Stage Master 2 : Gestion des Habitats et des Bassins Versants

Mention : Sciences de l'eau

2019-2020

*Les interactions plantes-pollinisateurs et leurs effets sur la reproduction d'*Hypericum elodes *(Hypericaceae) sur la réserve du Pinail (86)*

Kevin GRUAU

Soutenance le 16 septembre 2020

Maîtres de stage :

Yann Sellier (GEREPI)

Freddie-Jeanne Richard (Université de Poitiers)

Correspondante Universitaire :

Camille Bouchez (Université Rennes 1)

Photos de couverture :

K. GRUAU en train de réaliser un suivi phénologique des populations d'*Hyperiucm elodes* © *Y. Sellier*

Coordination de l'étude :

Freddie-Jeanne Richard (Université de Poitiers)
Maître de conférences, HDR

Yann Sellier (GEREPI)
Chargé de missions scientifiques faune, flore, fonge et habitats naturels

Correspondante Universitaire :

Camille Bouchez (Université de Rennes)
Post-Doctorante au sein de l'équipe DIMENV spécialisée dans l'étude de la zone critique

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidé au cours de ce stage et qui ont participé à la réussite de celui-ci.

Tout d'abord, je remercie Yann Sellier et Freddie-Jeanne Richard d'avoir rendu possible ce stage au sein de l'équipe de GEREPI. Malgré les circonstances, vous m'avez toujours accompagné au cours de ce stage et aidé dans la réalisation de celui-ci. J'ai beaucoup appris à vos côtés, vos connaissances m'ont permis d'évoluer dans mon travail et me permettra d'avancer avec plus de confiance pour la suite.

Je remercie aussi toute l'équipe, notamment Kevin Lelarge pour son enthousiasme et pour avoir participer à la réussite du stage de par ses nombreux conseils, Lucille pour avoir permis de faire vivre ce bureau lorsque tout le monde était confiné et d'avoir été un soutien lorsqu'on était en galère mutuelle, Yann Sellier pour son humour bien trempé, sa bonne humeur et ses connaissances qui m'ont donné envie d'en apprendre toujours plus, Nathalie Boutault pour sa bonne humeur et Christophe Pinaud pour son enthousiasme et sa bonne humeur.

Je remercie aussi David Genoud pour sa disponibilité, son aide et son implication dans ce projet.

Je remercie aussi toute l'équipe du CPIE pour ces midis passés ensemble et la bonne ambiance qu'ils ont pu apporter au Moulin.

Je remercie ma correspondante universitaire Camille Bouchez qui n'a pas hésité à me soutenir pour ce projet.

Je remercie Gabrielle Thiebaut pour sa disponibilité et sa réactivité lors des échanges par mail.

Je tiens à remercier Melissa d'avoir été à mes côtés tout au long du stage et de m'avoir aidé sur les statistiques.

Je remercie Irène qui est devenue un crack sur R et qui m'a permis de débloquer sur les statistiques. Je remercie aussi tous les copains de Cirrhos'Guirec pour leur soutien moral et leur humour débordant.

Sommaire

Remerciements 3
Avant-propos 5
Présentation de la Structure d'accueil 6
Introduction 7
État de l'art 10
Matériel et méthode 13
1. Système d'étude (site, milieux et espèces) 13
a. Site d'étude 13
b. Milieux d'étude 13
c. *Hypericum elodes* 14
2. Présentation du dispositif d'étude 15
3. Mesure des traits de vie d'*Hypericum elodes* 16
a. Mesure de la morphologie de la plante 16
b. Suivi phénologique 16
4. Protocoles de contrôle des pollinisateurs et étude de leurs interactions avec *Hypericum elodes* 17
a. Suivi des interactions entre les pollinisateurs et *Hypericum elodes* 17
b. Mesure de l'influence de la pollinisation entomophile sur la reproduction d'*Hypericum elodes* 17
5. Effet de la gestion sur les communautés de pollinisateurs (Abeilles et Syrphes) de la réserve du Pinail 18
a. Méthodes de capture 19
b. Identification des pollinisateurs 20
6. Traitements statistiques 20
Résultat 21
1. Morphologie de la plante 21
2. Suivi phénologique 21
3. Suivi des interactions entre les insectes visiteurs et *Hypericum elodes* 22
4. Mesure de l'influence de la pollinisation entomophile sur la production de fruits (capsules), de fleurs et de graines 23
5. Effet de la gestion sur les communautés de pollinisateurs (Apoidea et Syrphidae) 27
Discussion 29
Conclusion 33
Bibliographies 34
Annexes 40

Avant-propos

Pour des raisons liées à la crise sanitaire et la mise en place d'un confinement, le sujet de stage a changé. Initialement, ce stage devait être porté sur l'étude de cas de deux plantes patrimoniales : *Ranunculus tripartitus* et *Spiranthes aestivalis*. La période de floraison de *Ranunculus tripartitus* s'est déroulé pendant le confinement et jusqu'à mi-mai la décision de changer de sujet d'étude n'était pas encore prise. Un rapport bibliographique a été envisagé, ce qui explique le nombre important de références dans ce rapport, mais à partir de fin mai, nous avons décidé de changer le sujet d'étude. La décision s'est porté sur Hypericum elodes et l'étude sur la *Spiranthes aestivalis* a aussi été abandonnée par manque de temps. Le protocole qui avait été réfléchi pour les *Ranunculus tripartitus* a été changé, car les problématiques n'étaient pas les mêmes avec Hypericum elodes. Le terrain a donc commencé début juin jusqu'à début août au lieu d'être de mars à juin. Cela a eu un impact sur le temps de rédaction et de traitement des résultats de terrain pour cette étude.

Présentation de la Structure d'accueil

Deux structures ont permis la réalisation de ce stage. La première est l'Université de Poitiers, en particulier l'équipe Ecologie, Évolution et Symbiose représentée par Freddie-Jeanne Richard au sein du laboratoire Ecologie et Biologie des Interactions (UMR CNRS 7267). La seconde est GEREPI. C'est une association, créée en 1987, dont le but est de gérer la Réserve naturelle du Pinail. Elle est sous la présidence de Roland Raimond depuis 2017 et membre du réseau RNF regroupant les gestionnaires de réserves naturelles de France. Ce réseau est intégré à l'Office Français de la Biodiversité qui accompagne ces acteurs dans des actions de reconquête de la biodiversité en France. Réserves Naturelles de France (RNF) assure l'exemplarité de gestion des réserves naturelles, développe les dynamiques et collaborations entre gestionnaire membre du réseau et participe à la politique de protection des espaces et des espèces.

Les réserves naturelles créées par l'État et les Régions peuvent être gérées par des associations comme GEREPI. Elles ont pour objectif principal de « Protéger, Gérer et Faire connaître » ce patrimoine naturel. GEREPI gère la seule réserve naturelle présente dans le département de la Vienne : RNN du Pinail. L'association applique une gestion intégrée du site en favorisant de nombreuses collaborations locales tel que l'Office National des Forêts (ONF), les collectivités départementales, les associations de protection et d'éducation à la nature (Vienne Nature, LPO, CPIE Seuil du Poitou), les scientifiques (Université de Poitiers, conseil scientifique de la réserve du Pinail et l'ONCFS). De nombreux partenaires financiers et techniques participent au bon fonctionnement de la réserve, dont le ministère de l'écologie représenté localement par la DREAL Nouvelle-Aquitaine, l'UE dans le cadre des contrats Natura2000, l'agence de l'eau Loire-Bretagne, au travers d'un contrat territorial est animé par le Syndicat Mixte Vienne aval et ses Affluents (SMVA), le conseil Régional de Nouvelle-Aquitaine et Départemental de la Vienne, la communauté d'agglomération de Grand Châtellerault et la commune de Vouneuil-sur-Vienne.

L'équipe de la réserve est composée de 3 permanents, une secrétaire comptable (temps partiel) et régulièrement elle est complétée par des apprenants (service civique, stagiaire). Kévin Lelarge est le conservateur de la réserve en charge d'élaborer le plan de gestion et de coordonner sa mise en œuvre, Yann Sellier est le chargé de missions scientifiques en charge du volet des suivis, d'inventaires scientifiques et de l'étude du patrimoine naturel, et enfin Christophe Pinaud est l'agent d'entretien de la réserve qui réalise les travaux de gestion des habitats et des infrastructures.

La réserve du Pinail est située sur la commune de Vouneuil-sur-Vienne, à 15 km au sud de Châtellerault et à 30 km au nord-est de Poitiers. Elle accueille des milieux particuliers de landes à Bruyère, appelé localement « Brandes », criblées de 6000 fosses, aujourd'hui devenues des mares. Ce paysage a été façonné par l'homme depuis plus de 1000 ans avec la surexploitation de la forêt pour le bois de chauffage et le pâturage, et l'extraction de la pierre meulière essentielle au fonctionnement des moulins. Actuellement, sa superficie de 142 hectares permet à GEREPI de développer différents types d'activités pour protéger et mettre en valeur la réserve naturelle. Travaux de gestion, suivis naturalistes, visites pédagogiques, études scientifiques et formations sont au cœur du projet mené par l'association pour préserver, valoriser et ainsi pouvoir transmettre ce patrimoine aux générations futures.

Introduction

La reproduction sexuée chez les plantes à fleurs (Angiospermes) est réalisée par la rencontre des organes mâles (étamines) avec les organes femelles (pistils). La fécondation peut s'effectuer soit entre fleurs du même individu (autopollinisation passive) (Gerber, 1985 ; Hodges, 1995) ou entre fleurs de différents individus (fécondation croisée) (Klein et al., 2007). Cette fécondation croisée nécessite le transport du pollen d'une fleur mâle vers le pistil d'une autre fleur. Ce transport peut s'effectuer par le vent ou l'eau qui sont les principaux vecteurs de pollen chez 10 % des plantes à fleurs (Buchmann & Nabhan, 2012) ou peut être assuré par des animaux qui pollinisent exclusivement ou de manière dominante 87,5 % des communautés végétales (Ollerton et al., 2011). Ainsi, certains vertébrés ont montré leur importance dans la pollinisation de certaines communautés végétales. En effet, les communautés de plantes des îles océaniques, des déserts et des milieux tropicaux dépendent principalement de la pollinisation par les chauves-souris (Fleming, 1993 ; Sekercioglu, 2006) ou les colibris (Anderson & Johnson, 2008; Feinsinger, 1987). Néanmoins, la majorité des plantes à fleurs sont pollinisées par les insectes (Kearns et al., 1998).

La relation qui lie les pollinisateurs et les plantes à fleurs a conduit à la coévolution (mutualisme) entre ces espèces conduisant à une influence réciproque l'une envers l'autre (Flacher, 2016). Cette coévolution a entraîné une diversification des interactions interspécifiques qui permettent aux plantes et aux pollinisateurs des bénéfices mutuels notamment en termes de survie (Mulcahy & David, 1979). En effet, l'évolution des traits floraux est influencée par les préférences des pollinisateurs, et l'évolution des signaux floraux comme la couleur peut être principalement dictée par la sélection du pollen par les pollinisateurs (Stanton et al., 1986). Pour aller plus loin, une étude a mis en évidence que les pollinisateurs discriminent deux couleurs de pétales présents chez *Raphanus raphanistrum* (Brassicaceae), bien que la production de graines et de fruits (fonctions femelles) ne soit pas significativement différente, les pieds de fleurs jaunes ont eu plus de succès pour donner du pollen (fonction mâle) que les fleurs blanches, car les fleurs jaunes sont davantage visitées (Stanton et al., 1986). De la même façon, chez certaines orchidées du genre *Ophrys*, des traits morphologiques et physiologiques particuliers permettent à la fleur d'être pollinisée (F. P. Schiestl et al., 1999). En effet, elle dispose de pétales modifiés (« leurre sexuel ») et d'un parfum floral qui imite les phéromones sexuelles émises par certaines femelles d'abeilles solitaires (F. P. Schiestl et al., 1999). Ces caractéristiques permettent d'attirer exclusivement les mâles de certaines espèces d'abeilles qui par pseudocopulation pollinisent la plante (Florian P. Schiestl, 2005). D'autre part, l'évolution des traits des pollinisateurs est influencée par les préférences des espèces végétales. Afin d'augmenter leur probabilité de visite, certaines plantes produisent des ressources attractives et importantes pour l'alimentation de leurs pollinisateurs (Dafni, 1992; Simpson & Neff, 1983). De même, la qualité protéique du pollen, qui varie selon les essences végétales joue un rôle déterminant sur le type de pollinisateurs (Baker & Baker, 1990; Kingsolver & Daniel, 1983).

Ces interactions plantes-pollinisateurs peuvent être perturbées par de nombreux facteurs, notamment par le réchauffement climatique qui provoque des décalages phénologiques et distributionnels modifiant la disponibilité des partenaires mutualistes (Hegland et al., 2009).

Par exemple, une étude a constaté que parmi toutes les espèces de pollinisateurs, entre 17 et 50 % sont perturbées dans leur approvisionnement alimentaire en raison de leurs modifications phénologiques (Memmott et al., 2007). Les effets du changement climatique pourraient être d'autant plus grave chez les pollinisateurs que chez les plantes, car la dépendance des plantes à fleurs à la pollinisation spécifique est plus faible que la dépendance des pollinisateurs à la nutrition (Bascompte et al., 2006; Hegland et al., 2009). Néanmoins, une étude suggère que les espèces végétales à fécondation croisées, dépendantes de pollinisateurs en déclin, ont des populations qui ont diminué par rapport à d'autres espèces végétales (Biesmeijer et al., 2006). Les effets négatifs du réchauffement climatique sur les insectes pollinisateurs sont accentués par d'autres facteurs tels que la perte d'habitats naturels, les pollutions (notamment due à l'utilisation des pesticides), les invasions biologiques et les parasites qui provoquent une diminution globale des espèces (Bridle & Rensburg, 2014; Goulson et al., 2015; Potts et al., 2010; Soroye et al., 2020). Dans le cas de l'utilisation extrême de pesticides, cela entraîne le déclin des abeilles domestiques et sauvages dû à des modifications comportementales (Thompson, 2003) et physiologiques (Gill et al., 2012; Whitehorn et al., 2012).

En Europe, les populations d'abeilles déclinent depuis l'industrialisation (Corbet et al., 1991; Day, 1991) et cette tendance semble s'accélérer. Une étude menée sur le déclin des insectes volants en Allemagne a montré qu'en 27 ans, plus de 75 % de ces insectes ont diminué dans les zones agricoles et les zones protégées (Hallmann et al., 2017). La conservation des agroécosystèmes et des écosystèmes naturels est donc essentielle pour lutter contre l'extinction des pollinisateurs, qui apparaissent comme des clés de voûtes de ces écosystèmes (Kevan, 1990), et de leurs plantes associées (Kearns et al., 1998).

En France, il existe près de 1000 espèces d'abeilles (Rasmont et al., 1995), soit presque la moitié du nombre d'espèces d'abeilles présentes en Europe (Patiny et al., 2009). De plus, près de 5000 espèces de plantes indigènes (UICN France et al., 2018a) sont recensées sur le territoire.

Dans le cadre de l'évaluation des menaces des espèces de plantes indigènes, les analyses ont montré que 421 espèces sont menacées et 321 espèces quasi menacées, soit un total de 15 % (UICN France et al., 2018a). En revanche, aucune liste rouge des abeilles sauvages n'est actuellement disponible en France, et sur la liste rouge IUCN des abeilles sauvages d'Europe plus de la moitié des espèces sont inscrites comme *Data Deficient* (DD) (Nieto et al., 2014). Ce manque de données se traduisait jusqu'ici par l'absence de la prise en compte des abeilles sauvages dans les politiques de gestion et de protection des espaces naturels dans de nombreux pays européens et notamment en France.

Néanmoins, une dynamique nationale sur les pollinisateurs se met en place depuis quelques années, par exemple, un PNA « France terre de pollinisateurs » (2016-2020) a été élaboré dans le but de définir des actions nécessaires à la conservation des insectes pollinisateurs à travers la restauration des habitats (Gadoum & Roux-Fouillet, 2016). De plus, de nombreux programmes sont développés en France pour répondre aux enjeux du déclin des invertébrés, dont les pollinisateurs font partie. Par exemple, un projet franco-belge nommé SAPOLL a été élaboré, une base de données nationale des traits de vie des abeilles sauvages et une liste rouge des abeilles sauvages sont en cours d'élaboration et enfin la stratégie « pollinisateurs » en Nouvelle Aquitaine et une liste rouge des syrphes en Franche-Comté ont été créés. De même, au niveau

des espaces naturels protégés, des inventaires d'abeilles ont été réalisés (exemple : Parc national du Mercantour) et un programme « Hyménoptères pollinisateurs » de RNF a été lancé par 3 réserves de Bourgogne Franche-Comté pour répondre aux enjeux de conservation des pollinisateurs.

Dans cette même dynamique, un atelier pollinisateur est en cours d'élaboration pour permettre d'intégrer les pollinisateurs et leurs interactions avec les plantes dans la gestion des réserves naturelles (*Outils d'animation RNF*). Ainsi, dans le cadre de mon stage, une étude de cas sur l'interaction entre *Hypericum elodes* (Millepertuis des marais) et les pollinisateurs a été réalisé sur la réserve naturelle du Pinail en partenariat avec l'Université de Poitiers et Gerepi (gestionnaire de la réserve).

