

UNIVERSITE DE MONS
FACULTE DES SCIENCES
LABORATOIRE DE ZOOLOGIE

**Conservation des interactions
entre *Vaccinium uliginosum* L.
et ses visiteurs**

Directeur de mémoire :
Dr. Ir. D. Michez

Mémoire de fin d'Etudes présenté par
Elise Brédat
en vue de l'obtention du grade de **Maitre**
en Sciences Biologiques

Année académique 2009-2010

Brédat, E., 2010. Conservation des interactions entre *Vaccinium uliginosum* L. et ses visiteurs. Mémoire de Master en Biologie des Organismes et Ecologie, Université de Mons, Mons 90 p.

Résumé : Les habitats subissant des perturbations anthropiques comme la fragmentation possèdent généralement une biodiversité plus faible que les habitats non perturbés. Les tourbières et les landes tourbeuses sont particulièrement touchées par le phénomène de la fragmentation. L'objectif de ce présent travail est de juger de l'impact de la fragmentation sur une plante de tourbière, *Vaccinium uliginosum*, sur ses visiteurs et sur le réseau d'interactions qu'ils forment ensemble. *Vaccinium uliginosum* L. est une plante rare en Belgique, caractéristique des milieux tourbeux et visitée par de nombreuses espèces d'insectes et plus particulièrement par les bourdons.

L'étude s'effectue sur dix stations de taille différente au plateau des Tailles en Belgique. Pour connaître l'impact de la fragmentation sur les visiteurs, la densité et la diversité des visiteurs est évaluée dans les dix stations simultanément. Pour estimer l'impact de la fragmentation sur les plantes, le succès reproducteur de *Vaccinium uliginosum* est évalué dans quatre populations de taille différente. Pour mettre en évidence une possible limitation du transfert de pollen, des pollinisations manuelles supplémentaires sont effectuées et comparées à la pollinisation naturelle par les insectes. La mise à graines est mesurée et comparée pour les deux modes de pollinisation. Enfin, l'estimation de la mobilité des visiteurs notamment par marquage de poudre et de pastille colorée, permet de déterminer si leur capacité de dispersion est suffisante pour que ceux-ci relient génétiquement les stations entre elles et favorise ainsi un réseau d'interactions entre les stations.

Nos résultats montrent qu'il existe une influence de la taille de la population sur l'effectif et la diversité des visiteurs de *Vaccinium uliginosum* contrairement à l'aspect éco-paysager qui n'en a pas. Par contre, la mise à graines ne varie pas en fonction de la taille des populations. L'allopollinisation manuelle supplémentaire n'augmente pas de manière significative le succès reproducteur de la plante. Il ne semble pas y avoir de flux de gènes entre les différentes stations étudiées. La mobilité des visiteurs est assez réduite et ne dépasse pas 500 mètres.

L'impact de la fragmentation sur le réseau d'interactions entre *Vaccinium uliginosum* et ses visiteurs est bien réel. L'impact de la fragmentation se fait surtout au détriment des visiteurs pour n'avoir que peu d'effets immédiats sur les plantes.

Mots-clés : *Vaccinium uliginosum* L., fragmentation, pollinisation, apiformes, densité, diversité, mobilité.

Remerciements

Je tiens à remercier par ces quelques lignes, toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration de ce travail.

Je remercie le Prof. Pierre Rasmont de m'avoir accueillie dans son service.

Je remercie tout particulièrement le Dr. Denis Michez de m'avoir guidée et conseillée pendant toute cette année. Je tiens également à le remercier pour ses idées originales et ses conseils avisés.

Je remercie le Dr. Stéphanie Iserbyt pour sa disponibilité, son soutien et toute l'aide apportée à l'élaboration de ce travail.

Je remercie le Prof. Anne-Laure Jacquemart, de l'Université catholique de Louvain pour m'avoir accueillie dans son laboratoire.

Je remercie les Dr. Fabienne Van Rossum et Caroline Meyer pour leur précieux concours apporté à la réalisation de cette étude.

Je remercie Aurée Helderweirt, Mathieu Quiniet, Arnaud Roelandt, Alban Chyzy, Thibaut Demeulmeester, Patrick Lhomme, Laurent Crépin, Thomas Lecocq, Jelle Devalez, Romain Moereman, Mathias Bouzin, Audrey Coppée, Dorothée Roalants, pour l'aide apportée sur le terrain.

Je remercie Maryse Vanderplanck et Mélanie Demeuldre pour leur aide, leur soutien et leur bonne humeur tout au long de cette année.

Je remercie la Région Wallonne de m'avoir autorisé l'accès à la réserve naturelle domaniale du Plateau des Tailles.

Je remercie le laboratoire de biologie marine pour m'avoir permis d'utiliser son microscope à fluorescence.

Que toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail sachent que je ne les oublie pas et que je les remercie.

Table des matières

1. INTRODUCTION	7
1.1. INTRODUCTION GENERALE	7
1.2. DESCRIPTION DE L'ESPECE ETUDIEE	8
1.2.1. Description de l'espèce	8
1.2.2. Distribution.....	8
1.2.3. Habitats	11
1.2.4. Reproduction et insectes pollinisateurs	12
1.2.5. Phénologie.....	13
1.3. LES TOURBIERES	14
1.3.1. Définition.....	14
1.3.2. Gestion et restauration des tourbières.....	15
1.4. LES INTERACTIONS PLANTES - VISITEURS	16
1.5. VISITEURS VERSUS POLLINISATEURS	19
1.6. CAPACITE DE DISPERSION.....	20
1.7. LA CONSERVATION DES ABEILLES	20
1.8. OBJECTIFS	22
2. MATERIEL ET METHODE	22
2.1. DESCRIPTION GENERALE	22
2.1.1. Localisation	22
2.1.2. Climat	23
2.1.3. Géologie	23
2.1.4. Pédologie.....	23
2.1.5. Végétation.....	24
2.2. SITES D'ETUDE	24
2.2.1. Choix des sites d'étude	24
2.2.2. Localisation des sites d'études	24
2.2.3. Descriptif des sites d'études	24
2.2.3.1. Site Sacrawé	25
2.2.3.2. Site Camping	26
2.2.3.3. Site Régné.....	27
2.2.3.4. Site Mochettes	27
2.2.3.5. Site Massotais.....	28
2.2.3.6. Site Robiefa	29
2.2.3.7. Site Nazieufa	30
2.2.3.8. Site Pisserotte 1	31
2.2.3.9. Sites Pisserotte 2 et 3	32
2.3. IMPACT DE LA FRAGMENTATION SUR LA COMMUNAUTE DES VISITEURS.....	36
2.3.1. Méthode d'estimation d'effectif d'une population.....	36
2.3.1.1. Acquisition des données	36
2.3.1.2. Analyse des données CMR	36
Méthode de Schnabel	36
Méthode de Schumacher et Eschmeyer	37
2.3.2. Relevés des rythmes d'activités des visiteurs.....	38
2.3.2.1. Acquisitions des données.....	38
2.3.2.2. Identification des spécimens.....	39
2.3.2.3. Analyse des données.....	39
2.4. IMPACT DE LA FRAGMENTATION SUR <i>VACCINIUM ULIGINOSUM</i>	40
2.4.1. Limitation du transfert de pollen	40
2.4.1.1. Acquisition des données	40
2.4.1.2. Analyse des données : production de graines	41
2.4.1.2.1. Estimation de la viabilité et méthode de comptage.....	41
2.4.1.2.2. Analyses statistiques pour les graines.....	42
2.5. POLLINISATEURS VERSUS VISITEURS	42
2.5.1. Acquisition des données.....	43

