.550710e-01	1.000000e+00	ns
13	Total	1C	2A	12	12	2.9606641	3.069766e-03	6.446508e-02	ns
14	Total	1C	3A	12	12	5.2544354	1.484793e-07	3.118065e-06	****
15	Total	1C	4A	12	12	5.3988580	6.706643e-08	1.408395e-06	****
16	Total	1D	2A	12	12	3.1433162	1.670453e-03	3.507951e-02	*
17	Total	1D	3A	12	12	5.4370875	5.415854e-08	1.137329e-06	****
18	Total	1D	4A	12	12	5.5815102	2.384391e-08	5.007222e-07	****
19	Total	2A	3A	12	12	2.2937713	2.180364e-02	4.578764e-01	ns
20	Total	2A	4A	12	12	2.4381939	1.476085e-02	3.099779e-01	ns
21	Total	3A	4A	12	12	0.1444226	8.851667e-01	1.000000e+00	ns

Annexe 11 : Résultats du test de Kruskal-Wallis et comparaison par paires entre la couverture florale totale et les mélanges de semences (inventaire du 8 août 2024)

	.y.	group1	group2	n1	n2	statistic	p	p.adj	p.adj.signif
1	Total	1A	1B	6	6	1.76183168	0.0780977400	1.0000000000	ns
2	Total	1A	1C	6	6	-1.28566096	0.1985614126	1.0000000000	ns
3	Total	1A	1D	6	6	-1.28566096	0.1985614126	1.0000000000	ns
4	Total	1A	2A	6	6	2.45227923	0.0141954456	0.298104358	ns
5	Total	1A	3A	6	6	1.83325729	0.0667643175	1.0000000000	ns
6	Total	1A	4A	6	6	2.52370484	0.0116125383	0.243863305	ns
7	Total	1B	1C	6	6	-3.04749264	0.0023075918	0.048459427	*
8	Total	1B	1D	6	6	-3.04749264	0.0023075918	0.048459427	*
9	Total	1B	2A	6	6	0.69044755	0.4899127822	1.0000000000	ns
10	Total	1B	3A	6	6	0.07142561	0.9430590288	1.0000000000	ns
11	Total	1B	4A	6	6	0.76187316	0.4461357104	1.0000000000	ns
12	Total	1C	1D	6	6	0.00000000	1.0000000000	1.0000000000	ns
13	Total	1C	2A	6	6	3.73794019	0.0001855341	0.003896215	**
14	Total	1C	3A	6	6	3.11891825	0.0018151632	0.038118426	*
15	Total	1C	4A	6	6	3.80936580	0.0001393237	0.002925798	**
16	Total	1D	2A	6	6	3.73794019	0.0001855341	0.003896215	**
17	Total	1D	3A	6	6	3.11891825	0.0018151632	0.038118426	*
18	Total	1D	4A	6	6	3.80936580	0.0001393237	0.002925798	**
19	Total	2A	3A	6	6	-0.61902194	0.5359019038	1.0000000000	ns
20	Total	2A	4A	6	6	0.07142561	0.9430590288	1.0000000000	ns
21	Total	3A	4A	6	6	0.69044755	0.4899127822	1.0000000000	ns

Annexe 12 : Tableau récapitulatif des informations sur les unités florales (UF)

Les données en rouges sont tirées de différentes ressources bibliographies et n'ont donc pas été mesurées sur les parcelles expérimentales suite à l'absence de floraison.

Liste d'espèces	Famille	Forme florale				Nombre de fleurs / UF (En cours de floraison)	Taille fleur (Ouverture de la fleur) Moyenne (en mm)	Taille fleurons tubulés Moyenne (en mm)	Taille UF Moyenne (en mm)	Aire florale Moyenne (en mm ²)
		UF	Couleur	Symétrie	Forme					
<i>Achillea millefolium</i>	Asteracées	Corymbe	Blanc	Actinomorphe	Disque ouvert	Exposés	121,2	2,85	76,1	4548,4
<i>Centaurea cyanus</i>	Asteracées	Capitule	Bleu	Actinomorphe	Fleurons tubulés	Cachés	23,2	20,2	35,1	967,61
<i>Cosmos bipinnatus</i>	Asteracées	Capitule	Rose	Actinomorphe	Disque ouvert	Exposés	/	13,3	71,6	4026,39
<i>Leucanthemum maximum</i>	Asteracées	Capitule	Blanc	Actinomorphe	Disque ouvert	Exposés	/	4	75	4417,86
<i>Mellilotus officinalis</i>	Fabacées	Racème allongé	Jaune	Zygomorphe	Papilionacée	Cachés	35	/	150 x 15	2250
<i>Monarda fistulosa</i>	Lamiacées	Capitule	Violet	Zygomorphe	Tubulaire	Cachés	35	/	60	2827,43
<i>Phacelia tanacetifolia</i>	Boraginacées	Grappe scorpioïde	Violet	Actinomorphe	Tubulaire	Cachés	25,4	/	55,8	2445,44
<i>Symphoricarpos laevis</i>	Asteracées	Capitule	Violet	Actinomorphe	Disque ouvert	Exposés	/	7,5	150	17671,45
<i>Trifolium incarnatum</i>	Fabacées	Têtes oblongues-coniques	Rouge	Zygomorphe	Papilionacée	Cachés	/	/	28,7 (L) x 14,8 (l)	424,76
<i>Vicia villosa</i>	Fabacées	Grappe pendante	Violet	Zygomorphe	Papilionacée	Cachés	18	/	46,1 x 18,2	839,02

Annexe 13 : Photographies des floraisons des divers mélanges en juillet ©Eloïse PERRIN

<p>Mélange 1B</p>	<p>Mélange 2A</p>
	
<p><i>Phacelia tanacetifolia</i> (n=1)</p>	<p><i>Achillea millefolium, Centaurea cyanus et Trifolium incarnatum</i> (n=3)</p>
<p>Mélange 3A</p>	<p>Mélange 4A</p>
	
<p><i>A. millefolium, C. cyanus, Monarda fistulosa, P. tanacetifolia, T. incarnatum et Vicia villosa</i> (n=6)</p>	<p><i>A. millefolium, C. cyanus, Cosmos bipinnatus, Leucanthemum maximum, Melilotus officinalis, M. fistulosa, P. tanacetifolia, Symphyotrichum leave, T. incarnatum et V.villosa</i> (n= 10)</p>