La réserve naturelle du Pinail abrite plusieurs centaines de stations d'*Hypericum elodes* situées en bordure de mares. Cette espèce est considérée comme patrimoniale, c'est pourquoi la réserve du Pinail a une responsabilité dans la conservation de ces stations (Sellier et al., 2019). Ainsi, l'étude des interactions entre les pollinisateurs présents sur la réserve et les plantes, en particulier l'Hypericum elodes, peut contribuer à l'évaluation de l'état de conservation de cette espèce de plante et d'évaluer les impacts de la gestion sur les communautés de pollinisateurs. Les objectifs de ce stage permettront d'avancer les connaissances sur les points suivants :

(1) Afin de mieux comprendre la biologie de reproduction d*'Hypericum elodes*, un dispositif expérimental, des sessions d'observations, des mesures morphologiques et des suivis phénologique ont été mis en place pour mesurer l'impact de la pollinisation entomophile et de comprendre quels types de pollinisateurs sont présents sur cette plante. La présence de pollinisateurs améliore la capacité de reproduction chez de nombreuses plantes donc la fitness reproductive d*'Hypericum elodes* devrait être plus importante avec la pollinisation croisée (cf. II. État de l'art).

(2) Dans un second temps, une comparaison de la diversité spécifique des polinisateurs ainsi que leur richesse sur plusieurs zones de la réserve a été effectué afin de voir si les différents modes de gestion pourraient impacter la reproduction d'*Hypericum elodes* via la présence des pollinisateurs. La diversité et la richesse faunistique sur la réserve est plus importante dans les parcelles gérées par brûlis (Lelarge et al., 2017), les modes de gestions devraient avoir un impact sur les communautés de pollinisateurs.

De plus, cette étude présente un état de l'art correspondant à une synthèse bibliographique des différents protocoles utilisés pour mettre en évidence l'impact des pollinisateurs sur le succès reproducteur des espèces végétales (cf. II. État de l'art).

État de l'art

Les études sur les interactions des plantes avec les pollinisateurs ont fait l'objet de nombreuses recherches sur les plantes à valeur agronomiques avec des objectifs de rendement par exemple, l'efficacité des pollinisateurs sur différentes variétés de pommiers (Free, 1966) ou l'étude de la pollinisation entomophile sur la production de semences de cultures d'Ombellifères et de Crucifères (Sihag, 1986). Ensuite, de nombreuses études se sont intéressées aux plantes de milieux naturels dans un but de conservation des espèces sauvages. Une synthèse de ces études (Tableau 1) a été effectuée pour présenter les différents protocoles mis en place, le matériel utilisé et les différentes variables réponses qui permettent de répondre aux hypothèses sur l'impact des pollinisateurs sur la reproduction des plantes. Il a été présenté dans ce tableau, seulement des genres de plantes présents sur la réserve du Pinail et dont certaines espèces figurent aussi sur la réserve.

La présence des pollinisateurs dans un milieu peut être déterminante sur la capacité des plantes à se reproduire (Tableau 1) et réciproquement la présence de certaines plantes peut jouer un rôle important dans la survie d'espèces de pollinisateurs (Banaszak et al., 2018; Mulcahy & David, 1979). Différentes méthodes d'échantillonnages sont utilisées pour étudier la richesse et la diversité des pollinisateurs telles que les tentes malaises, les coupelles colorées et les captures au filet. Les coupelles colorées et le filet sont deux méthodes complémentaires (Roulston et al., 2007; Wilson et al., 2008) et plus efficaces dans la capture des Abeilles et des Syrphes que les tentes malaises (Campbell & Hanula, 2007). De plus, les espèces capturées sont différentes selon les méthodes, la capture dans les pièges colorés est inversement proportionnelle à la disponibilité de floraison (Cane et al., 2000) le filet permet de capturer des espèces plus grosses telles que les *Bombus.sp* qui peuvent facilement sortir des coupelles colorées (D. Genoud, communication personnelle, 30 juillet 2020).

Plusieurs facteurs sont à prendre en compte pour la mise en place des coupelles colorées : leur position, leur couleur et le temps de piégeage. Les espèces d'abeilles ont tendance à se nourrir dans une strate horizontale (Waddington, 1979 ; Ramírez, 1993), ainsi la mise en place des coupelles à hauteur de végétation environnante permet d'augmenter le taux de capture des abeilles (Cane et al., 2000; Tuell & Isaacs, 2009). De plus, la perception des couleurs est différente selon les espèces, en effet les couleurs qui attirent le plus les Abeilles sont le jaune, le bleu et le blanc (Hoback et al., 1999; Leong & Thorp, 1999; Nuttman et al., 2011; Toler et al., 2005; Vrdoljak & Samways, 2012; Wilson et al., 2008) et chez les Syrphes, le bleu (Campbell & Hanula, 2007). L'utilisation de trois coupelles avec des couleurs différentes permet donc le piégeage d'une plus grande diversité et richesse d'insectes pollinisateurs. Enfin, les coupelles sont remplies d'eau avec quelques gouttes d'un agent de tension de surface (liquide vaisselle non-parfumé) et généralement déposées pendant 6-48 heures selon la richesse spécifique en pollinisateur du milieu (Campbell & Hanula, 2007; Leong & Thorp, 1999; Toler et al., 2005) lors de journées avec une météo favorable (température supérieure à 15 °C, pas de précipitation, vent faible et faible couverture nuageuse) (Le Féon, 2011).

Tableau 1. Résumé des méthodes d'analyses des interactions entre les pollinisateurs et les plantes et leurs effets sur la fitness reproductive des plantes. L'ensemble des genres de plante figurant dans ce tableau sont présents sur la réserve du Pinail et certaines espèces de plantes présentes sur la réserve sont suivis d'un *.

Espèce plante (Famille)	Pollinisateur associé à la plante	Localisation de l'étude	Habitat	Hypothèse(s)	Protocole simplifié (≠ conditions mises en place)	Matériel utilisé	Variable réponse	Réponse aux hypothèses	Référence
Eupatorium resinosum (Asteraceae)	*Apoidea Diptera Vespoidea Heterocera*	États-Unis (New Jersey)	Zone humide ouverte	Production de fruit limitée par la disponibilité du pollen	Comparaison des fleurs pollinisées à la main et ensachées (N=25) *VS* fleurs pollinisées naturellement par les insectes (N=25)	Sac d'exclusion des pollinisateurs Cure-dent avec thorax d'abeille (pollinisation à la main)	Fructification (Nb. fruits/fleur)	La fructification est limitée par l'apport de pollen par les pollinisateurs	Byers, 1995
Gentiana pneumonanthe (Gentianaceae)*	Apoidea (*Bombus pascuorum*)	Pays-Bas	Prairie	Influence des pollinisateurs sur la production de fruit et graines	Comparaison des fleurs auto-pollinisées à la main (N=31) *VS* fleurs pollinisées naturellement par les insectes (N=31) *VS* fleurs pollinisées par croisement à la main (N=31)	Cage métallique avec de la gaze à fin maillage	Fructification Nombre de graines/fruit	Pas de différence sur la fructification et le nombre de graine/fruit, Pas de limitation de pollen	Petanidou *et al.*, 1995
Glechoma longituba (Lamiaceae)	*Apoidea (Anthophora plumipes, Xylocopa sinensis)*	Chine	Prairie	Étude de la fitness selon deux espèces de pollinisateurs	Observation des pollinisateurs (60 heures) et ensachement de plantes lors de la pollinisation de l'une des deux espèces de pollinisateurs	Tulle pour exclure les pollinisateurs	Nombre de graines/fleur	Réduction du nombre de graines/fleurs lors de la pollinisation par *X. sinensis* par rapport à *A. plumipes*	Zhang *et al.*, 2007
Helianthemum apenninum (Cistaceae)	*Apoidea (Andrena sp., Apis mellifera, Lasioglossum sp.)*	Espagne (Majorque)	Lapiaz	La pollinisation a un effet sur la fructification et la production de graines	Ensachement des plantes (N=20 pour *H.apenninum* et N=10 pour *H.*caput-felis)	Pas d'informations	Fructification (nombre de fruits/fleur) Nombre de graine/fruit	Fructification et le nombre de graine/fruit plus importante avec la présence de pollinisateurs	Tébar et al., 1997
Helianthemum caput-felis (Cistaceae)	*Apoidea (Anthophora sp., Apis mellifera, Syrphidae, Coleoptera)*	Espagne (Majorque)	Dune						
Hypericum elodes (Hypericaceae)*	*NA*	Italie (Pise)	Mare peu profonde	Évaluation de l'auto-compatibilité et de l'autogamie	Comparaison de fleurs ensachées fleurs autopollinisées naturellement (N=99) *VS* fleurs pollinisées par croisement à la main (N= 88) *VS* fleurs pollinisées naturellement (N=103)	Sac en nylon avec un maillage de 0,5 mm	% Fructification Nb de graines Poids graines	% fructification plus important sur les fleurs pollinisées par croisement que autopollinisée Pas de différence entre les traitements sur la masse et le nombre de graines	Carta *et al.*, 2016
Ranunculus acris (Ranunculaceae)*	*NA*	Norvège	Montagne (niveau Alpin)	L'Héliotropisme améliore la durée de visite des pollinisateurs et la production de graines	Étude de la relation entre le temps de visite des pollinisateurs et l'angle de déviation (N=53) Comparaison du poids des graines de fleurs avec le mouvement héliotrope *VS* poids des graines sans le mouvement héliotrope	/	Durée de visites des pollinisateurs Poids des graines	Pas d'effet de la durée de visite ni du poids des graines par rapport au mouvement héliotrope (angle de déviation)	Totland, 1996

*Pedicularis sylvatica** *(Scrophulariaceae)*	*Apoidea (Bombus sp.)*	Pays-Bas	Lande humide	Influence des pollinisateurs sur la production de fruit et graines	Comparaison des plantes sous cage (exclusion pollinisateur) *VS* plantes ensachées (exclusion pollinisateur) *VS* plantes pollinisées naturellement	Cage et sac d'exclusion des pollinisateurs	Fructification Nombre de graines/fruit	Fructification et le nombre de graines/fruit plus importants avec la présence de pollinisateurs chez *P. sylvatica* et *P. palustris*	Kwak, 1979
Pedicularis palustris *(Scrophulariaceae)*	*Apoidea (Bombus sp.)*	Pays-Bas	Prairie humide						
Salix miyabeana *(Salicaceae)*	*NA*	Japon	Ripisylve	Évaluer la contribution relative des insectes et du vent sur la pollinisation de Salix	Ensachement de 19 clones avec un filet d'exclusion des insectes, mais pas du vent *VS* pollinisation à la main *VS* pollinisation naturelle	Filet	Nombre de graine/fleurs Poids des fruits	Pas d'effet de la pollinisation entomophile chez *S. miyabeana* qui dépend plus de la pollinisation par le vent contrairement à *S. sachalinensis*	Tamura and Kudo, 2000
Salix sachalinensis *(Salicaceae)*	*NA*	Japon	Ripisylve						
Silene alba *(Caryophyllaceae)*	*Apoidea* *Vespoidea* *Heterocera (Sphingidae, Noctuidae)*	États-Unis (Colorado)	Haute montagne (2367 m)	Évaluer le type de pollinisation (nocturne ou/et diurne) et l'efficacité des pollinisateurs diurnes face aux nocturnes	Ensachement des branches de nuit (N=22) (effet pollinisateurs diurnes) *VS* Ensachement des branches de jour (N=43) (effet pollinisateurs nocturnes) *VS* Ensachement jour et nuit (N=10) (effet ensemble pollinisateurs) *VS* Témoin naturel (N=28)	Tulle pour exclure les pollinisateurs	Nombre de graine Poids des graines Nombre graine/fruit	Pollinisation par les insectes diurnes et nocturnes Les papillons nocturnes sont plus efficaces pour la pollinisation que les insectes diurnes (+)	Young, 2002
Silene stockenii *(Caryophyllaceae)*	*Bombylidae*	Espagne	Sable calcaire	La production de graines et de fruit est limitée par la quantité de pollen	Comparaison des fleurs pollinisées à la main (N=15) *VS* polinisées naturellement par les insectes (N=78) Observation des activités des insectes pollinisateurs (90heures)	Fleurs pollinisées à la main mises sous-serre	Nombre de fruits Nombre de graines/fruit	Le nombre de fruits et le nombre de graines/fruit augmentent avec la pollinisation à la main par rapport à la pollinisation naturelle (Limitation du Pollen)	Talavera, Arista and Salgueiro, 1996
Spiranthes spiralis *(Orchidaceae)*	*Apoidea (Bombus sp.)*	Pays-Bas	Dune côtière	Effet des bourdons sur la production de graine	15 plantes mises en cage (exclusion des pollinisateurs) dont certaines sont pollinisées à la main (N=10) *VS* plantes autopollinisées (N=5)	Cage d'exclusion	Nombre de graines/fruit Nombre de fleurs/inflorescence	Nombre de graines/fruit plus important lors de la pollinisation par des *Bombus sp*. que par autogamie	Willems and Lahtinen, 1997

Matériel et méthode

1. Système d'étude (site, milieux et espèces)

a. Site d'étude

L'étude est réalisée sur la réserve du Pinail (46° 42'08.5" N 0° 31'18.7" E) située sur la commune de Vouneuil-sur-Vienne (région Nouvelle-Aquitaine, département de la Vienne 86), à 30 km au nord-est de Poitiers dans l'Ouest de la France (Figure 1). La réserve conserve des milieux de landes à bruyères (*Erica sp.)* criblées de 6000 fosses, aujourd'hui devenues des mares. Le Pinail est classé en zone NATURA 2000 et en Zone Naturelle d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF de type I et II), et c'est aussi une Zone d'importance pour la Conservation des Oiseaux (ZICO) (LPO Vienne & DUBOIS, 2015). Ce site Natura 2000 (FR5400453) d'une superficie de 925 hectares intègre la réserve naturelle nationale du Pinail de 142 ha (Dupont & Sellier, 2017).

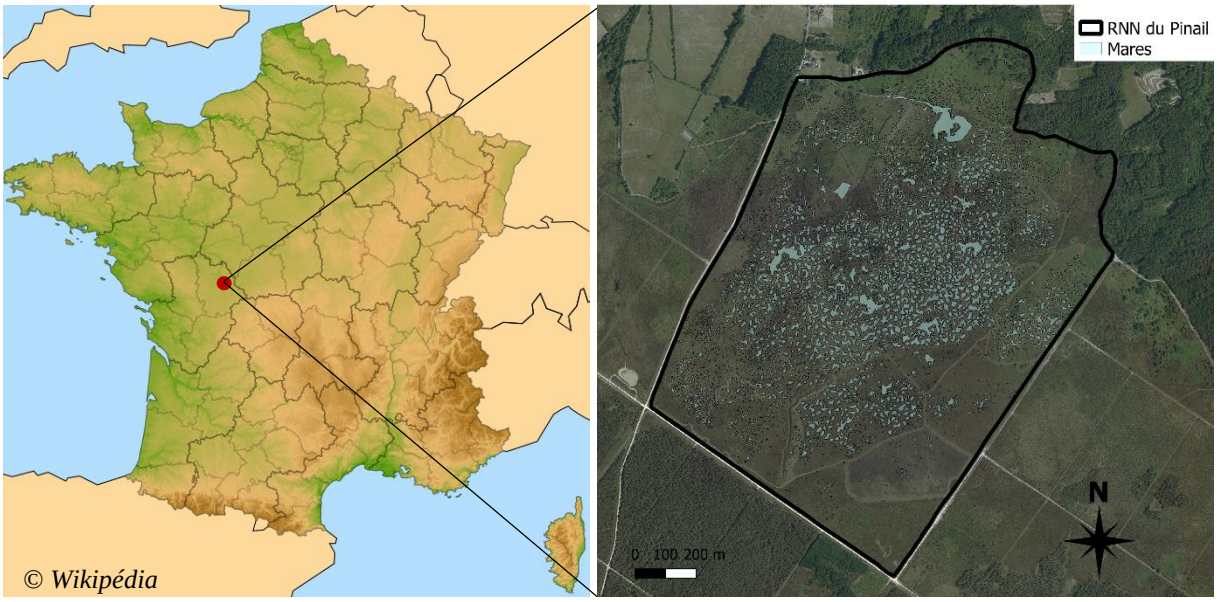


Figure 1. Localisation de la Réserve Naturelle Nationale du Pinail

Le climat sur la réserve est de type océanique doux, les températures moyennes sont de 11,75 °C et les précipitations annuelles de 685,6 mm (enregistrées à la station météorologique de Poitiers) (Lelarge et al., 2017). Le suivi des conditions climatiques et leurs impacts sur les communautés de faune et de flore sont des enjeux importants pour la Réserve du Pinail (Beguier et al., 2016).

b. Milieux d'étude

Le Pinail est caractérisé par la présence de nombreuses mares entourées principalement de landes (association de *Erica sp*. et *Ulex sp*.). Pour conserver ces milieux naturels, l'intervention de l'Homme est nécessaire sur le Pinail. Ainsi, quatre modes de gestion, issus des pratiques traditionnelles, sont réalisés : brûlis dirigé, pâturage extensif, fauche et la non-intervention. La réserve se divise en 15 secteurs pour une superficie totale de 142 ha dont près de 100 ha sont gérés par brûlis dirigé à raison de 8 à 10 ha/an ou 20 ha brûlés tous les 2 ans. La zone de cette étude se trouve dans un des secteurs brûlés en 2017 (secteur G). Elle est principalement dominée par des landes Atlantique à *Erica* (*E. cinerea* et *E. scoparia*) et *Ulex minor* (Code

habitat *6CORINE biotopes :* 32.23) et une Prairies à Molinie et communautés associées (Code habitat *CORINE biotopes :* 37.31) (cf. Annexe 1. Cartographie Habitat du secteur G).