2.5.2. Analyse des données	43
2.6. IMPACT SUR LE RESEAU D'INTERACTION ENTRE <i>VACCINIUM ULIGINOSUM</i> ET SES VISITEURS.....	43
2.6.1. Estimation de la mobilité des visiteurs de <i>Vaccinium uliginosum</i> par la méthode CMR	43
2.6.2. Mesure de la mobilité des visiteurs et de la dispersion du pollen par l'utilisation de poudres fluorescentes.....	44
2.6.2.1. Acquisition des données	44
2.6.2.1.1. Mise en place des protocoles expérimentaux sur la mobilité des visiteurs	44
2.6.2.1.2. Expérience de dispersion du pollen et de mesure de la mobilité des visiteurs sur le terrain	47
2.6.2.2. Analyse des données.....	48
2.6.2.2.1. Modélisation de la dispersion de pollen	49
2.6.3. Ressources alternatives	50
2.6.3.1. Acquisition des données	51
3. RESULTATS.....	51
3.1. IMPACT DE LA FRAGMENTATION SUR LA COMMUNAUTE DES VISITEURS.....	51
3.1.1. Communauté des visiteurs	51
3.1.2. Méthode d'estimation de l'effectif d'une population.....	53
3.1.2.1. Résultats du marquage.....	53
3.1.2.2. Estimation de l'effectif des visiteurs de <i>Vaccinium uliginosum</i> pour les différentes stations étudiées.....	54
3.1.2.3. Estimation de la densité de population des visiteurs de <i>Vaccinium uliginosum</i>	55
3.1.3. Rythmes d'activités des visiteurs	55
3.2. IMPACT DE LA FRAGMENTATION SUR <i>VACCINIUM ULIGINOSUM</i>	59
3.2.1. Limitation du transfert de pollen.....	59
3.2.2. Effet du traitement et du site sur la mise à graines.....	59
3.3. POLLINISATEURS VERSUS VISITEURS	60
3.4. IMPACT SUR LE RESEAU D'INTERACTIONS ENTRE <i>VACCINIUM ULIGINOSUM</i> ET SES VISITEURS.....	61
3.4.1. Estimation de la mobilité des visiteurs de <i>Vaccinium uliginosum</i> par la méthode CMR	61
3.4.2. Mesure de la mobilité des visiteurs et de la dispersion du pollen	62
3.4.2.1. Protocoles expérimentaux sur la mobilité des visiteurs	62
3.4.2.2. Expérimentation sur le terrain.....	63
3.4.3. Les ressources alternatives.....	67
4. DISCUSSION	68
4.1. VISITEURS DE <i>VACCINIUM ULIGINOSUM</i>	68
4.2. IMPACT DE LA FRAGMENTATION SUR LES VISITEURS DE <i>VACCINIUM ULIGINOSUM</i>	68
4.2.1. Communauté des visiteurs.....	68
4.2.2. Diversité et densité des visiteurs.....	70
4.3. IMPACT DE LA FRAGMENTATION SUR LES PLANTES	72
4.4. POLLINISATEURS VERSUS VISITEURS	73
4.5. IMPACT DE LA FRAGMENTATION SUR LE RESEAU D'INTERACTION ENTRE <i>VACCINIUM ULIGINOSUM</i> ET SES VISITEURS	75
4.5.1. Mobilité des visiteurs et flux de gènes entre les populations de <i>Vaccinium uliginosum</i>	75
4.5.2. Réseaux d'interactions symétriques et asymétriques.....	77
4.6. PROPOSITION DE GESTION CONSERVATOIRE	77
5. CONCLUSION.....	78
6. PERSPECTIVES	78
7. BIBLIOGRAPHIE.....	79
8. ANNEXES	87
ANNEXE 1. FICHE TYPE DE RYTHME D'ACTIVITES.....	87
ANNEXE 2. RELEVÉ DES RYTHMES D'ACTIVITES ET EFFECTIF DES VISITEURS DE <i>VACCINIUM ULIGINOSUM</i> L. OBSERVÉS A LA EN DÉBUT DE FLORAISON	88
ANNEXE 3. ESPÈCES PRÉSENTES SUR LES POPULATIONS DE <i>VACCINIUM ULIGINOSUM</i> PRÉSENTES AU PLATEAU DES TAILLES.....	88
ANNEXE 4. QUANTITÉ DE POLLEN PRÉSENTÉ SUR LE CORPS DES VISITEURS DE <i>VACCINIUM ULIGINOSUM</i>	89

1. Introduction

1.1. Introduction générale

Le présent travail s'inscrit dans un projet de recherche financé par le fonds de la recherche fondamentale collective (FNRS/FRFC, N° 2.4.540.09 .F). Ce projet met en collaboration l'Université de Mons (UMONS) avec l'Université Catholique de Louvain (UCL, Louvain-la-Neuve) et le Jardin Botanique national de Belgique (Meise).

Ce projet, qui s'étale sur 4 ans, a pour but (1) d'identifier les facteurs clés qui permettront la persistance des populations d'espèces végétales entomophiles fragmentées rares ou en régression partageant un même habitat et (2) de confronter ces résultats avec la structure des communautés des principaux visiteurs. Quatre espèces de milieux tourbeux : *Comarum palustre* L., *Menianthes trifoliata* L., *Vaccinium oxycoccos* L. et *Vaccinium uliginosum* L. sont considérées dans le projet. Différents aspects de la conservation seront pris en compte en ce qui concerne les caractéristiques des populations végétales : la taille, le degré d'isolement et la qualité de l'habitat ainsi que la structure du paysage.

Les recherches s'orientent selon trois axes :

- i) caractériser les guildes de pollinisateurs (diversité, comportements, régimes alimentaires) ;
- ii) étudier les paramètres du succès reproducteur des plantes (biologie de la floraison, détermination du régime reproducteur, estimation des taux d'allogamie, dépression de consanguinité) ;
- iii) étudier la génétique des populations végétales (estimation des flux de gènes intra- et inter-populations par analyse de paternité).

Dans le présent travail, seule la myrtille de loup : *Vaccinium uliginosum* L. (Fig. 1) est étudiée. Les deux premiers axes de la recherche du projet FRFC évoqués plus haut seront développés dans le présent travail.

1.2. Description de l'espèce étudiée

1.2.1. Description de l'espèce

Vaccinium uliginosum L. fait partie de la famille des Ericaceae. Cette espèce comprend trois à cinq sous-espèces (Young, 1970 ; Hultén & Fries, 1986). La sous-espèce *microphyllum* Lange et la sous-espèce *uliginosum*, plus largement répandue, (Löve & Löve, 1975 ; Jacquemart, 1996).

Vaccinium uliginosum L. est un sous arbrisseau décadu et rhizomateux (Fig. 1a). Cette plante présente des rhizomes horizontaux. Les rameaux aériens peuvent monter jusqu'à 100 cm de haut. Les tiges sont glabres ou pubérulentes, de couleur brunâtre et à section arrondie (Fig. 1b). Les feuilles, petites, sont de forme obovale, entière, obtuse, glabre et montre une nervation réticulée. La plante présente, au sommet d'un rameau terminal non feuillé, un bourgeon qui produira des fleurs au printemps (Warning, 1908). L'inflorescence comprend de une à quatre fleurs disposées en racème (Fig. 1c). La fleur est tétra ou pentamère (symétrie axiale ou bilatérale). Le calice est formé par quatre à cinq sépales de forme obtuse. La corolle est urcéolée, globuleuse et pendante de couleur rose pale, blanche ou encore blanc verdâtre et qui mesure 4 à 5 mm de long et 2,5 à 4 mm de large. La fleur possède 8 à 10 étamines à déhiscence apicale. Le pollen sous forme de tétrade (Fig. 1e) présente un diamètre de 35,8 µm à 48,3 µm (Warner & Chinnappa, 1986 ; Jacquemart, 1993). Le style se place en dessous des anthères. Le fruit est une baie de couleur bleu-noirâtre (Fig. 1d). Il est comestible, riche en vitamine D et présente un goût sucré. Sa taille varie de 5 à 9 mm (Jacquemart, 1993b). Il contient un nombre moyen de graines viables de $12,5 \pm 11,2$ (Jacquemart, 1993b). Les graines présentent une coloration brun clair et une longueur de 1,3 à 1,7 mm (Fig. 1f).

1.2.2. Distribution

L'espèce s'étend de l'Islande au Japon et présente une distribution circumboréale (Jacquemart, 1996).

En Europe, elle se retrouve dans le nord de l'Europe, dans les Pyrénées en Espagne, dans le Caucase, en Bulgarie et dans les Apennins en Italie (Fig. 2 ; Jacquemart, 1996).

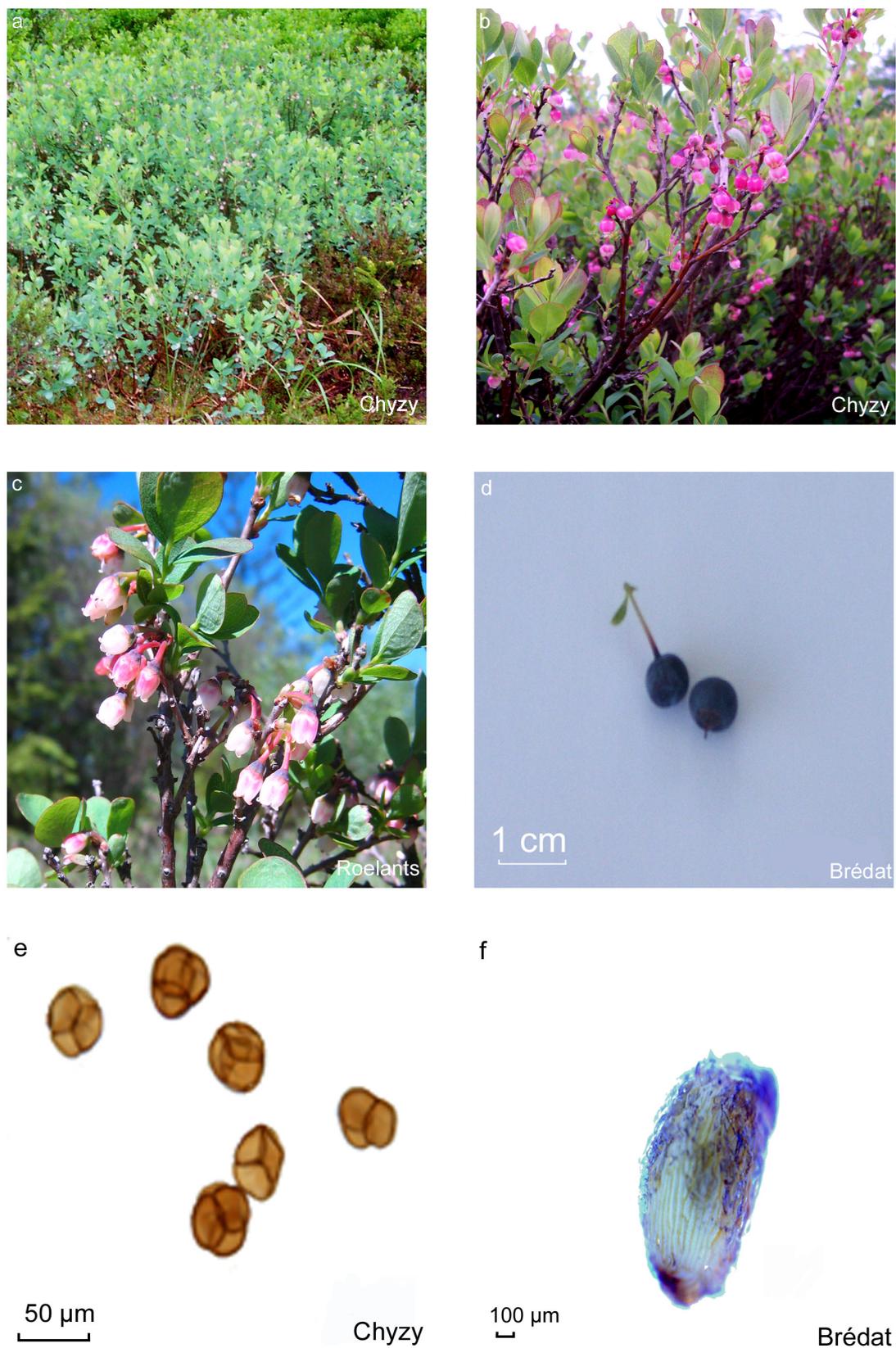


Figure 1. *Vaccinium uliginosum* L. -a, buisson. -b, tige. -c, fleurs. -d, fruit. -e, pollen. -f, graine.