De plus, il existe près de 6000 mares sur la réserve dont 203 (mares « sentinelles ») sont particulièrement étudiées (suivi physico-chimique, faunistique, floristique, fongique) dans le cadre de l'Observatoire eau-biodiversité-climat (Sellier et al., 2018, 2019). Les mares « sentinelles » situées dans le secteur G (gestion par brûlis dirigé) et accueillant des populations d'*Hypericum elodes* sont l'objet d'étude dans le cadre de ce stage.

c. *Hypericum elodes*

Hypericum elodes L., 1759 (Millepertuis des marais) est une espèce de plante de la famille des Hypericaceae. Le genre *Hypericum* est représenté par 448 espèces à l'échelle mondiale (N. K. Robson, 2012) et près de 100 espèces sont présentes en France dont *Hypericum elodes* (INPN ; Tela Botanica). C'est une hémicryptophyte stolonifère mesurant entre 10-30cm de hauteurs, à tiges rampantes et radicantes à la base. La plante est velue-tomenteuse à feuilles opposées et porte 5 à 7 fleurs jaunes en cyme courte. Les pétales mesurent 9 mm de long et portent à leur base un appendice ligulé source de nectar (Robson, 1981 ; Carta, Savio, *et al.*, 2016). Les sépales restent rigides et dressés pendant la floraison, de sorte que les pétales ne peuvent s'étendre que distalement en formant une corolle pseudo-tubulaire (7-15 mm de diamètre) (Carta, Savio, et al., 2016). Les étamines, au nombre de 15, sont plus courtes que les pétales et parallèles à l'ovaire (Tela Botanica). Ces caractéristiques morphologiques lui permettent d'être à la fois auto-pollinisé (proximité des anthères et des stigmates) et d'être pollinisé par croisement (production de nectar pour les insectes) (Robson, 1981 ; Carta, Savio, *et al.*, 2016). L'ouverture des fleurs s'effectue de manière synchrone vers 11 heures et vers 17 heures la corolle se fane définitivement (Carta, Savio, et al., 2016). La floraison commence en juin, se poursuit tout au long de l'été et les graines mûres sont disséminée en septembre-octobre par hydrochorie (Bajon, 2000 ; Carta, Savio, *et al.*, 2016). Ces trois éléments (heure d'ouverture des fleurs, période de floraison et période de dissémination des graines) seront rediscutés dans les résultats de l'étude.

Le Millepertuis des marais est une espèce atlantique, présente uniquement en Europe de l'Ouest (BGBM, 2018). En France, elle est assez fréquente, sur toute sorte de substrats acides dans le massif armoricain, en Aquitaine et dans le Centre ; ailleurs elle est plus rare et devient même exceptionnelle dans l'Est et la région méditerranéenne (Tela Botanica ; Bajon, 2000) (cf. Annexe 2. Carte de répartition française d'*Hypericum elodes*). L'espèce peut former de grandes populations en bordure des groupements aquatiques dans des mares de tourbière acide, sur les grèves des étangs ou sur du substrat sablo-argileux (Bajon, 2000).

Comme beaucoup d'espèces de milieux humides, sa principale menace est l'assèchement des bassins. Néanmoins, au niveau mondial, européen et français, cette espèce est classée en préoccupation mineure (LC) sur la liste rouge (INPN ; Bilz *et al.*, 2011 ; UICN France *et al.*, 2018b). En France, dans certaines régions, comme le Poitou-Charentes, cette plante est classée quasi-menacé (NT) (CBNSA, 2018).

2. Présentation du dispositif d'étude

Afin de mieux comprendre la relation entre *Hypericum elodes* et les pollinisateurs, des sessions d'observations se sont déroulées de la période de floraison à la période de dispersion des graines et un dispositif d'échantillonnage a été construit (Figure 2) Afin de tester l'influence des pollinisateurs sur la reproduction de la plante (Hypothèse 1). Les dispositifs restent en place de manière continue pendant toute la période d'activité des plantes. Les pollinisateurs sont étudiés en journée, les fleurs étant fermées la nuit (Carta, Savio, et al., 2016) la pollinisation nocturne est considérée comme inexistante. Afin de contrôler l'accès des pollinisateurs aux fleurs, des patches de fleurs sont délimités par des boites en plastiques, d'une taille de 33x39x17 cm (L x l x h) associés à deux flotteurs sur la longueur des boîtes afin de pallier aux éventuelles variations des niveaux d'eau des mares.

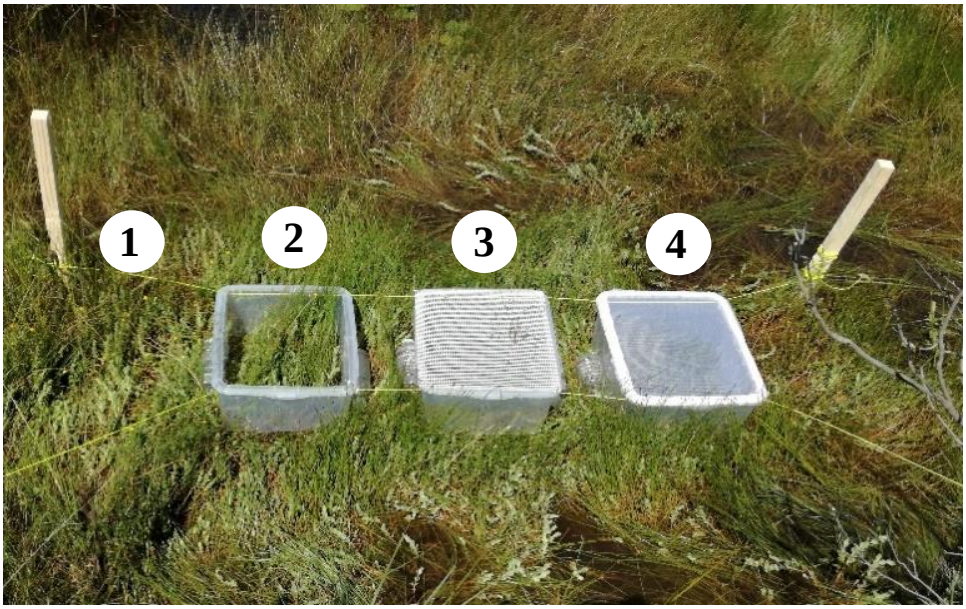


Figure 2. Dispositif d'échantillonnage de contrôle des pollinisateurs sur *Hypericum elodes*. Condition (1) : Témoin (Naturelle) ; Condition (2) : Ouverte ; Condition 3 : Grosse maille ; Condition 4 : Petite maille

Au total 15 boîtes et un lot de 5 témoins sans boîte (condition 1 : Naturelle) sont disposées sur les mares étudiées : cinq boîtes ouvertes permettant une pollinisation entomophile libre (condition 2 : boîte Ouverte), cinq boîtes recouvertes d'un couvercle présentant un maillage 5x5mm (condition 3 : Petite maille) et enfin cinq boîtes recouvertes par un couvercle en moustiquaire d'un maillage de 1x1mm empêchant tous les insectes pollinisateurs de passer au travers (condition 4 : Petite maille). Cinq mares « sentinelles » sont sélectionnées pour les observations et au sein desquels seront installées trois boites (une boîte Ouverte, une boîte avec Grosse maille et une boîte avec Petite maille) à une distance comprise entre 25-100 cm du bord. La disposition des conditions est différente sur chaque mare pour limiter les biais liés aux vents.

Une comparaison entre la température interne de chaque boîte et la température extérieure a montré que les matériaux utilisés n'entraînaient pas de modification de la température à l'intérieur des boîtes.

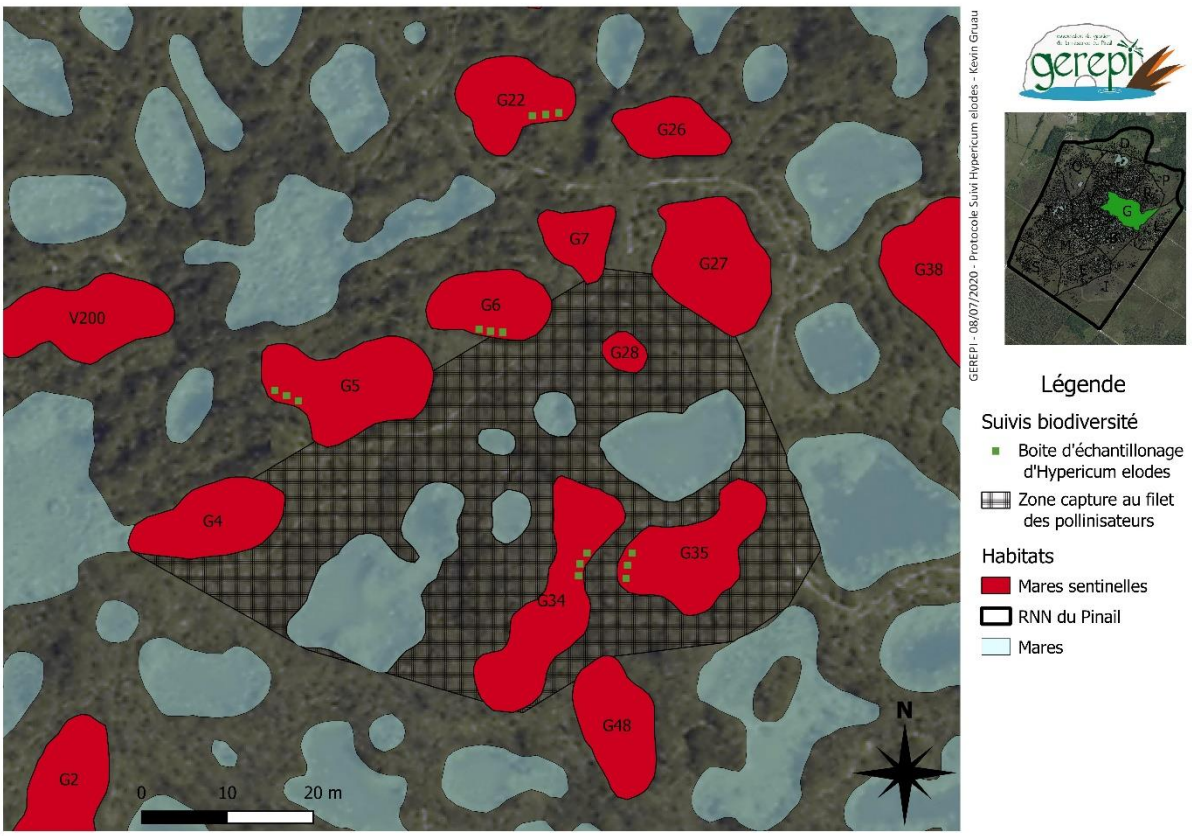


Figure 3. Cartographie des dispositifs d'échantillonnage des *Hypericum elodes* et des pollinisateurs du secteur géré par brûlis (secteur G)

3. Mesure des traits de vie d'*Hypericum elodes*

a. Mesure de la morphologie de la plante

Des mesures morphologiques des *Hypericum elodes* sont effectuées, à l'aide d'un pied à coulisse, sur 30 plantes choisis aléatoirement dans 6 mares sentinelles : G4, G6, G48, G35, G7 et G5, situées dans le secteur géré par brûlis de la réserve (Figure 3). Les caractéristiques morphologiques qui sont mesurées (en mm) sont : la hauteur de la plante, la longueur d'un pétale, la longueur du filament et la longueur du carpelle. De plus, la présence d'une protubérance à l'origine de la présence de nectaire (Carta, Savio, et al., 2016) est notée pour chaque fleur prélevée.

b. Suivi phénologique

L'heure d'ouverture, de fermeture et la durée d'ouverture des *Hypericum elodes* sont étudiées sur 10 jours pendant la période de juin à juillet sur une population de N=50 individus. Les conditions climatiques selon les jours d'observations sont également relevées (pluie, nuageux, ensoleillé, orageux). Une fleur est considérée comme ouverte à partir du moment où la visite d'un insecte à l'intérieur de la corolle est possible, à l'inverse une fleur est considérée comme fermée lorsqu'elle n'a plus la capacité d'accueillir un insecte visiteur.

De plus, la floraison de l'espèce, sur le site du Pinail, est observée du 8 juin au 18 juillet sur 1702 pieds d'*Hypericum elodes*. Une estimation du nombre de fleurs ouvertes par jour et une

estimation du pic de floraison sont réalisées, et la détermination du début et fin de floraison sur la réserve.

4. Protocoles de contrôle des pollinisateurs et étude de leurs interactions avec *Hypericum elodes*

a. Suivi des interactions entre les pollinisateurs et *Hypericum elodes*

Afin de caractériser la relation des *Hypericum elodes* avec les insectes visiteurs, deux protocoles d'observations sont réalisés sur la période de Juin-Juillet (Tableau 2). Pour la première session, la méthode du scan sampling qui consiste à relever ce que fait une entité à un instant donné est réalisé et un taux de visite a été calculé par la formule :

$$Taux\ visite = Nombre\ visites / Nombre\ d'observations\ total$$

Dans la seconde session, une méthode d'observation en continu est mise en place. L'activité des visiteurs est divisée en trois catégories : collecte du pollen (P ; frottement des pattes sur les anthères), collecte de nectar (N ; mouvement de tête dans la corolle ou trompe étendue vers la fleur) ou simple visite (V).

Tableau 2. Présentation des sessions d'observation (obs.) sur le suivi des interactions entre les plantes et les insectes visiteurs

Session	Nombre de jours d'obs.	Période de la journée	Nb d'individus suivi (N)	Protocole	Paramètres mesurés
1	5	11 h-17 h	4	180 relevés (toutes les 10 min pendant 6 heures x nb jours d'obs.)	- Couverture nuageuse - Vitesse du vent + T°C - Nb de fleurs ouvertes - Visites d'insectes
2	5	11 h-17 h	50	30 heures d'observations	- Nb de fleurs visitées - Temps de visite/fleur - Activité du visiteur

De plus, une observation de la faune autour des populations des *Hypericum elodes* est réalisée tout au long de l'expérience afin d'identifier de potentiels prédateurs de pollinisateurs.

b. Mesure de l'influence de la pollinisation entomophile sur la reproduction d'*Hypericum elodes*

Afin de mieux comprendre la fitness reproductive d'*Hypericum elodes* (Hypothèse 1), quatre conditions différentes sont mises en place pour contrôler la pollinisation effectuée par les insectes (Tableau 3). Tout d'abord, la première condition va servir de témoin (condition Naturelle). Ensuite, la deuxième condition (condition Ouverte) permet de contrôler l'impact des boîtes qui pourrait jouer un rôle sur la pollinisation (Hypothèse 1.a) de par le changement de l'accessibilité, la perception des couleurs (boîtes blanches) ou bien le matériel plastique. La contribution des différents types de pollinisateurs (Hypothèse 1.b) a été mesuré avec une boite recouverte par une maille de 5x5mm (condition Grosse maille) qui permet l'exclusion des pollinisateurs de tailles supérieures ou égales à *Apis mellifera* (Anamso & INRA, 2008).

L'auto-fécondation (Hypothèse 1.c) liée à la proximité des anthères et des stigmates (N. Robson, 1981) a été évaluée à l'aide d'une boîte fermée par un maillage de moustiquaire de 1x1mm (condition Petite maille) pour exclure toutes visites des pollinisateurs.

Tableau 3. Récapitulatif des traitements mis en place pour l'étude de la reproduction chez *Hypericum elodes* et sa relation avec les pollinisateurs

	Condition Naturelle	**Condition Ouverte**	**Condition Grosse maille**	**Condition Petite maille**
Hypothèses	/	1 (a)	1 (b)	1 (c)
Variables explicatives	Auto-fécondation, avec entomogamie, sans boîte	Auto-fécondation, avec entomogamie, avec boîte	Auto-fécondation, avec entomogamie, taille du maillage	Auto-fécondation, sans entomogamie
Protocoles	Témoin sans boîte	Boîte ouverte	Boîte avec un maillage de 5x5mm	Boîte avec un maillage de 1x1mm
Variables réponses	Pourcentage de fruits déhiscents, pourcentage de fruits avortés, pourcentage de fleurs ouvertes, Poids des capsules (fruits), Poids et Nombre de graines			

L'évaluation du succès reproducteur de la plante pour chaque condition est déterminée par six variables : le pourcentage de fruit déhiscent, le pourcentage de fruit avorté, le pourcentage de fleurs ouvertes, le poids des capsules (fruits), le poids et le nombre de graines (Tableau 3).

Le pourcentage de fruits déhiscents, le pourcentage de fruits avortés et le pourcentage de fleurs ouvertes sont observés sur une durée de quatre jours (10 au 18 juillet) sur 2347 pieds au total dans l'ensemble des conditions. Afin de limiter tout biais sur les conditions d'expérience, les mesures du pourcentage de fruits déhiscents, de fruits avortés et de fleurs ouvertes sont effectuées lorsque la dissémination des graines a commencé (10 juillet) jusqu'au prélèvement des capsules au sein des conditions (18 juillet).

Suite à ces observations, des capsules matures sont prélevées (N=202) afin de comptabiliser le nombre de graines/capsule et le poids des capsules dans chaque condition. Le poids des graines sera mesuré à l'aide d'une balance de précision et calculé sur la base d'un pool de cinq capsules répété 3 fois par conditions sur les différentes mares (N=60). Le nombre de graines sera estimé à l'aide d'une loupe binoculaire par comptage direct des capsules pesées.

5. Effet de la gestion sur les communautés de pollinisateurs (Abeilles et Syrphes) de la réserve du Pinail

L'inventaire des insectes pollinisateurs a été effectué avec deux méthodes d'échantillonnages en parallèle : les coupelles colorées et la chasse à vue avec capture au filet. Les échantillonnages d'insectes se sont déroulés pendant la période de floraison d'*Hypericum elodes*. Quatre sessions de capture ont été réalisées entre juin (10/06/2020) et juillet (23/07/2020) sur chaque mode de gestion appliquée sur la réserve (Figure 4). Les méthodes d'échantillonnages sont réalisées dans des conditions météorologiques favorables aux pollinisateurs (Abeilles et Syrphes) : température supérieure à 15 °C, pas de précipitation, vent faible et faible couverture nuageuse.

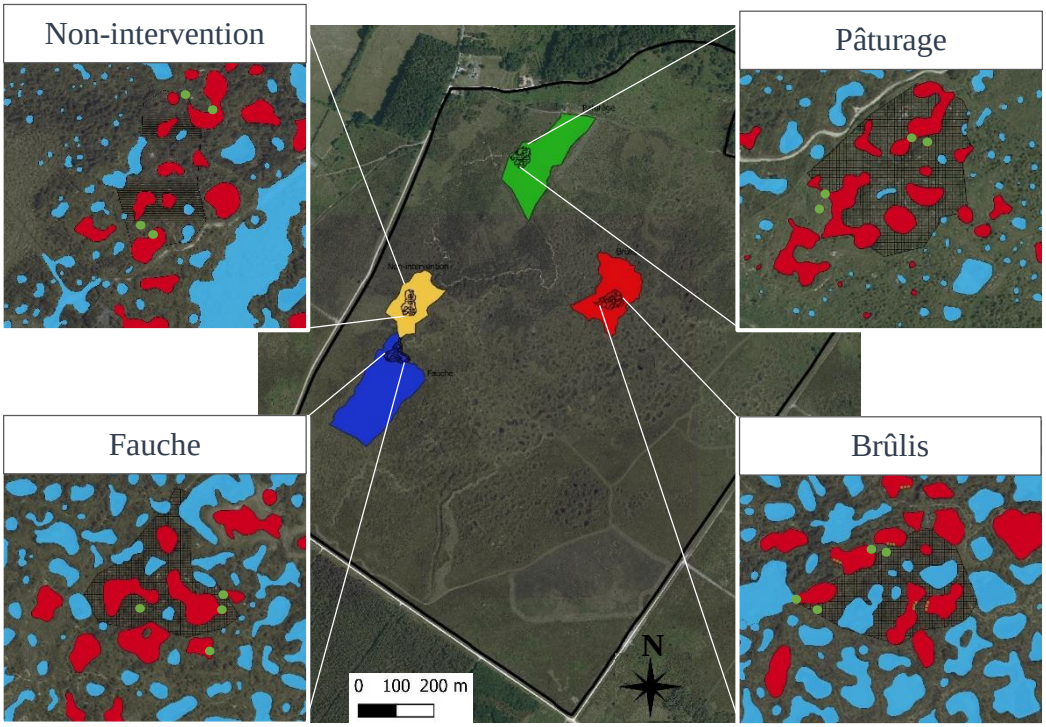


Figure 4. Cartographie des zones de capture des pollinisateurs sur la réserve du Pinail selon deux méthodes : coupelles colorées et filet. Les emplacements des coupelles colorées sur chaque gestion sont représentés par un point vert et les zones de captures au filet par un quadrillage noir. Les mares sont de couleurs bleu et les mares « sentinelles » de couleurs rouge.

a. Méthodes de capture

Capture par coupelles colorées

Une première méthode d'échantillonnage passif a été réalisée à l'aide de pièges colorés (cf. Annexe 3 : Photographie du dispositif) disposés sur la réserve une fois toutes les deux semaines de juin à fin juillet (quatre sessions de capture au total). Ces coupelles mesuraient 4,8 cm de haut avec des côtés inclinés, 17,5 cm de diamètre en haut et 9,5 cm de diamètre en bas. Elles sont colorées de jaune, de bleu royal ou de blanc correspondant aux couleurs les plus attractives pour les pollinisateurs (Hyménoptères et Syrphes). Chaque coupelle contient 300 ml d'eau et quelques gouttes de savon de Marseille non-parfumé.

Au total 16 lots (pièges) avec trois coupelles colorés (4 pièges par mode de gestion) ont été mis en place pendant 48 heures, à quatre reprises sur la réserve. La faible période de temps de capture permet de garder les insectes intacts dans le liquide des coupelles. Ces pièges sont placés de la même manière pour les quatre modes de gestion (fauche, pâturage, non-intervention et brûlis). Par exemple pour un mode de gestion donné, le dispositif est mis de la manière suivante :

- 2 pièges sur des mares à *Hypericum elodes*
- 2 pièges sur les landes

} 4 pièges (réplicas) de 12 coupelles colorées par mode de gestion

Les mares sélectionnées présentent les mêmes caractéristiques que les mares sentinelles et permettent d'effectuer un échantillonnage d'insectes pollinisateurs qui n'impacte pas les protocoles de contrôle des pollinisateurs mis en place sur le mode de gestion par brûlis (cf.

Matériel et méthode : Partie 4.b). Les pièges sur les mares ont été placés légèrement au-dessus des fleurs d'*Hypericum elodes* à l'aide d'un piquet en bois, tandis que les pièges sur les landes ont été placés à 30 cm au-dessus du sol correspondant à la hauteur de végétation avoisinante.

Capture au filet

L'échantillonnage actif au filet est effectué au même moment et sur la même zone de piégeage des coupelles (Figure 4). La surface prospectée (1450 m^2) pour chaque session est la même pour les différents modes de gestion. Les sessions de capture au filet des Apoidea et Syrphidae sont effectuées par un seul observateur et sont réalisées sur une durée de 40 minutes par jour répartie en session de 20 minutes le matin et 20 minutes l'après-midi. Le nombre d'individus de chaque espèce est noté. Les spécimens d'espèces identifiables sur le terrain comme *Apis mellifera* sont relâchés et les autres sont collectés dans un pilulier d'alcool à 70°.

b. Identification des pollinisateurs

Les insectes capturés par les pièges colorés et par le filet sont triés par famille. Les Apoidea et les Syrphidae sont identifiés jusqu'au genre ou à l'espèce. Afin de confirmer les identifications des Apoidea, les spécimens sont également envoyés au spécialiste David Genoud,[1] car l'identification de certains spécimens est difficile du fait du nombre important d'espèces et de l'absence de clé de détermination des espèces françaises pour l'ensemble des Abeilles de France. L'identification a nécessité des clés d'autres pays européens, notamment pour les genres *Hylaeus, Megachile, Coelioxys, Andrena, Ceratina, Lasioglossum* et *Halictus* (Dathe, 1980; Patiny et al., 2009; Pauly, 2015a, 2015b; Terzo et al., 2007) et des informations des spécialistes sur les forums (Insect.org).

6. Traitements statistiques

Les statistiques descriptives sur la morphologie de la plante, la phénologie et les mesures sur les interactions sont réalisés sous R (Version 4.0.2) et Excel. Les effets des conditions de contrôle des pollinisateurs sur les plantes sont traités par des modèles linéaires généralisés (GLM avec Anova de Type II). Les packages ade4, car, vegan, ggplot2, emmeans, multcomp et betapart ont été utilisés pour traiter l'ensemble des données.

[1] Travailleur indépendant et spécialiste Français des Abeilles sauvages en particulier du genre *Andrena*

Résultat

1. Morphologie de la plante

Les principales caractéristiques morphologiques d'*Hypericum elodes* sont résumées dans le Tableau 4. L'observation à la loupe binoculaire a confirmé la présence de nectar sur le nectaire de chaque pétale (N=10). La quantité de nectar n'a pas été estimé au cours de ce stage. De plus, une odeur s'émanait des fleurs échantillonnées (N=90).

Tableau 4. Principales caractéristiques de la plante en millimètres

	Hypericum elodes
Hauteur du pied	131,87 ± 50,72 (N=30)
Longueur pétale	8,86 ± 0,47 (N=30)
Longueur filament	5,33 ± 0,59 (N=30)
Longueur pistil	5,14 ± 0,31 (N=30)
Présence/absence nectaire	Présence (N=30)
Nombre graines/capsule	Entre 18 et 39 (N= 60)
Couleur corolle	Jaune

Figure 5. Vue de côté d'une fleur d'*Hypericum elodes*

2. Suivi phénologique

Le début de floraison d'*Hypericum elodes* a débuté le 28 mai avec un pic de floraison vers le 25 juin (Figure 6) pour finir de fleurir en septembre (pas de date précise, car stage terminé avant la fin de floraison). De plus les premières fleurs arrivées à maturation ont commencé à disperser leurs graines à partir du 08 juillet 2020.

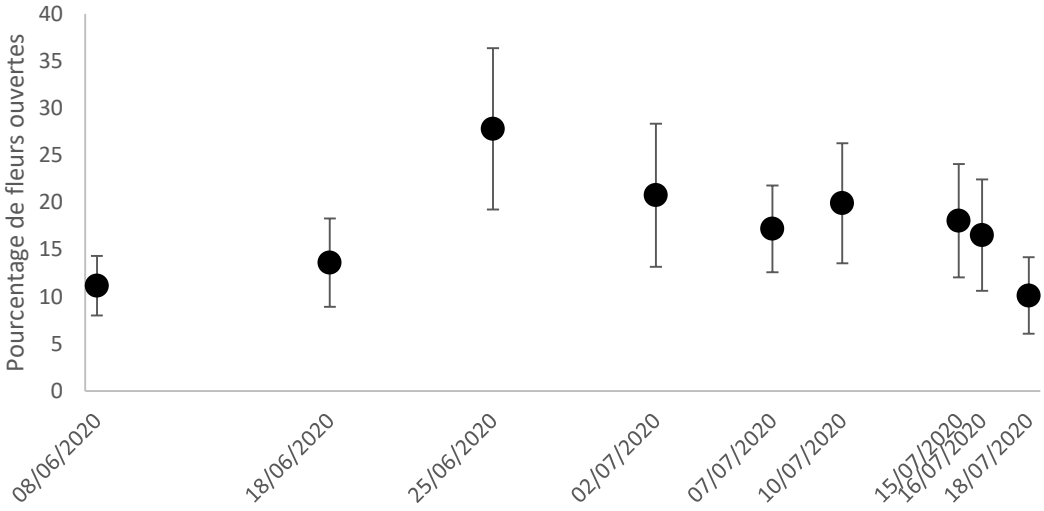


Figure 6. Pourcentage de fleurs ouvertes journalier entre le 8 juin et le 18 juillet (N=1702)

L'observation de 100 pieds d'*Hypericum elodes* montre que les fleurs s'ouvrent entre 12 h 10 -14 h 20 et se ferment entre 18 h 45-19 h 15 avec une floraison journalière unique pour chaque fleur. Leur durée d'ouverture est en moyenne de 5 heures 45 ±26 minutes.

3. Suivi des interactions entre les insectes visiteurs et *Hypericum elodes*

Les fleurs ouvertes d'*Hypericum elodes* permettent d'attirer des insectes visiteurs et de créer des interactions entre les différentes espèces. Les observations par scan sampling ont révélé que, sur les 180 relevés effectués, le taux de visite sur quatre fleurs d'*Hypericum elodes* est de 1,1 %. Cela correspond à deux visites de *Sphaerophoria scripta* (**Syrphidae**) qui ont collecté du nectar.

Les observations en continu ont permis d'observer des Syrphes et des Halictes qui prélèvent du pollen et du nectar sur les fleurs d'*Hypericum elodes* (Tableau 5), les autres insectes présents sur les plantes n'ont pas d'action de pollinisation (simple visite). Quatre espèces de pollinisateurs, dont deux Syrphidae et deux Halictidae ont été identifiés sur les fleurs avec des individus qui prélèvent du pollen et du nectar sur les fleurs d'*Hypericum elodes*. Les autres espèces observées sont des *Formica cunicularia* (**Formicidae**) et *Lasius platythorax* (**Formicidae**) qui élevaient des larves de pucerons à la base des feuilles et à l'intérieur de certaines corolles. Lors des observations, les visites se faisaient uniquement sur les tiges et les feuilles des différents pieds d'*Hypericum elodes.* Les *Conocephalus fuscus* (**Tettigoniidae**) retrouvés sur les pétales d'*Hypericum elodes* étaient tous au stade juvénile et restaient immobiles pendant plusieurs heures.

Tableau 5. Activité des visiteurs sur les *Hypericum elodes* lors de 30 heures d'observation d'une population de 50 pieds (P= collecte de pollen ; N = collecte de nectar ; V= simple visite)

Ordre	Famille d'insecte	Espèce	Nombre de fleurs visitées (moyenne ± écart-type)	Temps de visite (en seconde) par fleur (moyenne ± écart-type)	Activité
DIPTERA	Syrphidae	*Sphaerophoria scripta*	3,4 ± 2,6 (N=5)	122,2 ± 188,7 (N=5)	P et N
	Syrphidae	*Eupeodes corollae*	5,5 ± 0,5 (N=2)	87,5 ± 29,5 (N=2)	N
HYMENOPTERA	Halictidae	*Lasioglossum sp1*	8 (N=1)	34 (N=1)	P et N
	Halictidae	*Lasioglossum minutissimum*	17,5 ± 2,5 (N=2)	159 ± 26 (N=2)	P et N
	Formicidae	*Formica cunicularia*	/	/	V
	Formicidae	*Lasius platythorax*	/	/	V
ORTHOPTERA	Tettigoniidae	*Conocephalus fuscus*	1 (N=2)	8700 ± 900 (N=2)	V

De plus, une analyse de la faune autour des populations *d'Hypericum elodes* a montré qu'un grand nombre de prédateurs potentiels de pollinisateurs étaient présents : des Anisoptères (*Lestes sp., Platycnemis sp., Pyrrhosoma nymphula* et *Ceriagrion tenellum*), des Zygoptères (*Anax imperator, Crocothemis erythraea*,), des Amphibiens (*Pelophylax sp.*) et des Oiseaux (*Linaria cannabina* et *Sylvia undata*).

4. Mesure de l'influence de la pollinisation entomophile sur la production de fruits (capsules), de fleurs et de graines

Les résultats des effets des conditions et des mares sur les six variables qui reflètent le succès reproductif des *Hypericum elodes* ont été résumé dans le Tableau 6. Toutes les variables sont significativement différentes en fonction des conditions (P < 0,05 ; Tableau 6) excepté le poids des graines qui ne varie pas significativement (P = 0,122514). De plus, les résultats montrent que les mares ont un impact sur le succès reproductif de la plante pour l'ensemble des variables (pourcentage de fleurs ouvertes, de fruits déhiscents, poids des capsules, poids des graines et le nombre de graines ; P < 0,05 ; Tableau 6) sauf le pourcentage de fruits avortés (P = 0,4911).

Tableau 6. Résultats des GLM (Anova Type II) sur l'effet des pollinisateurs (Condition) et le type de mare sur le pourcentage de fleurs ouvertes, de fruit avorté, de fruit déhiscent, le poids des capsules (en gramme), le poids des graines pour 5 capsules (en gramme) et le nombre de graines pour cinq capsules. Seuil de significativité P < 0.05 significative. ** : 0.01 ; ***: 0.001

Réponses sur le succès reproducteur	Variables	LR Chisq	Df	P	
Pourcentage de fleurs ouvertes (N=2347)	Condition	26.141	3	8.911e-06	***
	Mare	31.099	4	2.923e-06	***
Pourcentage de fruits avortés (N=2347)	Condition	123.785	3	<2e-16	***
	Mare	3.414	4	0.4911	
Pourcentage de fruits déhiscents (N=2347)	Condition	133.061	3	< 2.2e-16	***
	Mare	93.554	4	< 2.2e-16	***
Poids capsules (N= 202)	Condition	40.011	3	1.06e-08	***
	Mare	44.082	4	6.17e-09	***
Poids graines/cinq capsules (N=60)	Condition	5.7857	3	0.122514	
	Mare	15.0571	4	0.004584	***
Nombre de graines/cinq capsules (N=60)	Condition	12.459	3	0.005966	**
	Mare	67.896	4	6.31e-14	***

Une comparaison de moyenne sur le pourcentage de fruits avortés, le pourcentage de fruits déhiscents et le pourcentage de fleurs ouvertes en fonction des différentes conditions est réalisé (Figure 7).

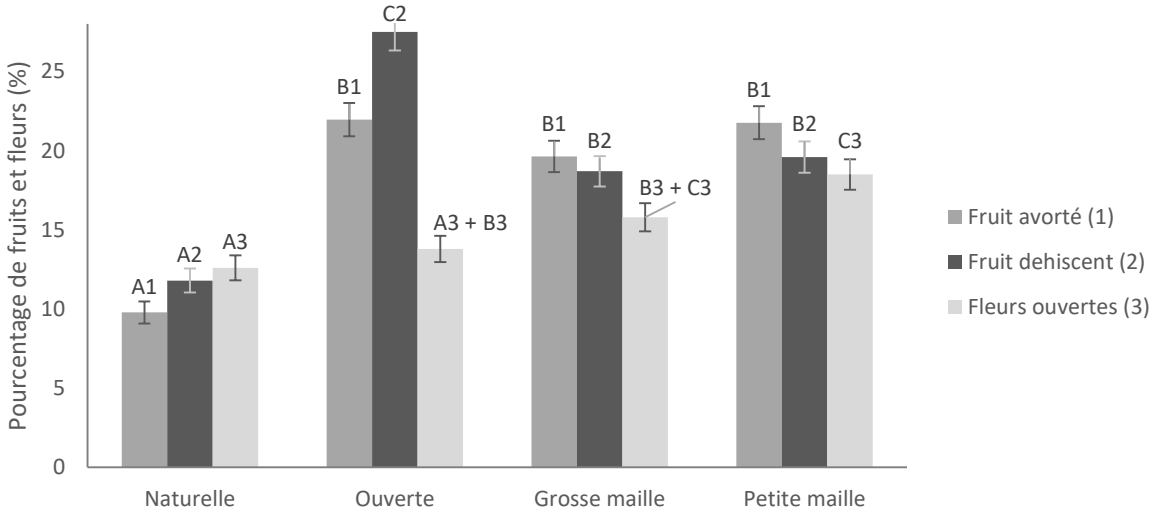


Figure 7. Représentation graphique sur l'influence des conditions de contrôle des pollinisateurs sur le pourcentage de fruit avorté, le pourcentage de fruit déhiscent et le pourcentage de fleurs ouvertes (GLM avec Anova de type II). La fonction « emmeans » de R permet de classer par groupe (A, B et C) lorsque les Ps<0.05 pour chaque variables testées (1, 2 et 3).