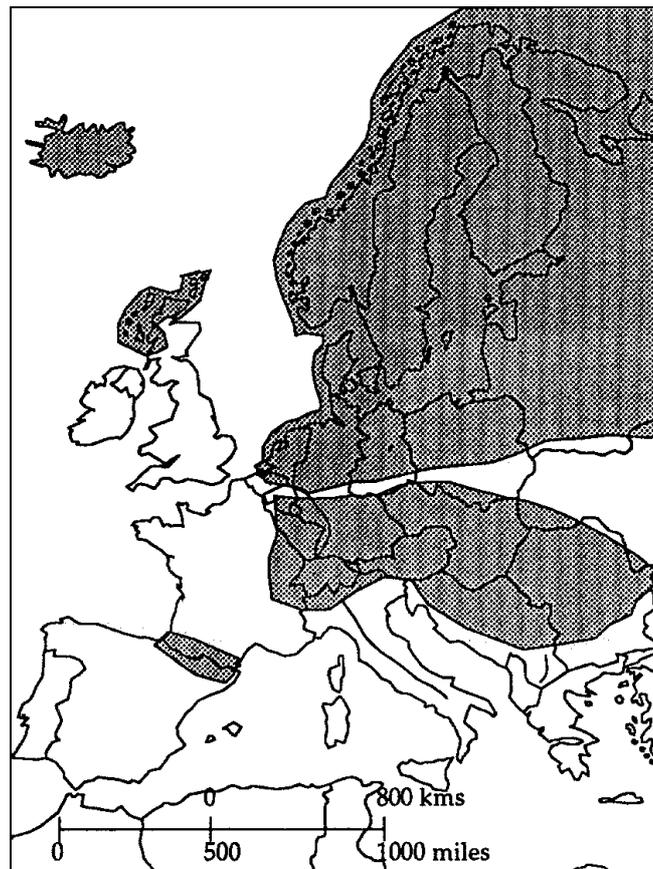


Figure 2. Distribution européenne de *Vaccinium uliginosum* selon Jacquemart (1996).

En Asie, elle s'étend de la Sibérie jusqu'au Japon et dans la chaîne de montagne de l'Altaï (Jacquemart, 1996).

Dans le nord de l'Amérique, nous la retrouvons sur les hauts plateaux de l'état de New-York, en Alaska et au Groenland. Sa distribution extrême nord atteint une latitude de 81°. Elle est donc présente aux latitudes et altitudes élevées et c'est pourquoi les botanistes la classent parmi les plantes boréo-montagnardes ou arctiques-alpines (Jacquemart, 1996). En altitude, l'espèce est présente jusqu'à 3100 m.

En Belgique, l'espèce n'est présente que dans les provinces du Luxembourg et de Liège sur les hauts plateaux Ardennais. Quelques populations de *Vaccinium uliginosum* sont également présentes dans la province du Limbourg (Fig. 3 ; Van Rompaey & Delvossale, 1979).

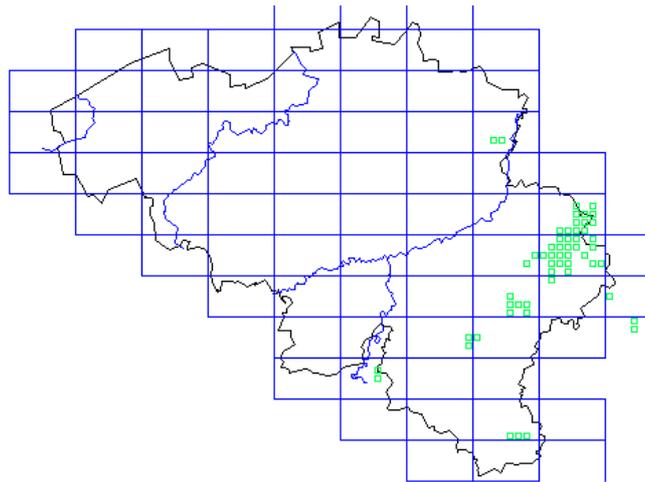


Figure 3. Distribution de *Vaccinium uliginosum* en Belgique (<http://biodiversite.wallonie.be>).

1.2.3. Habitats

Vaccinium uliginosum est une espèce pérenne et héliophile (Young, 1970 ; Hultén & Fries, 1986). Ses milieux de prédilection sont les sols acides gorgés d'eau, faiblement drainés. Un taux d'humidité élevé est nécessaire pour le bon déroulement de sa croissance (Jacquemart, 1996).

Vaccinium uliginosum se rencontre au sein de cinq types de communautés majeures qui sont :

- les marais ;
- les landes ;
- les forêts tourbeuses ;
- les landes montagneuses ;
- la toundra.

Tous ces milieux sont caractéristiques de sol acide et d'un humus de type moder ou mor.

La famille des Ericaceae est fort représentée sur ce type de sol. Nous retrouvons habituellement les espèces suivantes en Belgique : *Vaccinium uliginosum* L., *Vaccinium myrtillus* L., *Vaccinium oxycoccos* L., *Vaccinium vitis-idaea* L., *Calluna vulgaris* (L.) Hull, *Empetrum nigrum* L., *Andromeda polifolia* L. et *Erica tetralix* L. *Eriophorum vaginatum* L.(Cyperaceae), *Eriophorum angustifolium* Honck. (Cyperaceae), *Narthecium ossifragum* (L.) Huds. (Liliaceae), *Dactylorhiza maculata* (L.) Soó (Orchidaceae), *Dactylorhiza sphagnicola* Höppner. (Orchidaceae) ainsi que *Drosera rotundifolia* L. (Droseraceae) sont également des espèces présentes dans les milieux tourbeux (Natura 2000, espèces et habitats protégés, http://natura2000.wallonie.be/liste_habitat.html).

1.2.4. Reproduction et insectes pollinisateurs

La morphologie florale du *Vaccinium uliginosum* est adaptée à la pollinisation croisée par les insectes et plus particulièrement par les Apiformes qui la visitent pour la récolte de pollen et de nectar (Lundberg, 1974). L'autopollinisation par gravité est présente mais est très rare chez cette espèce. L'autopollinisation par les insectes ou la ginotopollinisation, qui résulte d'un transfert de pollen entre fleurs d'un même individu, contribue à la majorité des graines produites par autogamie (Jacquemart & Thompson, 1996). De nombreux auteurs citent les bourdons comme visiteurs principaux de *Vaccinium uliginosum* (Warning, 1908 ; Knuth, 1908 ; Lundberg, 1974 ; Teräs, 1985 ; Rasmont, 1988 ; Jacquemart, 1993, 1996 ; Chyzy, 2009) ainsi que les Syrphidae (Knuth, 1908 ; Jacquemart, 1993 ; Chyzy, 2009). En Belgique, 60 % des pollinisateurs de *V. uliginosum* sont des bourdons et plus particulièrement les reines de bourdons au vu de la phénologie printanière du *V. uliginosum* (Jacquemart, 1996 ; Chyzy, 2009). Les 40 % restant sont représentés par l'abeille domestique, des andrènes, des guêpes et des diptères de la famille des syrphidae (Jacquemart, 1996). Parmi la famille des Syrphidae, les principaux visiteurs se retrouvent parmi le genre *Eristalis*. Les *Rhingia* visitent également *V. uliginosum* mais en effectifs plus faibles.

En 2008 et 2009, Chyzy (2009) détermine, en Belgique sur le plateau des Tailles, la composition de la guildes des visiteurs de *V. uliginosum* en groupes taxonomiques opérationnels (Tab. 1). D'après Chyzy (2009), les principaux visiteurs de *V. uliginosum* au plateau des Tailles sont des bourdons (*Bombus*, 59,5%) et des mouches de la famille des syrphidae (*Rhingia*, *Volucella* et *Eristalis*, 38%). Les andrènes et les apis ne représentent que 3 % de l'effectif total des visiteurs. Dans son étude, Chyzy (2009) montre que la composition en visiteurs de différentes populations de *Vaccinium uliginosum* varie fortement d'une population à l'autre. Dans une des populations, il a observé jusqu'à 80 % de syrphidae et seulement 6 % de bourdons (Chyzy 2009).

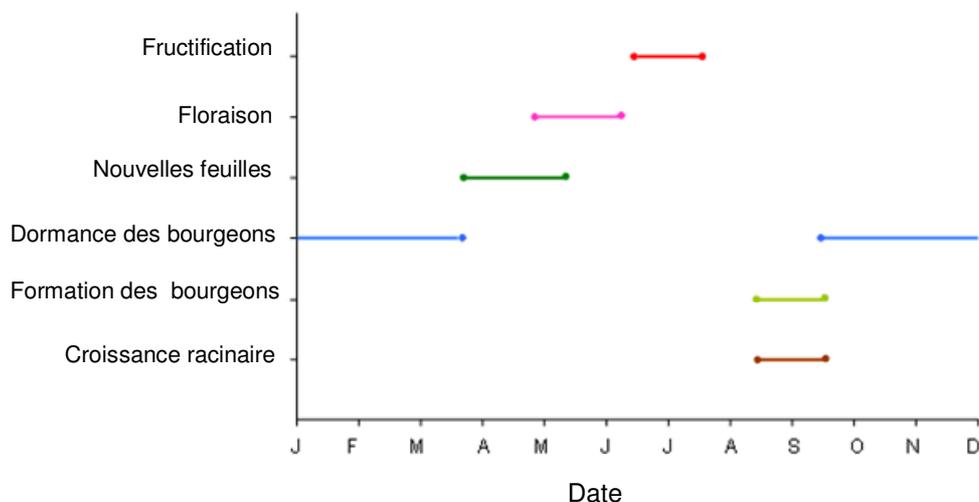
Vaccinium uliginosum est une espèce qui se répand par multiplication végétative grâce à des rhizomes horizontaux qui poussent latéralement à partir du rhizome principal. La multiplication végétative permet à un plant d'augmenter sa taille rapidement, facilement et de s'étendre latéralement dans l'espace. La persistance des populations de *V. uliginosum* résulte davantage de sa multiplication végétative bien plus que de la dispersion de ses graines (Jacquemart, 1996).

Tableau 1. Visiteurs de *Vaccinium uliginosum* L. au plateau des Tailles en 2008 et 2009 (Chyzy, 2009)

Ordre	Famille	Genre	Taxons	Effectifs 2008-2009 (%)	
Hymenoptera	Andrenidae	<i>Andrena</i>	GTO andrena	1,8 - 2,2	
Hymenoptera	Apidae	<i>Apis</i>	GTO Apis	2,1 - 0	
Hymenoptera	Apidae	<i>Bombus</i>	GTO Campestris	0 - 0,1	
Hymenoptera	Apidae		GTO Hortorum	1,8 - 6	
Hymenoptera	Apidae		GTO hypnorum	2,4 - 2,5	
Hymenoptera	Apidae		GTO lapidarius	7,6 - 10,3	
Hymenoptera	Apidae		GTO pascuorum	3,7 - 7,4	
Hymenoptera	Apidae		GTO pratorum	16,6 - 19,4	
Hymenoptera	Apidae		GTO terrestris	9,2 - 13	
Hymenoptera	Apidae		GTO Vestalis	0,5 - 0,8	
Diptera	Syrphidae		<i>Eristalis</i>	Eristalis	24,2 - 29,5
Diptera	Syrphidae		<i>Rhingia</i>	Rhingia	27,9 - 4,4
Diptera	Syrphidae	<i>Volucella</i>	Volucelle	2,6 - 4,4	

1.2.5. Phénologie

Le maximum de croissance racinaire a lieu fin août-début septembre (Fig. 4). Durant cette même période, des bourgeons floraux se développent (Fig. 4). Les bourgeons rentrent ensuite en dormance durant tout l'hiver et le début du printemps (Fig. 4). Les nouvelles feuilles se forment en avril-mai. La floraison se déroule à la fin du printemps voire au tout début de l'été (Figs 4, 5). La production des graines et la maturation des fruits a lieu 5 à 8 semaines après la période de floraison (Fig. 4 ; Jacquemart, 1993, 1996). Dans les Ardennes, la fructification a lieu en plein mois de juillet.