Le pourcentage de fruits avortés sur les populations d'*Hypericum elodes* témoin (condition Naturelle) est significativement moins important que les trois autres conditions avec des boites (Ouverte, Grosse maille et Petite maille) (test de Tukey : P<0,0001 ; Figure 7). En revanche, le pourcentage de fruits déhiscents est significativement moins élevé sur la population naturelle (test de Tukey : P<0,0001) que pour les trois autres conditions. Les fruits déhiscents récoltés dans les boîtes ouvertes à la pollinisation (condition Ouverte) sont significativement plus nombreux (test de Tukey : P<0,0001) que les autres conditions (Naturelle, Grosse maille et Petite maille). Le pourcentage de fleurs ouvertes est significativement plus important dans les boîtes Petite maille et les boîtes Grosse maille (respectivement 18,5 % ± 0,96 et 15,8 % ± 0,885) que dans le témoin (test de Tukey : Petite maille- Naturelle : P< 0,0001 ; Grosse maille- Naturelle : P= 0,0434) et la boîte Ouverte (test de Tukey : Petite maille- Ouverte : P =0,0011). Aucune corrélation n'a été trouvée entre le pourcentage de fruits déhiscents et le pourcentage de fleurs ouvertes (Corrélation de Pearson = -0,20), ni entre le pourcentage de fruits déhiscents et le pourcentage de fruits avortés (Corrélation de Pearson = 0,49) et ni entre le pourcentage de fleurs ouvertes et le pourcentage de fruits avortés (Corrélation de Pearson = -0,12).

De plus, les mares jouent un rôle sur le pourcentage de fruits déhiscents et le pourcentage de fleurs ouvertes (Figure 8).

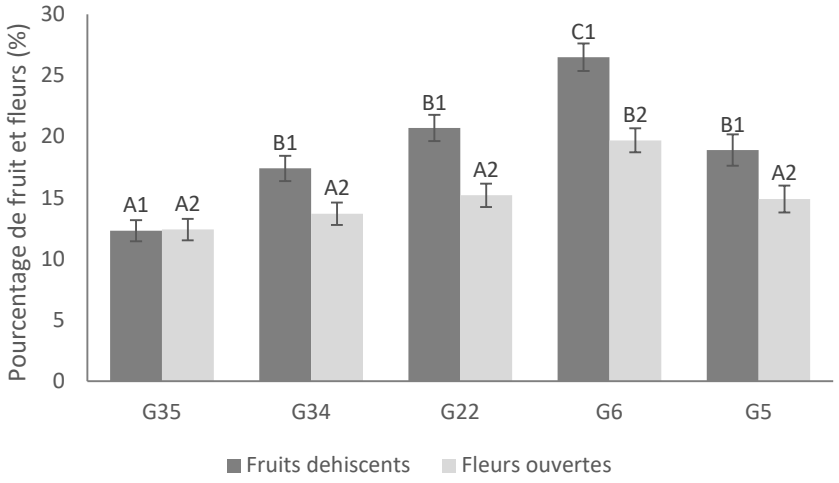


Figure 8. Histogramme sur l'influence des mares sur le pourcentage de fruit déhiscent et le pourcentage de fleurs ouvertes. La fonction « emmeans » de R permet de classer par groupe (A, B et C) lorsque les Ps<0.05 pour chaque variable testée (1 et 2).

La mare G6 a significativement plus de fruits déhiscents (Test de Tukey : P < 0,05 ; groupe C1) et un pourcentage de fleurs ouvertes plus important (Test de Tukey : P < 0,05 ; groupe B2) que les autres mares. De plus, la mare G35 a un pourcentage de fruits déhiscents significativement inférieur aux autres mares (Test de Tukey : P < 0,0001 ; groupe A1).

Le poids moyen des capsules varie en fonction des différentes conditions de pollinisation (Tableau 6 ; Figure 9). Le poids des capsules des *Hypericum elodes* issues de la population naturelle (Naturelle) est significativement plus élevé que le poids des capsules issues des autres conditions Grosse maille (Test de Tukey : P = 0,0005) et Petite maille (Test de Tukey : P < 0,0001) sauf pour les boîtes ouvertes à la pollinisation (Ouverte) qui ont un poids de capsules similaire (*P* = 0,1586). Cependant, le poids des capsules de la condition Ouverte est significativement différent de la condition Petite maille (Test de Tukey : P = 0,0003), mais pas de la condition Grosse maille (Test de Tukey : P = 0,2248). De plus, le poids des capsules issues des boîtes fermées à la pollinisation (Petite maille) est pas significativement différent par rapport à la condition 3 (Grosse maille) (Test de Tukey : P = 0,1454).

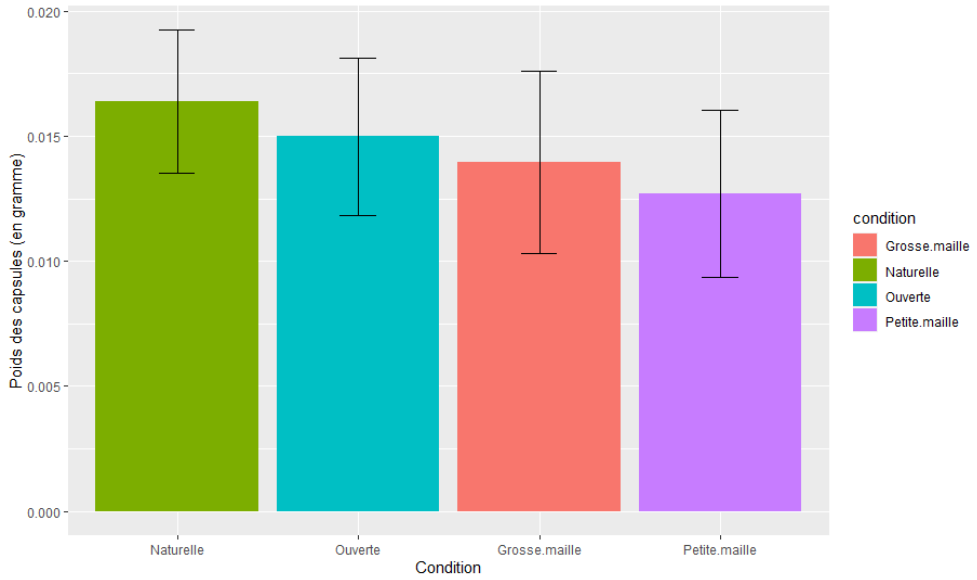


Figure 9. Diagramme (Fonction R : ggplot) des variations des poids (exprimé en gramme) des capsules selon les différentes conditions de contrôle de la pollinisation

Le nombre de graines pour cinq capsules n'est pas significativement différent entre les conditions de contrôle des pollinisateurs (Ouverte, Grosse maille et Petite maille), mais le nombre de graines du témoin est significativement plus élevé que les conditions Ouverte (Test de Tukey : P= 0,0416) et Petite maille (Test de Tukey : P= 0,0071) (Tableau 6 ; Figure 10).

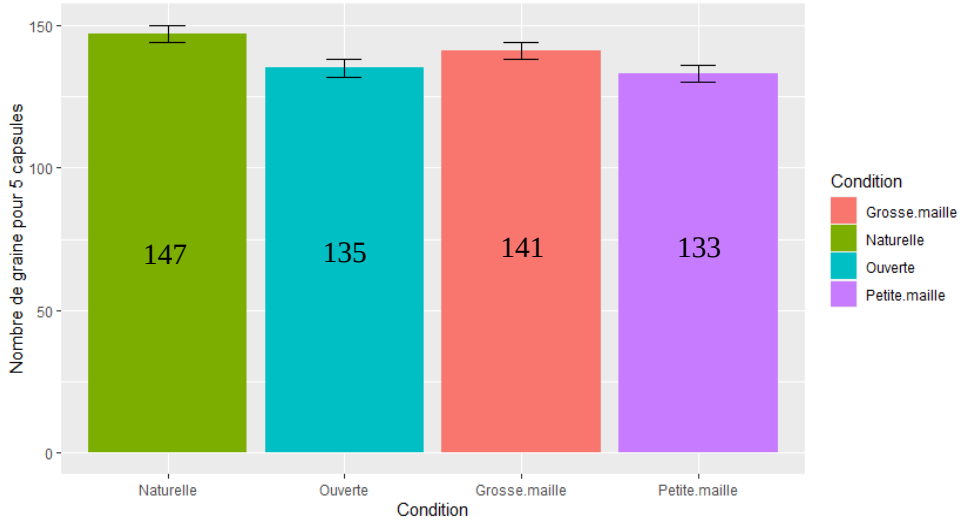


Figure 10. Diagramme (Fonction R : ggplot) des variations du nombre de graines (pour cinq capsules) selon les différentes conditions de contrôle de la pollinisation

La GLM (avec Anova de Type II) a révélé que les mares jouaient un rôle dans la production de capsules et de graine (Tableau 6 ; Figure 11).

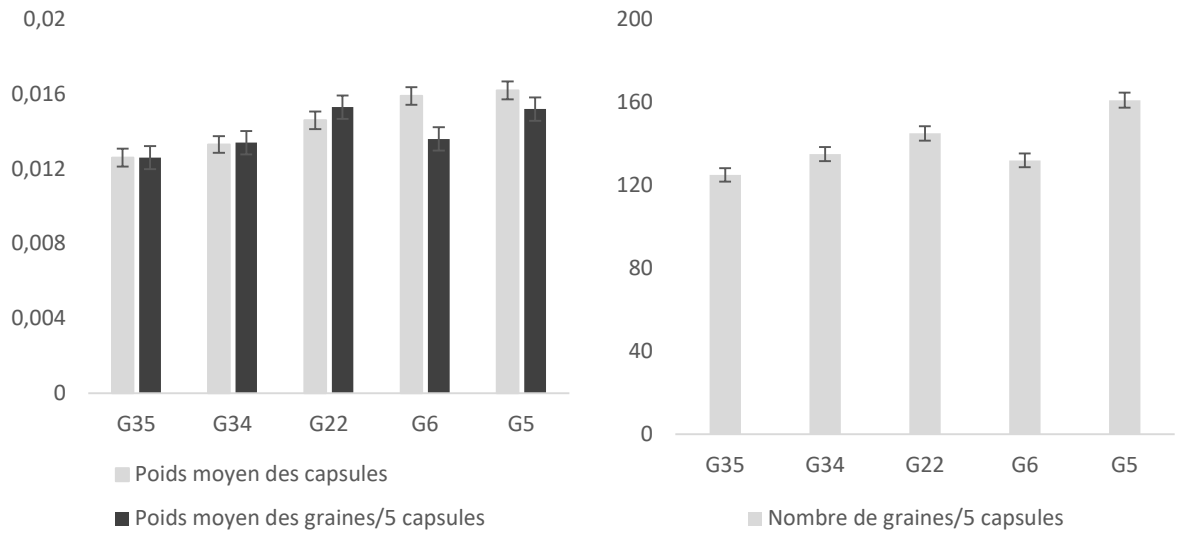


Figure 11. Histogramme représentant le poids moyen des capsules, le poids moyen des graines pour cinq capsules et le nombre de graines pour cinq capsules en fonction des mares échantillonnées.

La mare G35 a un poids de capsules, un poids de graines et un nombre de graines (N=10 par mare pour les 3 variables) qui semblent inférieurs aux autres mares (Figure 11). Cependant les différences sont significatives que pour quelques mares : pour le poids des capsules G35 est inférieur à G22 (Test de Tukey : P = 0,027), G6 (Test de Tukey : P < 0,0001) et G5 (Test de Tukey : P< 0,0001) ; pour le poids des graines G35 est inférieur à G22 (Test de Tukey : P = 0,0156) et G5 (Test de Tukey : P = 0,0211) ; pour le nombre de graines G35 est inférieur à G22 (Test de Tukey : P < 0,0002) et G5 (Test de Tukey : P < 0,0001). Le nombre de graines est significativement plus élevée dans la mare G5 que dans les autres mare G34, G6, G35 (Test de Tukey pour les mares G34, G6 et G35 : P < 0,0001) et G22 (Test de Tukey : P < 0,0151).

5. Effet de la gestion sur les communautés de pollinisateurs (Apoidea et Syrphidae)

Sur l'ensemble des captures réalisées entre juin et juillet 2020, 26 espèces d'Abeilles et 6 espèces de Syrphes ont été recensées sur la réserve (cf. Annexe 4. Liste des espèces).

La richesse spécifique et la diversité spécifiques entre les différents modes de gestion sont présentés dans la Figure 12.

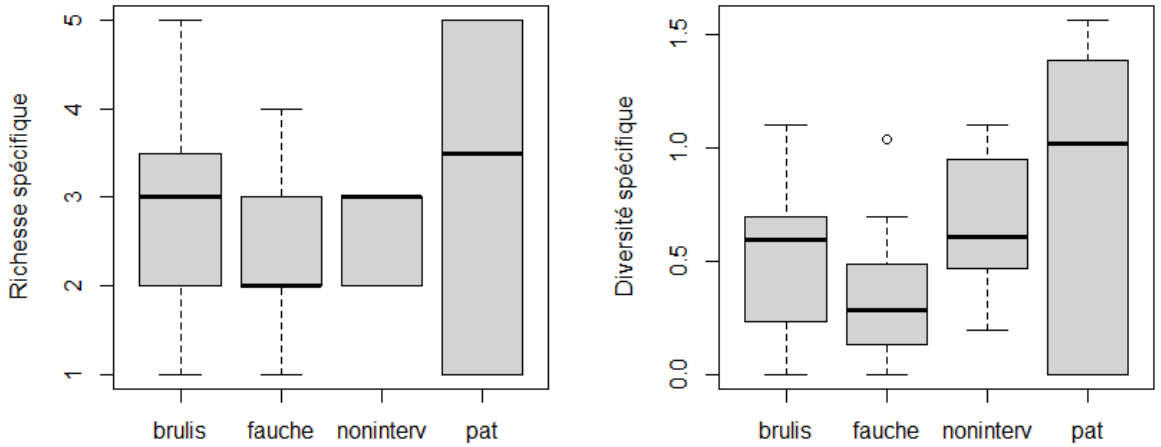


Figure 12. Boxplot représentant les différences de richesse et de diversité en espèces de Apoidea et Syrphidae dans les différents modes de gestion (brûlis, fauche, non-intervention et pâturage) pratiqués sur la RNN du Pinail.

Il y a une plus grande diversité d'espèces et de richesse dans la zone de pâturage (Figure 12). Néanmoins, le test statistique (GLM avec Anova de type II) n'a montré aucune différence significative entre les modes de gestion en ce qui concerne la richesse spécifique (P = 0,4479) et la diversité spécifique (diversité de Shannon ; P = 0,09148).

Les pollinisateurs présents sur *Hypericum elodes* ne semblent pas tous présents sur les parcelles subissant des modes de gestion différents (Tableau 7).

Tableau 7. Liste des espèces de pollinisateurs retrouvés sur les Hypericum elodes et dont leur présence a été évaluée selon les modes de gestion par les méthodes de capture par coupelles colorées et par filet : Pâturage (P), Brûlis (B), Fauche (F) et Non-intervention (Ni).

Ordre	Famille	Espèces	Mode de gestion
DIPTERA	Syrphidae	*Eupodes corollae*	B
	Syrphidae	*Sphaerophoria scripta*	P, B, F, Ni
HYMENOPTERA	Halictidae	*Lasioglossum minutissimum*	P, B, Ni

Les différentes gestions mis en place sur la réserve n'ont pas d'impact sur les communautés de pollinisateurs (Figure 13).

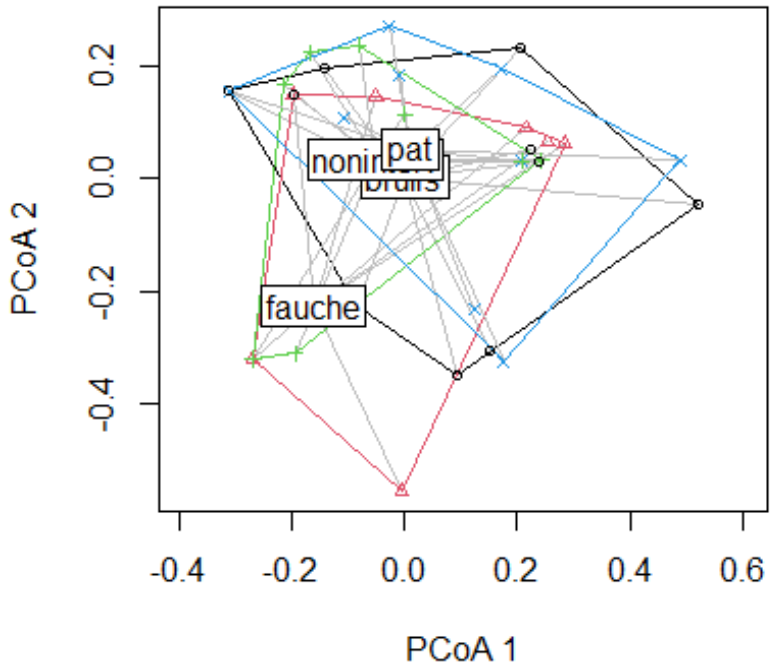


Figure 13. Comparaison de la dissimilitude (distance de Jaccard) entre les différents modes de gestion (pâturage (bleu), fauche (rouge), brûlis (noir) et non-intervention (vert)) sur les communautés de pollinisateurs (Apoidea et Syrphidae).

En effet, l'analyse statistique effectuée sur la distance de Jaccard montre qu'il n'y a aucune différence significative entre les différents modes de gestion sur les communautés de pollinisateurs (P = 0,8151). Un nombre important d'espèces se rencontre dans tous les habitats dont la gestion diffère.

Discussion

Trait de la plante. Les caractéristiques morphologiques mesurées ont permis de mettre en évidence une proximité entre les anthères à l'apex des filaments et les stigmates à l'apex des pistils (cf. Annexe 5 : Photographie). De plus, la présence de nectar à la base (cf. Annexe 6 : Photographie) de chaque pétale de couleur jaune et la présence d'une odeur s'émanant de la fleur ont été relevé. Les *Hypericum elodes* sont à la fois compatibles à l'autopollinisation de par cette proximité entre les organes mâles et femelles, mais aussi compatibles à la pollinisation croisée (Robson, 1981 ; Carta, Savio, *et al.*, 2016). La couleur jaune et la présence de nectar rendent la plante attractive (Dafni, 1992) ainsi que l'émission d'une odeur (Dobson, 2006; Levin et al., 2001).

Les suivis phénologiques ont montré que les fleurs d'*Hypericum elodes* ont commencé à fleurir fin mai jusqu'à début septembre, avec un pic de floraison mi-juin. Les fleurs s'ouvrent entre 12 h et 19 h et restent ouvertes en moyenne 5 heures 45 minutes pour ensuite faner définitivement lorsqu'elles se ferment. Les premières graines ont commencé à être dispersées début juillet (08/07/2020). Les précédentes études avaient mentionné une floraison plus tardive, pas avant juin (Bajon, 2000) voire juillet pour certaines populations se trouvant en Italie (Carta, Savio, et al., 2016). Le moment d'ouverture des fleurs est également décalé sur le Pinail, elles s'ouvrent un heure plus tard et se referment deux heures plus tard par rapport à l'étude menée en Italie (Carta, Savio, et al., 2016). La date de dispersion des graines a commencé début juillet (08/07/2020) dans notre étude tandis qu'en 2012 les graines se dispersaient de septembre à octobre en Italie, France, Allemagne et Angleterre (Carta, Probert, et al., 2016). Il se pourrait que les changements climatiques soient en partie la cause de cette avancée phénologique qui apparaît chez de nombreuses espèces (Memmott *et al.*, 2007 ; Hegland *et al.*, 2009), néanmoins il ne faut pas exclure les effets de l'année et du milieu. Il serait intéressant de pouvoir suivre la phénologie des *Hypericum elodes* sur le Pinail et simultanément sur d'autres sites pendant plusieurs années afin de vérifier un effet site et établir les causes de cette possible avancée phénologique.

Interaction plante-pollinisateurs. L'ouverture précoce d'*Hypericum elodes* peut perturber les relations qu'elles ont avec les pollinisateurs. En effet, le taux de visite des pollinisateurs sur le mois de juin est très faible et sur la période de juin à juillet quatre espèces de pollinisateurs ont été observées sur les plantes. Parmi elles, *Sphaerophoria scripta* (**Syrphidae**), *Eupeodes corollae* (**Syrphidae**) et *Lasioglossum minutissimum* (**Halictidae**) ont pu être identifiées. L'espèce la plus souvent observée, *Sphaerophoria scripta* (**Syrphidae**) et l'autre espèce présente, *Eupeodes corollae* (**Syrphidae**), ont une période de vol s'étalant d'avril à octobre (Schulten, 2017) ce qui n'impliquerait aucun changement pour polliniser *Hypericum elodes* dont la phénologie semble avancer. Cependant l'espèce d'abeille *Lasioglossum minutissimum* (**Halictidae**), retrouvée à plusieurs reprises sur les fleurs d'*Hypericum elodes*, a une période de vol plus tardive notamment chez les mâles. Ils commencent à voler seulement à partir de mi-juin (BWARS : Allen, 2019). Bien que certains pollinisateurs spécialistes peuvent être perturbés par le décalage phénologique de certaines plantes (Memmott et al., 2007), ces deux espèces pollinisatrices sont considérées comme polylectiques, car elles visitent une grande variété de plantes (Schulten, 2017 ; BWARS : Allen, 2019). Il serait intéressant de pouvoir

corréler le taux de visite des pollinisateurs et le succès reproductif (poids des capsules, nombre de graines et poids des graines) entre les différents mois où les *Hypericum elodes* sont en fleurs car dans cette étude le taux de visite a été défini sur le mois de juin. Ensuite, les graines ont toutes été prélevées le même jour et début juillet, les résultats reflètent donc la contribution des pollinisateurs du mois de juin. De plus, de nombreux prédateurs ont été recensés sur les mares (Amphibiens, Oiseaux, Odonates). Il serait donc intéressant de pouvoir analyser l'effet de la présence de prédateurs sur l'interaction plantes-pollinisateurs et, par conséquent de comprendre comment les prédateurs affectent indirectement la reproduction *d'Hypericum* elodes. En effet, de nombreuses études ont mis en évidence l'impact négatif des prédateurs sur l'abondance et le comportement de visite (fréquence et durée) sur les plantes à fleurs (Benoit & Kalisz, 2020; Suttle, 2003).

Effet de la pollinisation croisée sur la reproduction de la plante. La capacité des plantes à se reproduire et donc l'efficacité de la pollinisation croisée ont pu être évaluées grâce à plusieurs facteurs : le pourcentage de fruits avortés, le pourcentage de fruits déhiscents, le pourcentage de fleurs ouvertes, le poids des fruits (capsules), le poids et le nombre de graines. Cette étude a mis en évidence deux effets, le premier est l'effet de la pollinisation croisée via les différentes conditions et le second est l'effet du milieu (mares). Les pollinisateurs semblent augmenter le poids des capsules, mais de manière générale, pour l'ensemble des variables, les *Hypericum elodes* présentent une bonne capacité à produire des fleurs, des fruits et des graines sans la visite d'insectes, grâce à une autopollinisation. Il a été montré ici que les pourcentages de fruits avortés, de fruits déhiscents et de fleurs ouvertes sont plus important dans la condition témoin (Naturelle) que dans les boîtes de contrôles des pollinisateurs (Ouverte, Grosse maille et Petite maille). Inversement le nombre de graines est plus élevé dans la condition témoin que dans les boîtes. Le poids des capsules est plus important dans les conditions témoin (Naturelle) et Ouverte que les conditions Grosse maille et Petite maille. Le poids des graines n'a pas été différent entre les conditions.

D'après nos résultats, la présence d'un couvercle sur les boîtes (condition Grosse maille et Petite maille) a un impact sur le nombre de fleurs ouvertes comparées aux conditions Naturelle et aux boites Ouvertes. Le changement de lumière liée au grillage, pourrait avoir eu une influence sur le nombre de fleurs ouvertes. En effet, que chez certaines plantes, l'ombre pouvait augmenter le nombre de fleurs (Petrie & Clingeleffer, 2005). Cela pourrait également expliquer les différences dans le pourcentage de fleurs ouvertes entre la mare G6, dont les boites étaient proches de la végétation, et les autres mares.

Le pourcentage de fruits déhiscents varie entre les conditions et entre les mares. Il s'est révélé être plus important dans les conditions de contrôle de pollinisation (Ouverte, Grosse maille et Petite maille) par rapport au témoin naturel. L'hypothèse selon laquelle les boîtes provoqueraient une autopollinisation des plantes a été écartée, car il a été montré que contrairement à l'ensachement des plantes, les boîtes de contrôle n'influencent par l'autopollinisation (Kwak, 1979 ; Carta, Savio, *et al.*, 2016). Étant donné que les résultats reflètent les pourcentages des fruits arrivés à maturation en premier (premiers jours de dissémination de graines) et que les fleurs présentes dans les différentes mares n'ont pas toutes commencé à fleurir fin mai, il se pourrait qu'il existe aussi un biais lié à la date de relevé

(décalage phénologique non-contrôlé). Ce biais pourrait être réduit par l'analyse d'un nombre plus important de réplicas et un examen des fruits déhiscents plus étalé dans le temps. De plus, le pourcentage de fruits déhiscents, de fleurs ouvertes et de fruit avorté ne sont pas corrélés entre eux. Cela s'accorde avec la littérature, car il a été montré que le pourcentage de fruit déhiscent est généralement déterminé par les ressources plutôt que par le nombre de fleurs (Stephenson, 1981).

Le poids des capsules (fruits) est plus élevé en condition témoin (Naturelle) et en condition Ouverte que les deux autres conditions (Grosse maille et Petite maille), ce qui signifie que la pollinisation croisée a amélioré cette caractéristique morphologique de la plante. Les conditions Grosse maille et les Petite maille ont des poids de capsules inférieures, mais ne diffèrent pas entres elles. La présence d'un maillage, quelques soit la taille des mailles, pourrait avoir un effet sur l'attractivité visuelle et olfactive des fleurs. Il a été démontré que l'attractivité des plantes face aux pollinisateurs pouvait être différente en fonction des couleurs (Lunau & Maier, 1995; Spaethe et al., 2001), mais aussi des odeurs (Dobson, 2006; Levin et al., 2001). Ainsi, cela expliquerait l'absence de différence entre les deux conditions (3 et 4) dont seulement la taille du maillage diffère.

Enfin, le poids et le nombre de graines par capsules ne semblent pas être impactés par les différentes conditions de contrôle de pollinisation (Ouverte, Grosse maille et Petite maille), cependant il semblerait que le milieu (mares) impacte ce poids et ce nombre de graines. Ces résultats coïncident avec l'étude de Carta, Savio, et al. (2016) qui a montré que les poids des graines ne sont pas affectés par la pollinisation croisée. En ce qui concerne les différences liées aux mares, cela est difficilement explicable, car le nombre de mares échantillonnées est trop faible pour pouvoir apporter une explication à cela. Des tests sur le pH, la conductivité, le type de mare (morphologie) n'ont pas apporté de réponse. Toutefois, une hypothèse peut être émis : le poids et le nombre de graines par capsule pourrait être influencée par les différences de taille des populations d'*Hypericum elodes* dans ces mares. En effet, la population de la mare G35 qui a un poids de capsules, un poids et un nombre graines plus faible avait une population d'*Hypericum elodes* deux à trois fois moins dense que sur les autres mares (G5, G6 et G22 et G34). Il a été démontré que le nombre de fleurs ouvertes au même moment pouvait favoriser le nombre de visites de pollinisateurs (Mitchell et al., 2004; Rush & Conner, 1996) et par conséquent influencer les caractéristiques reproductives d'*Hypericum elodes*. Il serait intéressant de voir l'effet des pieds non-échantillonnés se situant autour des dispositifs et de tester l'hypothèse selon laquelle la quantité de pollen apporté peut être un facteur limitant à la reproduction de la plante (Byers, 1995; S. Talavera et al., 1996).

Les insectes pollinisateurs peuvent être une condition importante pour la survie ou l'amélioration de la fitness reproductive des plantes. Les résultats de notre étude ont montré que les pollinisateurs avaient une influence sur certaines caractéristiques d'*Hypericum elodes*. Ainsi l'effet des pratiques de gestions sur ces communautés de pollinisateurs pourrait être un facteur déterminant pour les populations de plantes dont *Hypericum elodes*.

Impact des modes de gestion sur les pollinisateurs. L'étude a permis de recenser 26 espèces d'Apoidea et 4 espèces de Syrphidae. De plus, les analyses ont montré aucune différence significative entre les différents modes de gestion sur la richesse et sur la diversité en

pollinisateurs présents sur la réserve. L'inventaire des espèces de pollinisateurs présents sur la réserve a révélé que les espèces pollinisatrices *d'Hypericum elodes* n'étaient pas présentes dans l'ensemble des modes de gestion (Tableau 7). Il serait donc intéressant d'étudier la reproduction des *Hypericum elodes* dans chaque mode de gestion afin de voir si l'importance de certains pollinisateurs dans la pollinisation de cette plante est plus forte que d'autres. Ces résultats sur l'effet de la gestion pourraient être améliorés car le taux de capture a été relativement faible, cela peut être dû à plusieurs biais liés au protocole de capture. Tout d'abord, l'agent de tension de surface utilisé a troublé l'eau et donc limité l'attraction visuelle des coupelles qui est un des principaux paramètres pour une bonne capture (Leong & Thorp, 1999; Vrdoljak & Samways, 2012). La profondeur des coupelles et l'angle d'inclinaison des côtés n'étaient peut-être pas suffisants pour capturer des espèces de taille moyenne (10-15 mm) et de grande taille (<15mm). Malgré le complément de capture au filet qui a permis de limité ce biais, l'utilisation de coupelles colorés dont la configuration ressemble à celles utilisées dans l'étude de Westphal *et al.* (2008) permettrait d'améliorer le taux de capture des espèces de taille moyenne. De plus, l'intégration des coupelles dans le paysage n'était pas optimum. Il serait plus judicieux de placer ces coupelles dans un patch de fleurs pour limiter ce biais (D.Genoud, communication personnelle, juillet 2020). Néanmoins, cette étude a permis de faire un premier état des lieux des espèces d'Apoidea sur la réserve du Pinail. Cela pourra être utilisé comme référence pour étudier l'évolution des pollinisateurs de la réserve.

Conclusion

La pollinisation croisée joue un rôle non-négligeable sur certaines caractéristiques reproductives d'*Hypericum elodes* notamment sur le poids des capsules (fruit). Cependant, l'autopollinisation semble avoir un rôle plus important dans la reproduction et la survie de cette plante, notamment sur le poids des graines et le nombre de graines. Le milieu a aussi un impact important sur le succès reproductif de la plante car les résultats ont montré une hétérogénéité importante sur le pourcentage de fleurs ouvertes, le pourcentage de fruit déhiscent et le nombre de graines au sein des différentes mares. Néanmoins, à l'échelle de la réserve, il semblerait que les différents modes de gestion pratiqués ne semblent pas impacter la richesse et la diversité en espèce de pollinisateur. Au cours de cette étude, 26 espèces d'Abeilles (Apoidea) et 4 espèces de Syrphes (Syrphidae) ont été inventoriées sur la réserve.

Les réponses des plantes face aux pollinisateurs sont très variées (Tableau 1). Sur la réserve du Pinail, c'est une première étude qui s'intéresse à la biologie d'une espèce (*Hypericum elodes*) et sa relation avec les pollinisateurs. L'étude de cas d'*Hypericum elodes* a permis d'avoir une première approche sur les interactions plantes-pollinisateurs et l'inventaire des pollinisateurs constitue le premier état des lieux sur la réserve. Il existe peu d'informations sur la phénologie, la distribution et l'abondance des espèces de pollinisateurs en France. Néanmoins, les abeilles (Apoidea) sont essentielles dans le maintien de la végétation des milieux naturels et de toute la cascade trophique qui en dépend (Vaissière, 2005). Donc à travers ce type d'étude menées en partenariat avec des chercheurs et des gestionnaires d'espaces naturels protégés, de nombreuses connaissances sont acquises pour permettre à l'avenir d'entreprendre des mesures de gestions adaptatives. De plus, dans ce contexte de changement climatique, les *Hypericum elodes* pourraient être amenées à avoir des populations qui diminue de par la perte de leur habitat (assèchement. C'est pourquoi un observatoire eau, biodiversité mis en place sur la réserve depuis 2018 va permettre d'avoir une vision globale du milieu et permettre de prendre les meilleures décisions pour la conservation des espèces et de leur habitat.

Bibliographies

Allen. (2019). *Bwars : Présentation de Lasioglossum minutissimum*. https://www.bwars.com/bee/halictidae/lasioglossum-minutissimum

Anamso, & INRA. (2008). *La pollinisation entomophile du tournseol en production de semences hybrides Impact de l'abondance et de la diversité des pollinisateurs*.

Anderson, B., & Johnson, S. D. (2008). The geographical mosaic of coevolution in a plant-pollinator mutualism. *Evolution : International Journal of Organic Evolution*, *62*(1), 220–225. https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2007.00275.x

Bajon, R. (2000). *Hypericum elodes L., 1759. In Muséum national d'Histoire naturelle [Ed]. 2006. Conservatoire botanique national du Bassin parisien, site Web. http://www.mnhn.fr/cbnbp.*

Baker, H. G., & Baker, I. (1990). The predictive value of nectar chemistry to the recognition of pollinator types. *Israel Journal of Botany*, *39*(1–2), 157–166. https://doi.org/10.1080/0021213X.1990.10677140

Banaszak, J., Twerd, L., Ratyńska, H., Banaszak-Cibicka, W., & Zys, T. (2018). Andrena florea Fabricius, 1793 (Hymenoptera, Apoidea, Apiformes): A rare bee species in Poland, related to the expansion of the alien plant Bryonia dioica Jacq. (Cucurbitaceae). *Polish Journal of Entomology*, *87*(3), 199–215. https://doi.org/10.2478/pjen-2018-0015

Bascompte, J., Jordano, P., & Olesen, J. M. (2006). Asymmetric coevolutionary networks facilitate biodiversity maintenance. *Science*, *312*(5772), 431–433. https://doi.org/10.1126/science.1123412

Beguier, G., Beaune, D., Sellier, Y., & Souty-Grosset, C. (2016). *Synthèse des études et transfert de population d'Austropotamobius pallipes, RNN Pinail.*

Benoit, A. D., & Kalisz, S. (2020). *Predator Effects on Plant- Pollinator Interactions, Plant Reproduction, Mating Systems, and Evolution*. 319–340.

BGBM. (2018). *http://ww2.bgbm.org/EuroPlusMed/query.asp*.

Biesmeijer, J. C., Roberts, S. P., Reemer, M., Ohlemüller, R., Edwards, M., Peeters, T., ..., & & Settele, J. (2006). Parallel Declines in Pollinators and Insect-Pollinated Plants in Britain. *Science*, *313*(5785), 351–354. https://doi.org/10.1126/science.1129551

Bilz, M., Kell, S., Maxted, N., & Lansdown, R. (2011). *European Red List of Vascular Plants. Luxembourg : Publications Office of the European Union.*

Bridle, J., & Rensburg, A. Van. (2014). Discovering the limits of ecological resilience. *Science*. https://doi.org/10.1126/science.aba6432

Buchmann, S. L., & Nabhan, G. P. (2012). The forgotten pollinators. In *Island Press*.