**Figure 4.** Phénologie de *Vaccinium uliginosum* selon Jacquemart (1996).

1.3. Les tourbières

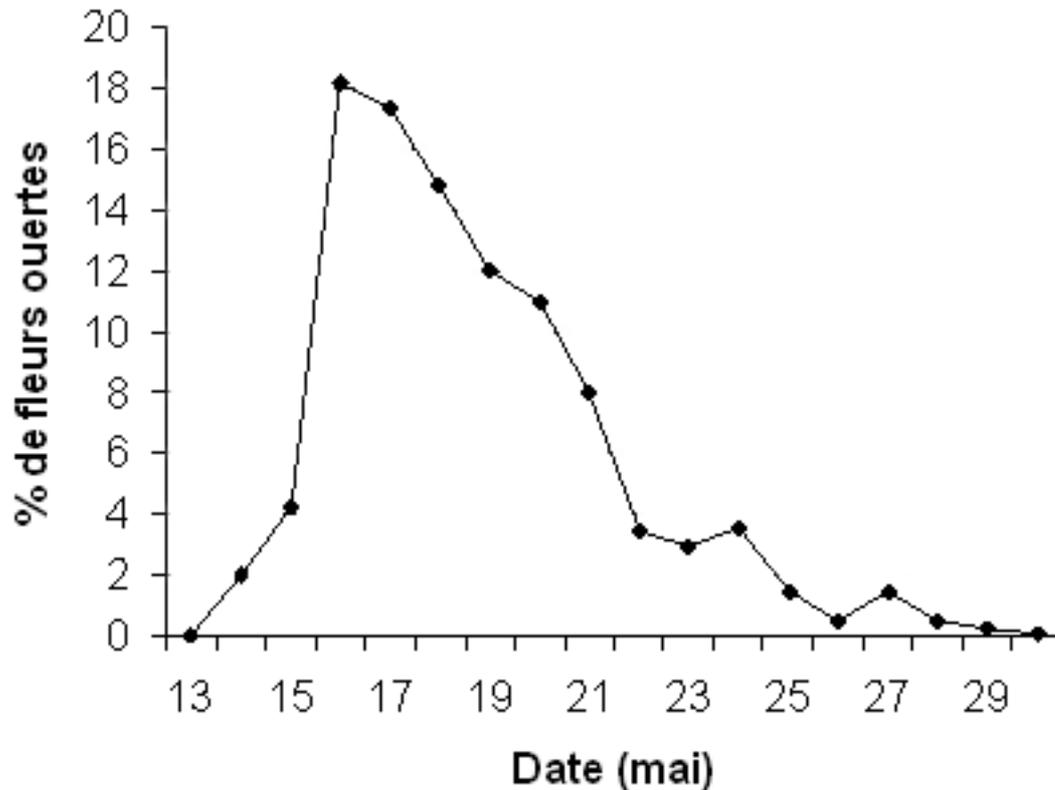


Figure 5. Floraison de *Vaccinium uliginosum* selon Jacquemart (1993).

1.3.1. Définition

Une tourbière est une zone humide qui se caractérise par l'accumulation de la tourbe. La tourbe est un substrat organique composé de débris végétaux morts en décomposition (NATURA 2000, espèces et habitats protégés, habitat 7140 http://natura2000.wallonie.be/liste_habitat.html ; typologie Corine : 51, 54). Lorsque la couche de tourbe atteint une épaisseur d'au moins 40 cm, l'habitat est défini comme une tourbière (Bournérias *et al.*, 2001 ; Payette & Rochefort, 2001). Une tourbière est également caractérisée par sa pauvreté en éléments nutritifs, du fait de l'absence de contact entre la tourbière et le substrat minéral.

Nous parlerons de milieux tourbeux lorsque l'épaisseur de la tourbe est de moins de 30 cm et de landes tourbeuses lorsque le sol est de composition sableuse (Bournérias *et al.*, 2001).

Un des facteurs importants pour la formation et le maintien des tourbières est l'eau. La présence d'eau en quantité suffisante est nécessaire à la formation et à la survie de la tourbière. Pour maintenir cet habitat, il est nécessaire qu'il soit constamment inondé ou gorgé d'eau. Lorsque la topologie et la géologie des régions tourbeuses permettent de retenir les eaux de pluie ou de ruissellement, les tourbières se maintiennent. Une évapotranspiration trop importante, le drainage ou l'assèchement des marais provoquent la destruction de la tourbière.

L'accumulation de matières organiques est également un des facteurs importants de la formation des tourbières. La production de cette matière organique est due aux végétaux des marais environnants. Ces végétaux sont principalement des spermatophytes et des bryophytes (Bournerias *et al.*, 2001). L'enfrichement mais surtout le boisement provoquent également de profonds changements des écosystèmes tourbeux.

1.3.2. Gestion et restauration des tourbières

La conservation des tourbières est très importante car celles-ci présentent un intérêt patrimonial considérable (Bournerias *et al.*, 2001). Les habitats tourbeux couvrent en général de petites surfaces. Néanmoins, leur superficie diminue du fait des activités humaines et aujourd'hui, ces habitats sont considérés comme des milieux relictuels et comme des habitats vestiges d'une époque climatique ancienne et froide (Rameau *et al.*, 2001).

Cet habitat présente une faune et une flore très variées avec notamment des organismes très spécialisés (Bournerias *et al.*, 2001). Deux espèces de papillons, typiques des tourbières, sont actuellement menacées en Belgique : le nacré de la canneberge (*Boloria aquilonaris* Stichel) et le fadet des tourbières (*Coenonymphia tullia* Müller). Plusieurs espèces de libellules y sont également présentes (NATURA 2000, Website ; espèces et habitats protégés, habitat 7140 http://natura2000.wallonie.be/liste_habitat.html ; typologie Corine : 51, 54). Les tourbières contiennent des plantes rares en Belgique telles : la camarine noire (*Empetrum nigrum* L.), la trientale (*Trientalis europaea* L.), la myrtille de loup (*Vaccinium uliginosum* L.) ainsi qu'une plante carnivore protégée en Belgique : le rossolis (*Drosera rotundifolia* L.).

Les tourbières de Belgique et de France sont actuellement menacées de dégradation irréversible voire de destruction totale (Bournerias *et al.*, 2001). Leur conservation s'avère difficile et longue à réaliser.

Des travaux de restauration et de gestion des tourbières sont actuellement entrepris :

- l'abattage des sapins permet de limiter le reboisement ;
- la création de mares permet de maintenir un bilan hydrique positif ;
- le bouchage des drains permet de remonter le niveau de la nappe phréatique et d'éviter l'envahissement des sites par la molinie ;
- les semis de certaines espèces végétales (bouleau, linaigrette vaginée, linaigrette à feuille étroite, sorbier des oiseleurs, saule, callune) permettent une recolonisation des espèces végétales caractéristiques de ces milieux ;
- le pâturage intensif permet d'éviter l'envahissement du site par les touradons de molinie et d'augmenter la réinstallation d'une plus grande biodiversité floristique (Projet Life, Plateau des Tailles,<http://biodiversite.wallonie.be/offh/LIFEPLTTAILLES/home.html>).

1.4. Les interactions plantes - visiteurs

Les apiformes (Hymenoptera, Apoidea) et autres insectes pollinisateurs sont essentiels pour la survie des Angiospermes. En effet, 80 % de ces espèces de plantes à fleurs dépendent des insectes pollinisateurs pour assurer leur reproduction (Buchmann & Nabhan, 1986).

Le comportement de recherche de nourriture par les insectes pollinisateurs permet une dispersion efficace du pollen et favorise ainsi la pollinisation allogame des plantes. La dispersion du pollen par les insectes permet de maintenir un flux de gènes et de favoriser un brassage génétique entre les différentes populations d'une même espèce (Campbell & Dooley, 1992). Ce type de pollinisation améliore la qualité de la reproduction et donc le succès reproducteur de la plante (Campbell & Dooley, 1992).