Byers, D. L. (1995). Pollen quantity and quality as explanations for low seed set in small populations exemplified by E upatorium (Asteraceae). *American Journal of Botany*, *82*(8), 1000–1006. https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1995.tb11564.x

Campbell, J. W., & Hanula, J. L. (2007). Efficiency of Malaise traps and colored pan traps for collecting flower visiting insects from three forested ecosystems. *Journal of Insect Conservation*, *11*(4), 399–408. https://doi.org/10.1007/s10841-006-9055-4

Cane, J. H., Minckley, R. L., & Kervin, L. J. (2000). Sampling bees (Hymenoptera: Apiformes) for pollinator community studies: Pitfalls of pan-trapping. *Journal of the Kansas Entomological Society*, *73*(4), 225–231. https://doi.org/10.2307/25085973

Carta, A., Probert, R., Puglia, G., Peruzzi, L., & Bedini, G. (2016). Local climate explains degree of seed dormancy in Hypericum elodes L. (Hypericaceae). *Plant Biology*, *18*, 76–82.

https://doi.org/10.1111/plb.12310

Carta, A., Savio, L., Bedini, G., Peruzzi, L., Fisogni, A., & Galloni, M. (2016). All in an afternoon: mixed breeding system in one-day lasting flowers of Hypericum elodes L. (Hypericaceae). *Plant Biosystems*, *150*(5), 1001–1009. https://doi.org/10.1080/11263504.2014.1000421

CBNSA. (2018). *Liste rouge de la Flore vasculaire de Poitou-Charentes. (listé Hypericum elodes L., 1759).*

Corbet, S. A., Williams, I. H., & Osborne, J. L. (1991). Bees and the pollination of crops and wild flowers in the european community. *Bee World*, *72*(2), 47–59. https://doi.org/10.1080/0005772X.1991.11099079

Dafni, A. (1992). *Pollination ecology: A practical approach. Oxford University Press.*

Dathe, H. H. (1980). *Les espèces du genre Hylaeus F. en Europe (Hymenoptera : Apoidea, Colletidae). 56*(1964), 207–294.

Day, M. (1991). Towards the conservation of aculeate Hymenoptera in Europe. Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. In *Nature and Environment* (Vol. 51).

Dobson, H. E. (2006). Relationship between floral fragrance composition and type of pollinator. *Biology of Floral Scent*, 147–198.

Dupont, V., & Sellier, Y. (2017). *Cartographie des habitats terrestres de la Réserve Naturelle Nationale du Pinail. Édité par GEREPI.*

Feinsinger, P. (1987). Approaches to nectarivore-plant interactions in the New World. *Revista Chilena de Historia Natural*, *60*, 285–319.

Flacher, F. (2016). Influence des interactions entre espèces végétales sur les relations plantes-pollinisateurs : cas de la compétition induite par la présence d ' espèces anémophiles sur l ' attractivité aux pollinisateurs d' espèces entomomophile. *Université Pierre et Marie Curie - Paris VI*, 46.

Fleming, T. (1993). Plant-visiting bats. *American Scientist*, *81*, 460–467.

Free, J. B. (1966). The Pollinating Efficiency of Honey-Bee Visits to Apple Flowers. *Journal of Horticultural Science*, *41*(1), 91–94. https://doi.org/10.1080/00221589.1966.11514158

Gadoum, S., & Roux-Fouillet, J.-M. (2016). *Plan national d'actions « France Terre de pollini-sateurs » pour la préservation des abeilles et des insectes pollinisateurs sauvages. Office Pour les Insectes et leur Environnement – Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie*. 136.

Gerber, M. A. (1985). *The relationship of plant size to self-pollination in Mertensia ciliata*. 762–772.

Gill, R. J., Ramos-Rodriguez, O., & Raine, N. E. (2012). Combined pesticide exposure severely affects individual-and colony-level traits in bees. *Nature*, *491*(7422), 105–108. https://doi.org/10.1038/nature11585

Goulson, D., Nicholls, E., Botías, C., & Rotheray, E. L. (2015). Bee declines driven by combined Stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*, *347*(6229). https://doi.org/10.1126/science.1255957

Hallmann, C. A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., Stenmans, W., Müller, A., Sumser, H., Hörren, T., Goulson, D., & De Kroon, H. (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE*, *12*(10). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809

Hegland, S. J., Nielsen, A., Lázaro, A., Bjerknes, A. L., & Totland, Ø. (2009). How does climate warming affect plant-pollinator interactions? *Ecology Letters*, *12*(2), 184–195.

https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01269.x

Hoback, W. W., Svatos, T. M., Spomer, S. M., & Higley, L. G. (1999). Trap color and placement affects estimates of insect family-level abundance and diversity in a Nebraska salt marsh. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *91*(3), 393–402. https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.1999.00507.x

Hodges, S. A. (1995). The influence of nectar production on hawkmoth behavior, self pollination, and seed production in Mirabilis multiflora (Nyctaginaceae). *American Journal of Botany*, *82(2)*, 197–204.

INPN. (n.d.). *https://inpn.mnhn.fr*.

Insect.org. (n.d.). *<http://https://www.insecte.org>*.

Kearns, C. A., Inouye, D. W., & Waser, N. M. (1998). Endangered mutualisms: The conservation of plant-pollinator interactions. *Annual Review of Ecology and Systematics*, *29*, 83–112. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.29.1.83

Kevan, P. G. (1990). *Pollination: keystone process in sustainable global productivity*. *288*, 103–110.

Kingsolver, J. G., & Daniel, T. L. (1983). Mechanical determinants of nectar feeding strategy in hummingbirds: energetics, tongue morphology, and licking behavior. *Oecologia*, *60*(2), 214–226. https://doi.org/10.1007/BF00379523

Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & 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

Kwak, M. M. (1979). Effects of Bumblebee Visits on the Seed Set of Pedicularis, Rhinanthus and Melampyrum (Scrophulariaceae) in the Netherlands. *Acta Botanica Neerlandica*, *28*(2–3), 177–195. https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1979.tb00333.x

Le Féon, V. (2011). *Insectes pollinisateurs dans les paysages agricoles : approche pluri-échelle du rôle des habitats semi-naturels , des pratiques agricoles et des cultures entomophiles To cite this version : HAL Id : tel-00566660 Violette Le Féon Insectes pollinisateurs da*.

Lelarge, K., Sellier, Y., Dupont, V., & Préau, C. (2017). *Plan de gestion 2018-2027 de la Réserve naturelle nationale du Pinail -Diagnostic. Édité par GEREPI.*

Leong, J. M., & Thorp, R. W. (1999). Colour-coded sampling: The pan trap colour preferences of oligolectic and nonoligolectic bees associated with a vernal pool plant. *Ecological Entomology*, *24*(3), 329–335. https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.1999.00196.x

Levin, R. A., Raguso, R. A., & McDade, L. A. (2001). Fragrance chemistry and pollinator affinities in Nyctaginaceae. *Phytochemistry*, *58*(3), 429–440.

LPO Vienne, & DUBOIS, T. coord. (2015). Document d'objectifs du site Natura 2000 Landes du Pinail ZSC FR5400453. In *LPO Vienne*.

Lunau, K., & Maier, E. J. (1995). Innate colour preferences of flower visitors. *Journal of Comparative Physiology A*, *177*(1), 1–19. https://doi.org/10.1007/BF00243394

Memmott, J., Craze, P. G., Waser, N. M., & Price, M. V. (2007). Global warming and the disruption of plant-pollinator interactions. *Ecology Letters*, *10*(8), 710–717. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01061.x

Mitchell, R. J., Karron, J. D., Holmquist, K. G., & Bell, J. M. (2004). The influence of Mimulus ringens floral display size on pollinator visitation patterns. *Functional Ecology*, *18*(1), 116–124. https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2004.00812.x

Mulcahy, & David, L. (1979). The rise of the angiosperms: A genecological factor. *Science*, *206*(4414), 20–23. https://doi.org/10.1126/science.206.4414.20

Nieto, A., Roberts, S. P., Kemp, J., Rasmont, P., Kuhlmann, M., García Criado, M., & ... & De Meulemeester, T. (2014). *European red list of bees. Luxembourg: Publication Office of the European Union, 98*.

Nuttman, C. V., Otieno, M., Kwapong, P. K., Combey, R., Willmer, P., & Potts, S. G. (2011). The utility of aerial pan-trapping for assessing insect pollinators across vertical strata. *Journal of the Kansas Entomological Society*, *84*(4), 260–270. https://doi.org/10.2317/JKES110319.1

Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, *120*(3), 321–326. https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x

Patiny, S., Rasmont, P., & Michez, D. (2009). A survey and review of the status of wild bees in the West-Palaearctic region. *Apidologie*, *40*(3), 313–331. https://doi.org/10.1051/apido/2009028

Pauly, A. (2015a). *Clés illustrées pour l'identification des abeilles de Belgique et des régions limitrophes (Hymenoptera: Apoidea) - I. Halictidae*. http://www.zoologie.umh.ac.be/hymenoptera/biblio/Pauly_2015_Clés_Megachilidae_Belgique_9JAN2016.pdf

Pauly, A. (2015b). *Clés illustrées pour l ' identification des abeilles de Belgique et des régions limitrophes (Hymenoptera : Apoidea). II. Megachilidae. Document de travail du projet BELBEES.* 1–61. http://www.zoologie.umh.ac.be/hymenoptera/biblio/Pauly_2015_Clés_Megachilidae_Belgique_9JAN2016.pdf

Petanidou, T., Den Nijs, J. C. M., Oostermeijer, J. G. B., & Ellis-Adam, A. C. (1995). Pollination ecology and patch-dependent reproductive success of the rare perennial Gentiana pneumonanthe L. *New Phytologist*, *129*(1), 155–163. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1995.tb03019.x

Petrie, P. R., & Clingeleffer, P. R. (2005). Effects of temperature and light (before and after budburst) on inflorescence morphology and flower number of Chardonnay grapevines (Vitis vinifera L.). *Australian Journal of Grape and Wine Research*, *11*, 59–65.

Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology and Evolution*, *25*(6), 345–353. https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007

Ramírez, N. (1993). Estratificación de los sistemas de polinización en un arbustal de la Guayana Venezolana. *Biología Tropical*, 471–481.

Rasmont, P., Ebmer, P., Banaszak, J., & Zanden, G. (1995). Hymenoptera Apoidea Gallica. Liste taxonomique des abeilles de France, de Belgique, de Suisse et du Grand-Duché de Luxembourg. *Bull. Soc. Entomol.*, *100*(HS), 1–98.

Robson, N. (1981). *Studies in the genus Hypericum L. (Guttiferae). 2. Characters of the genus. Bull Brit Mus Nat Hist Bot series 8: 53–226.*

Robson, N. K. (2012). *Studies in the genus Hypericum L.(Hypericaceae) 9. Addenda, corrigenda, keys, lists and general discussion. Phytotaxa, 72(1), 1-111*.

Roulston, T. A. H., Smith, S. A., & Brewster, A. L. (2007). A comparison of pan trap and intensive net sampling techniques for documenting a bee (Hymenoptera: Apiformes). *Kansas Entomological*, *80*(2), 179–181.

Rush, S., & Conner, J. K. (1996). Effects of flower size and number on pollinator visitation to wild radish, Raphanus raphanistrum. *Oecologia*, *105*, 509–516.

S. Talavera, S., Arista, M., & Salgueiro, F. J. (1996). Population Siza, Pollination and Breeding System

of Silene stockenii Chater (Caryophyllaceae), an Annual Gynodioecious Species of Southern Spain. *Acta Botanica*, *109*, 333–339.

Schiestl, F. P., Ayasse, M., Paulus, H. F., Lofstedt, C., Hansson, B. S., Ibarra, F., & Francke, W. (1999). Orchid pollination by sexual swindle [5]. *Nature*, *399*(6735), 421–422. https://doi.org/10.1038/20829

Schiestl, Florian P. (2005). On the success of a swindle: pollination by deception in orchids. *Die Naturwissenschaften*, *92*(6), 255–264. https://doi.org/10.1007/s00114-005-0636-y

Schulten, A. (2017). *Syrphes de Belgique et des Pays-bas* (Natagora & CEN Nord pas de Calais (eds.); SAPOLL).

Sekercioglu, C. (2006). Increasing awareness of avian ecological function. *Ecology and Evolution*, *21*, 464–471.

Sellier, Y., Dupont, V., Cerclet, S., Berry, T., Maitrepierre, A., & Préau, C. (2019). *Rapport d'étude 2019 de la réserve naturelle nationale du Pinail. Edité par GEREPI Vouneuil-sur-Vienne, France*. 394.

Sellier, Y., Dupont, V., Léauté, J., & Préau, C. (2018). *Rapport d'étude 2018 de la réserve naturelle nationale du Pinail. Edité par GEREPI.*

Sihag, R. C. (1986). Insect pollination increases seed production in cruciferous and umbelliferous crops. *Journal of Apicultural Research*, *25*(2), 121–126. https://doi.org/10.1080/00218839.1986.11100704

Simpson, B. B., & Neff, J. L. (1983). Floral biology and floral rewards of Lysimachia (Primulaceae). *American Midland Naturalist*, 249–256.

Soroye, P., Newbold, T., & Kerr, J. (2020). Climate change contributes to widespread declines among bumble bees across continents. *Science*, *87*(February), 685–688. https://doi.org/10.1126/science.aax8591 Increasing

Spaethe, J., Tautz, J., & Chittka, L. (2001). Visual constraints in foraging bumblebees: flower size and color affect search time and flight behavior. *National Academy of Sciences*, *98*(7), 3898–3903.

Stanton, M. L., Snow, A. A., & Handel, S. N. (1986). Floral evolution: Attractiveness to pollinators increases male fitness. *Science*, *232*(4758), 1625–1627. https://doi.org/10.1126/science.232.4758.1625

Stephenson, A. G. (1981). Flower and Fruit Abortion: Proximate Causes and Ultimate Functions. *Annual Review of Ecology and Systematics*, *12*(1), 253–279. https://doi.org/10.1146/annurev.es.12.110181.001345

Suttle, K. B. (2003). Pollinators as mediators of top-down effects on plants. *Ecology Letters*, *6*(8), 688–694. https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2003.00490.x

Tamura, S., & Kudo, G. (2000). Wind pollination and insect pollination of two temperate willow species, Salix miyabeana and Salix sachalinensis. *Plant Ecology*, *147*(2), 185–192. https://doi.org/10.1023/A:1009870521175

Tébar Garau, F., Llorens García, L., & Gil Sánchez, L. (1997). Reproductive biology of "Helianthemum apennium" (L.) Mill. and "H. caput-felis" Boiss: (Cistaceae) from Mallorca (Balearic Island, Spain). *Acta Botánica Malacitana*, *22*, 53–63.

Tela Botanica. (n.d.). *<https://www.tela-botanica.org >, licence CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>*.

Terzo, M., Iserbyt, S., & Rasmont, P. (2007). Révision des Xylocopinae (Hymenoptera : Apidae) de France et de Belgique. *Annales de La Societe Entomologique de France*, *43*(4), 445–491.

https://doi.org/10.1080/00379271.2007.10697537

Thompson, H. M. (2003). Behavioural effects of pesticides in bees - Their potential for use in risk assessment. *Ecotoxicology*, *12*(1–4), 317–330. https://doi.org/10.1023/A:1022575315413

Toler, T. R., Evans, E. W., & Tepedino, V. J. (2005). Pan-trapping for bees (Hymenoptera: Apiformes) in Utah's West Desert: the importance of color diversity. *The Pan-Pacific Entomologist*, *81(3/4)*, 103–113.

Totland, Ö. (1996). Flower heliotropism in an alpine population of Ranunculus acris (Ranunculaceae): effects on flower temperature, insect visitation, and seed production. *American Journal of Botany*, *83*(4), 452–458. https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1996.tb12726.x

Tuell, J. K., & Isaacs, R. (2009). Elevated pan traps to monitor bees in flowering crop canopies. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *131*(1), 93–98. https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2009.00826.x

UICN France, FCBN, AFB, & MNHN. (2018a). *La Liste rouge des espèces menacées en France – Chapitre Flore vasculaire de France métropolitaine*.

UICN France, FCBN, AFB, & MNHN. (2018b). *La Liste rouge des espèces menacées en France – Chapitre Flore vasculaire de France métropolitaine*. 31.

Vaissière, B. (2005). Abeilles et Pollinisation. *Académie d'Agriculture de France*, 1–4.

Vrdoljak, S. M., & Samways, M. J. (2012). Optimising coloured pan traps to survey flower visiting insects. *Journal of Insect Conservation*, *16*(3), 345–354. https://doi.org/10.1007/s10841-011-9420-9

Waddington, K. D. (1979). Divergence in inflorescence height: An evolutionary response to pollinator fidelity. *Oecologia*, *40*, 43–50. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF00388809

Westphal, C., Bommarco, R., Carré, G., Lamborn, E., Morison, N., Petanidou, T., Otts, S. G., Roberts, S. P. M., Szentgyörgyi, H., Tscheulin, T., Vaissière, B. E., Woyciechowski, M., Biesmeijer, J. C., Kunin, W. E., Settele, J., & Steffan-Dewenter, I. (2008). Measuring Bee Diversity in Different European Habitats and Biogeographical Regions. *Ecological Monographs*, *78*(4), 653–671.

Whitehorn, P. R., O'Connor, S., Wackers, F. L., & Goulson, D. (2012). Neonicotinoid pesticide reduces bumble bee colony growth and queen production. *Science*, *336*(6079), 351–352. https://doi.org/10.1126/science.1215025

Willems, J., & Lahtinen, M. (1997). Impact of pollination and resource limitation on seed production in a border population of Spiranthes spiralis (Orchidaceae). *Acta Botanica Neerlandica*, *46*(4), 365–375.