Les plantes sont également importantes pour le maintien de la faune pollinisatrice. Le nectar et le pollen fournis par les plantes représentent les seules ressources alimentaires disponibles pour les insectes floricoles dont les bourdons, l'abeille domestique, les abeilles solitaires et enfin les syrphidae. Les insectes pollinisateurs et les plantes sont donc liés et forment un réseau d'interactions indispensable à leur survie.

Bien que les pollinisateurs favorisent le transfert de pollen entre les différents individus d'une même espèce, cela rend les plantes et leurs pollinisateurs plus sensibles face aux problèmes que représentent la fragmentation des habitats et d'autres formes de perturbations telles que les pratiques de l'agriculture moderne (Bond, 1994 ; Renner, 1998 ; Spira, 2001 ; Aizen *et al.*, 2002).

La fragmentation des habitats est un processus de division ou de morcellement d'un habitat continu en un certain nombre de petites zones isolées (Noss *et al.*, 2006). La fragmentation provoque une diminution de la superficie des habitats, une augmentation de l'isolation des différents patches, ainsi qu'une réduction de la qualité des habitats (Fahrig, 2003).

Selon certaines études (Murcia, 1996 ; Kearns *et al.*, 1998 ; Aizen & Feinsinger, 2002), les insectes pollinisateurs sont très sensibles à la fragmentation écopaysagère. Celle-ci réduit les ressources alimentaires et affecte dès lors la composition (Biesmeijer, 2005 ; Zurbuchen *et al.*, 2009), l'abondance et le comportement de butinage des insectes pollinisateurs. Si les pollinisateurs délivrent une quantité ou une qualité (auto-pollen ou pollen provenant d'une autre espèce) inadéquate de pollen à chacune de leur visite, cela réduit le nombre de graines produites et dès lors affecte le succès reproducteur de la plante.

Lorsque le processus de fragmentation est intense, les habitats deviennent pareils à des îles. Les insectes ne voyagent plus entre les différents isolats, les habitats ne sont plus connectés et le flux de gènes s'interrompt (Ghazoul, 2005). Cela peut mener au final à l'extinction locale de la population végétale. Les scientifiques appellent ce phénomène « la limitation du transfert de pollen ».

La réduction du flux de gènes entre différents patches a pour conséquence d'augmenter la dérive génique (Ghazoul, 2005) et la consanguinité (Severns, 2003) au sein des petites populations morcelées. L'érosion génétique de ces populations provoque une perte de plasticité évolutive ce qui les rend plus sensibles face aux facteurs environnementaux, démographiques et génétiques (Goodman, 1987 ; Menges, 1991) et aux changements liés aux activités anthropogéniques.

Afin d'atténuer les effets néfastes de la limitation du transfert de pollen, la population végétale peut évoluer vers l'autogamie (Lloyd 1974, 1992 ; Maurice & Flemming, 1995) ou augmenter sa capacité à attirer les pollinisateurs pour favoriser sa reproduction sexuée (Ashman *et al.*, 2004).

Le réseau d'interaction peut également être perturbé par l'utilisation de pesticides et d'herbicides et par l'invasion des espèces animales et végétales exogènes (Kearns *et al.*, 1998). Tous ces changements perturbent ou interrompent le réseau d'interactions qui existe entre les plantes et leurs pollinisateurs. La réduction des angiospermes entraîne la raréfaction des insectes pollinisateurs qui, à leur tour, réduisent la quantité des plantes à fleurs formant ainsi un cercle vicieux.

L'impact de la fragmentation des habitats est aussi fonction de l'écologie des espèces. Certaines espèces résistent mieux que d'autres aux contraintes de la fragmentation. Les pollinisateurs spécialistes qui n'exploitent qu'un seul ou quelques taxons de plantes comme ressources alimentaires, souffriraient davantage des effets de la fragmentation que les pollinisateurs généralistes qui tirent leurs ressources d'un grand nombre d'espèces végétales (Kunnin, 1993 , Biesmeijer *et al.*, 2005).

En ce qui concerne les plantes, les espèces spécialistes, qui sont pollinisées par une ou quelques espèces taxonomiquement similaires, seraient plus sensibles aux effets de la fragmentation que les plantes généralistes qui sont pollinisées par un grand nombre d'espèces. La perte d'une seule espèce pollinisatrice pour les plantes spécialistes pourrait altérer le succès reproducteur de la plante (Bond, 1994 ; Aizen *et al.*, 2002). Cependant, d'après Vázquez & Simberloff (2002) et Aizen *et al.* (2002), il semble que le degré de spécialisation de la plante n'intervient pas dans le succès reproducteur de celle-ci lorsque l'habitat est perturbé. Pour expliquer cette affirmation, les concepts d'interactions symétriques et asymétriques doivent être abordés (Ashworth, 2004). Dans le cas d'une interaction symétrique, les plantes généralistes sont pollinisées par un grand nombre de pollinisateurs généralistes. Les plantes spécialistes sont pollinisées par un ou quelques taxons de pollinisateurs spécialistes. Lorsque l'habitat est perturbé, les plantes spécialistes sont fortement affectées par rapport aux plantes généralistes (Fig. 6a). Ces perturbations provoquent l'extinction des pollinisateurs spécialistes. Les plantes spécialistes se retrouvent dès lors sans pollinisateurs (Fig. 6a).

Dans le cas d'une interaction asymétrique, les plantes généralistes sont pollinisées par un grand nombre de pollinisateurs généralistes mais aussi spécialistes. Les plantes spécialistes sont pollinisées par un ou quelques taxons pollinisateurs généralistes. Dans le cas d'une perturbation de l'habitat, la fragmentation mène à l'extinction des pollinisateurs spécialistes (Fig. 6b). Les plantes spécialistes et généralistes ne perdent pas l'ensemble de leurs pollinisateurs généralistes et il n'y a pas échec sur la reproduction. L'effet de la fragmentation est donc plus mitigé. Dans la nature, les interactions les plus fréquentes sont de type asymétrique (Petanidou & Ellis, 1996 ; Bascompte *et al.*, 2003 ; Dupont *et al.*, 2003 ; Vasquez & Aizen, 2004).