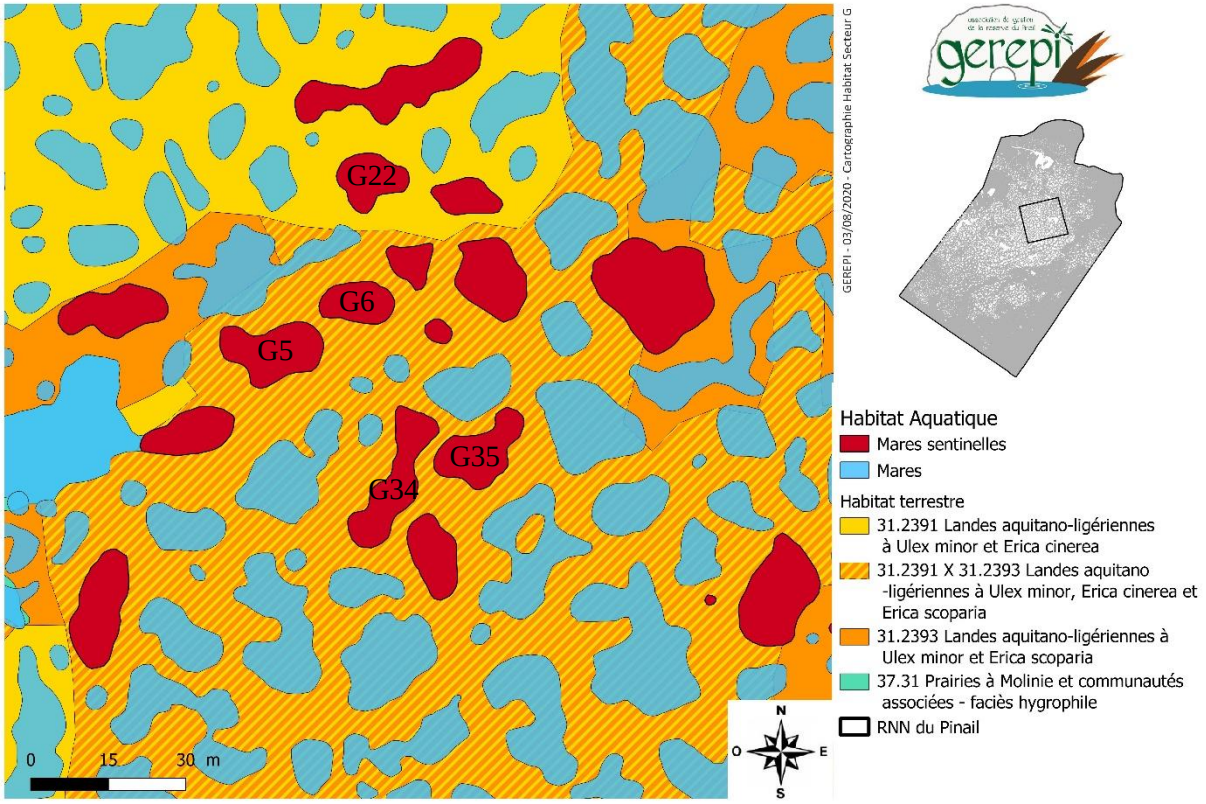
Wilson, J. S., Griswold, T., & Messinger, O. J. (2008). Sampling bee communities (Hymenoptera: Apiformes) in a desert landscape: Are pan traps sufficient? *Journal of the Kansas Entomological Society*, *81*(3), 288–300. https://doi.org/10.2317/JKES-802.06.1

Young, H. J. (2002). Diurnal and nocturnal pollination of Silene alba (Caryophyllaceae). *American Journal of Botany*, *89*(3), 433–440. https://doi.org/10.3732/ajb.89.3.433

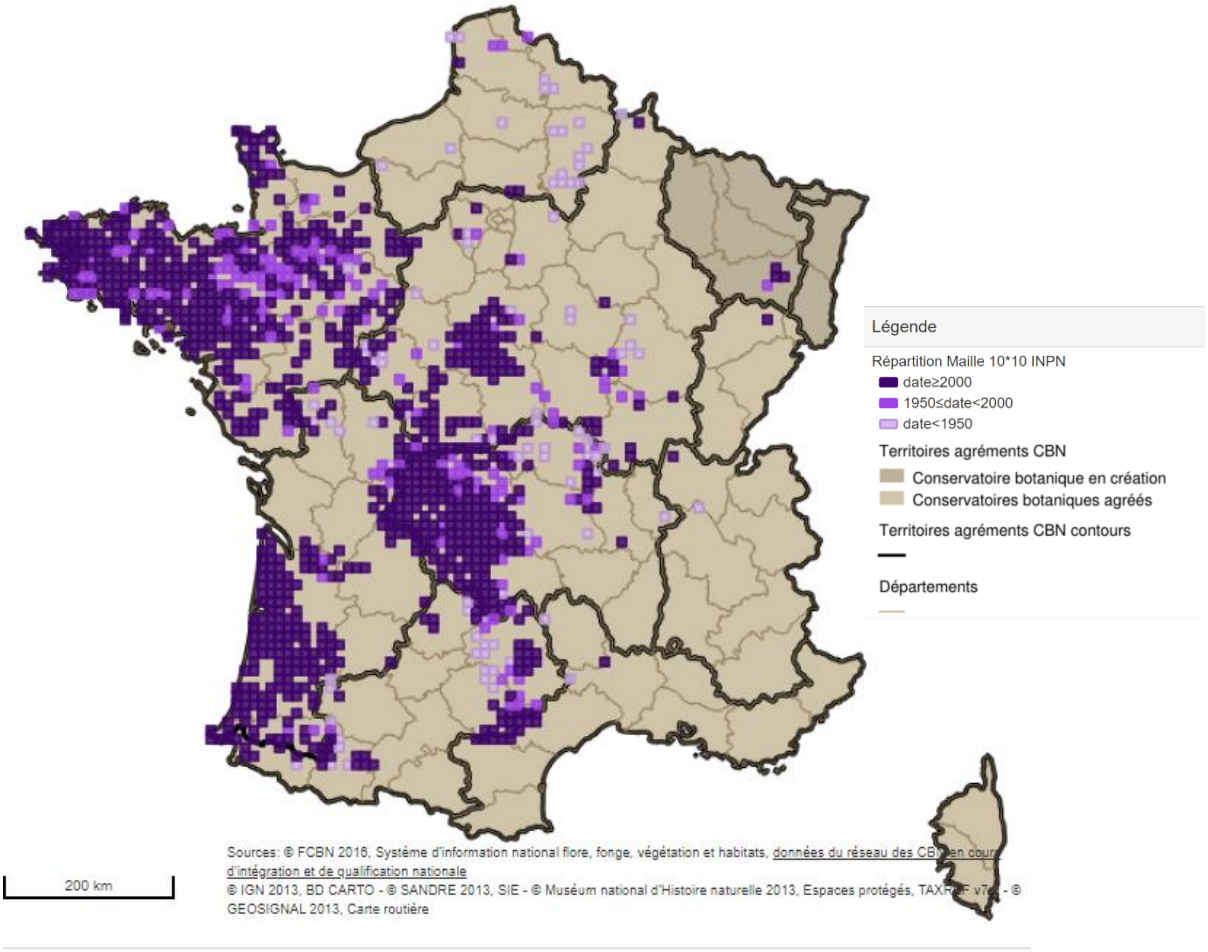
Zhang, Y. W., Robert, G. W., Wang, Y., & Guo, Y. H. (2007). Nectar robbing of a carpenter bee and its effects on the reproductive fitness of Glechoma longituba (Lamiaceae). *Plant Ecology*, *193*(1), 1–13. https://doi.org/10.1007/s11258-006-9244-y

Annexes

Annexe 1. Cartographie du milieu d'étude des interactions des *Hypericum elodes* et des pollinisateurs du Secteur géré par brûlis (secteur G)



Annexe 2. Cartographie de la distribution française d'*Hypericum elodes* © *SIflore, FCBN*

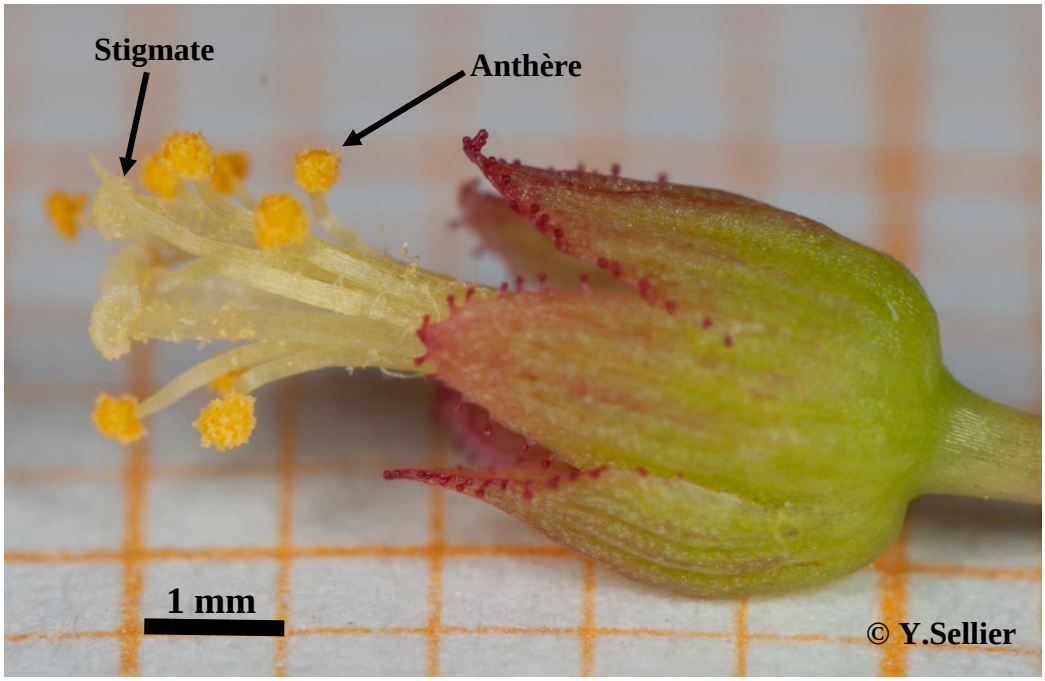


Annexe 3. Photographie du dispositif des coupelles colorées mis en place dans le cadre de l'étude de l'influence des modes de gestion sur les communautés de pollinisateurs

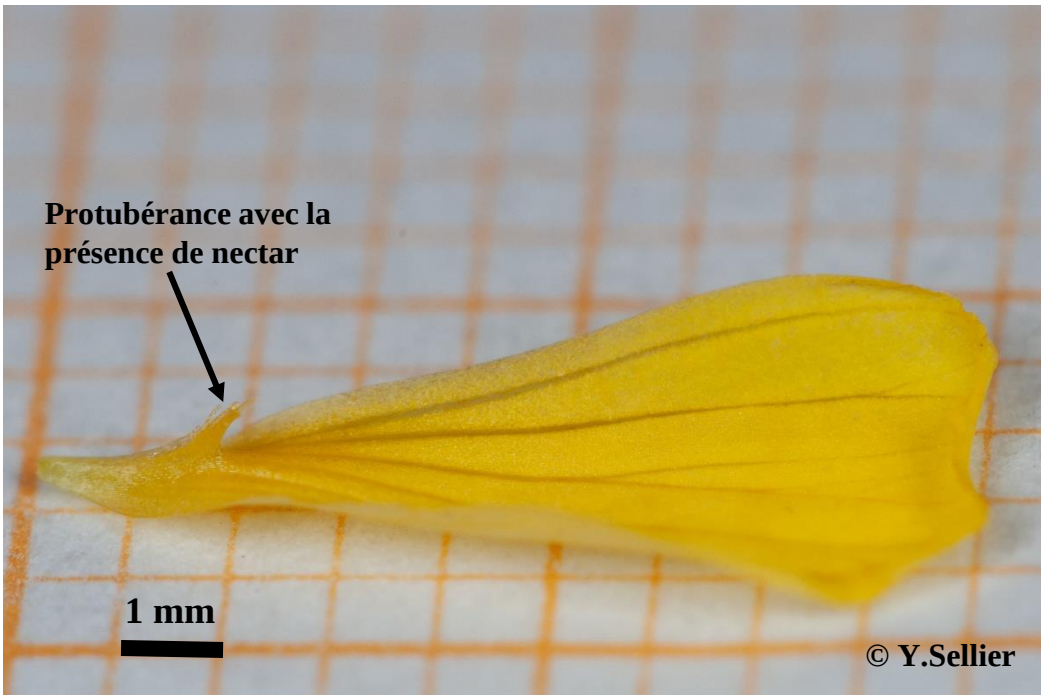
Annexe 4. Liste des espèces de pollinisateurs recensé sur la réserve par les méthodes de capture par coupelles colorées et par filet sur les différents modes de gestion : Pâturage (P), Brûlis (B), Fauche (F) et Non-intervention (Ni).

Ordre	Famille	Espèces	Mode de gestion
DIPTERA	Bombyliidae	Bombylius sp.	P, Ni
	Syrphidae	Eupeodes corollae	B
	Syrphidae	Melanostoma sp.	B
	Syrphidae	Pipiza sp.	F
	Syrphidae	Sphaerophoria scripta	P, B, F, Ni
	Syrphidae	Syritta pipiens	P
HYMENOPTERA	Andrenidae	Andrena ovatula	P
	Apidae	Apis mellifera	P, B, F, Ni
	Apidae	Bombus grp lapidarius	B, F, Ni
	Apidae	Bombus grp terrestris	P, B, F, Ni
	Apidae	Bombus lapidarius	B, F, Ni
	Apidae	Bombus lucorum	P, F
	Apidae	Bombus terrestris	Ni
	Apidae	Ceratina cucurbitana	P
	Apidae	Ceratina cyanea	Ni
	Apidae	Nomada zonata	F
	Colletidae	Hylaeus variegatus	P, B
	Halictidae	Halictus (Seladonia) tumulorum	P, F, Ni
	Halictidae	Lasioglossum albipes	P, Ni
	Halictidae	Lasioglossum curvinum	P
	Halictidae	Lasioglossum minutissimum	P, B, Ni
	Halictidae	Lasioglossum minutulum	P, Ni
	Halictidae	Lasioglossum morio	P
	Halictidae	Lasioglossum punctatissimum	B, F
	Halictidae	Lasioglossum zonulum	F
	Halictidae	Sphecodes longulus	Ni
	Halictidae	Sphecodes puncticeps	Ni
	Megachilidae	Anthidiellum strigatum	Ni
	Megachilidae	Coelioxys conoidea	P, B
	Megachilidae	Megachile centuncularis	B
	Megachilidae	Megachile maritima	P
	Megachilidae	Megachile pilidens	B

Annexe 5. Photographie des appareils reproducteur d'*Hypericum elodes*



Annexe 6. Photographie d'un pétale d'*Hypericum elodes* avec à sa base une protubérance portant le nectar



Résumé. L'amélioration des connaissances sur les interactions plantes-pollinisateurs contribue à mieux comprendre la dynamique des systèmes reproducteurs et permettre une meilleure prise en compte de ces interactions dans la gestion des milieux naturels. Dans cette étude menée sur la réserve naturelle du Pinail, l'impact de la pollinisation croisée sur le succès reproductif d'*Hypericum elodes* (Hypericaceae) et l'impact des modes de gestion (fauche, pâturage, brûlis et la non-intervention) sur les communautés de pollinisateurs ont été étudié. *Hypericum elodes* est une plante de milieux humides décrite comme compatible à l'autopollinisation mais aussi à la pollinisation croisée. Dans un premier temps, un protocole de contrôle des pollinisateurs a été mis en place sur des populations naturelles d'*Hypericum elodes* situées en bordure de mares afin de comprendre le rôle des pollinisateurs sur leur reproduction. Les résultats ont montré que la pollinisation croisée augmente le poids des capsules (fruits) mais que le poids des graines et le nombre de graines n'étaient pas significativement plus importants avec la présence de pollinisateurs. L'autopollinisation semble être le mode de reproduction le plus important chez cette espèce de plante. Le suivi phénologique a révélé que le milieu joue un rôle très important dans la reproduction de la plante, notamment sur le nombre de fleurs ouvertes, de fruits déhiscents et de fruits avortés. Dans un second temps, l'inventaire des pollinisateurs de la réserve a révélé que les modes de gestion ne semblaient pas impacter la richesse et la diversité des pollinisateurs.

Mots clés : *Hypericum elodes*, interaction plantes-pollinisateurs, pollinisation entomophile succès reproductif, modes de gestion

Abstract. Knowledge of plant-pollinator interactions can improve our understanding of the dynamics of reproductive systems and enable these interactions to improve the management of natural environments. In this study conducted on the Pinail nature reserve, the impact of cross-pollination on the reproductive success of *Hypericum elodes* (Hypericaceae) and the impact of management methods (mowing, grazing, burning and non-intervention) on pollinator communities were studied. Hypericum elodes is a wetland plant described as compatible with self-pollination as well as cross-pollination. We set up a a pollinator control protocol on natural populations of *Hypericum elodes* located at the edge of ponds in order to understand the role of pollinators on their reproduction. Our results showed that cross-pollination increases the weight of the capsules (fruits) but that the weight and number of the seeds were not significantly greater with the presence of pollinators. Self-pollination appears to be the most important mode of reproduction in this plant species. The phenological monitoring revealed that the environment plays a very important role in the reproduction of the plant, in particular on the number of open flowers, dehiscent fruits and aborted fruits. Secondly, the inventory of pollinators in the reserve revealed that the management methods did not seem to have a difference in the richness and diversity of pollinators.

Keyword : *Hypericum elodes*, plant-pollinator interaction, entomophilic pollination reproductive success, management methods