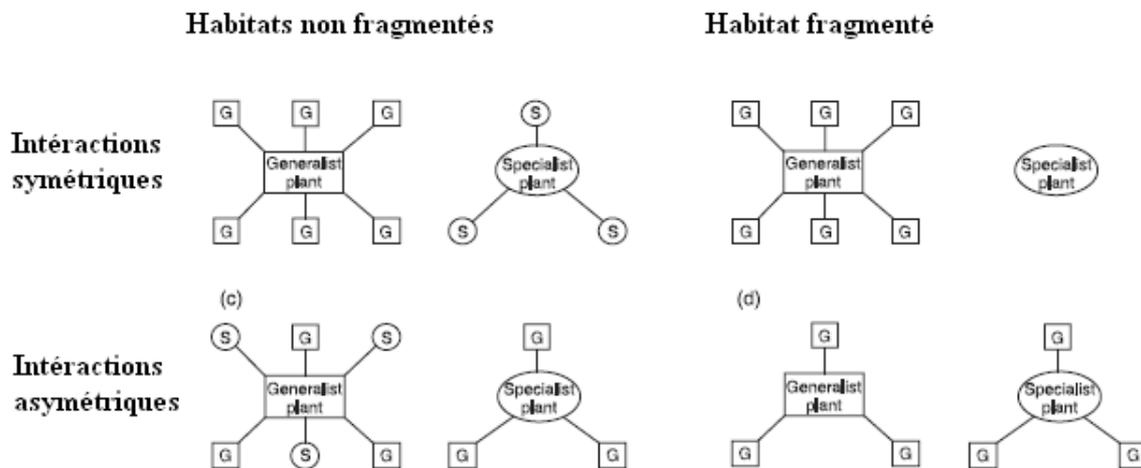


Figure 6. Impact de la fragmentation de l'habitat en fonction du réseau d'interactions (selon Ashworth, 2004). -A, Symétriques. -B, Asymétriques.

1.5. Visiteurs versus pollinisateurs

La pollinisation est le processus par lequel les grains de pollen quittent les anthères et sont transportés vers le stigmate (Dafni, 1992). La pollinisation est efficace lorsque le grain de pollen posé sur le stigmate émet un tube pollinique et qu'il y a fécondation de l'ovule. La graine qui en résulte est susceptible de produire un nouvel individu. La pollinisation a donc un rôle sur le succès reproducteur de la plante.

Comme pour Chyzy (2009), le terme visiteur est utilisé dans le présent travail à défaut de celui de pollinisateur. Un visiteur est un insecte qui visite une fleur d'une plante donnée. Beaucoup de visiteurs, même chargés de pollen conspécifique, ne sont pas forcément des pollinisateurs potentiels mais sont seulement à la recherche de nectar (Dafni, 1992).

Le succès d'un groupe d'insectes en tant que pollinisateurs peut être mis en rapport avec leur abondance. Les visiteurs les plus abondants sont parfois les pollinisateurs les plus importants pour une espèce végétale donnée (Jennersten & Morse, 1991 ; Aizen, 2001). Néanmoins, les visiteurs les plus abondants ne sont pas toujours les meilleurs pollinisateurs. Les visiteurs occasionnels peuvent être plus efficaces (Schemske & Horvitz, 1984). La quantité de pollen présente sur l'animal (Jennerston, 1984), le taux de visites florales (Primack & Silander, 1975) ainsi que le nombre de contacts avec le stigmate d'une fleur (Vicens & Bosch, 2000) sont trois éléments importants qui peuvent définir l'efficacité de la pollinisation.

La quantité de pollen présente sur le corps des visiteurs n'est pas non plus toujours synonyme de pollinisation efficace car les insectes peuvent ne pas délivrer beaucoup de pollen sur le stigmate (Fishbeing & Venable, 1996). Néanmoins, la quantité de pollen présente sur le corps des visiteurs est souvent considérée pour évaluer l'efficacité de la pollinisation d'une espèce végétale donnée (Herrera, 1987 ; Kudo & Kasagi, 2004).

1.6. Capacité de dispersion

La distance de recherche de nourriture des animaux influence fortement la dynamique des populations, la structure génétique et leur histoire évolutive (Greenleaf, 2007). Lorsqu'il s'agit de pollinisateurs, la distance de butinage ou la capacité de dispersion affecte également les organismes auxquels ils sont liés, dans ce cas ci, les plantes. La distance de butinage des apiformes influence fortement la reproduction sexuée de la plupart des angiospermes et peut déterminer la structure génétique des populations végétales (Campbell, 1985 ; Waser *et al.*, 1985).

Greenleaf *et al.* (2007) ont montré que la capacité de dispersion des apiformes augmente avec la taille du corps. Comme pour les apiformes en général, les espèces de bourdons de petite taille comme *Bombus pratorum* L. se dispersent moins loin (250m) que les espèces de plus grande taille comme *Bombus terrestris* L. (3000m, Westphal *et al.* 2006). L'explication de la relation qui existe entre la taille et la distance de butinage est encore débattue actuellement (Haskell *et al.*, 2002). Néanmoins, il a été démontré que le vol est plus efficace chez les animaux de plus grande taille en comparaison à ceux de plus petite taille (Harrisson & Roberts, 2000). Au vu de cette constatation, la dégradation du réseau d'interaction plantes-visiteurs devrait toucher davantage les visiteurs de petite taille que ceux de grande taille. La fragmentation des habitats qui réduit et isole les populations contraint les visiteurs à augmenter leur distance de butinage afin de trouver des ressources alimentaires en suffisance. Les petits insectes, moins mobiles, sont dans ce cas défavorisés par rapport aux insectes de grande taille, plus mobiles.

1.7. La conservation des abeilles

L'abondance et la diversité des insectes pollinisateurs, et plus particulièrement des abeilles au sens large du terme, déclinent fortement à travers le monde. En Europe, beaucoup d'espèces d'abeilles régressent et sont en voie d'extinction (Biesmeijer *et al.*, 2006).

Les scientifiques mentionnent la fragmentation des habitats due aux activités anthropiques (Williams, 1986 ; Foley *et al.*, 2005), le changement du climat (Parmesan *et al.*, 2003 ; Thomas *et al.*, 2004) ainsi que l'utilisation de produits chimiques en agriculture (Kevan, 1975 ; Foley *et al.*, 2005) comme causes de l'extinction massive des insectes pollinisateurs. L'utilisation intensive des pesticides et des herbicides réduit la quantité des ressources végétales disponibles dans les cultures et sur le bord des routes (Williams, 1986). Ils ont, de plus, un impact négatif sur les insectes pollinisateurs eux-mêmes lorsqu'ils ingèrent du pollen ou du nectar des plantes contaminées (Freemark & Boutin, 1995).

Le manque de sites de nidification est également mentionné pour expliquer la régression des espèces d'abeilles nidifiant dans le sol (Rasmont & Mersch, 1988).

Cependant, la cause principale de disparition des insectes pollinisateurs, et plus particulièrement des abeilles, est le manque de ressources disponibles. Le remplacement des cultures de légumineuses (sainfoin, luzerne, le trèfle incarnat) au profit d'espèces végétales à multiplication végétative désavantage fortement les insectes pollinisateurs car les espèces de plantes annuelles produisent une ressource alimentaire de basse qualité par rapport aux espèces vivaces (Corbet *et al.*, 1991). La fauche abusive des bords de routes et des talus ainsi qu'un apport excessif en azote dans nos sols affectent également les ressources florales disponibles. L'eutrophisation des milieux favorise les graminées et les orties au détriment des plantes à fleurs (Rasmont, 1994 ; Gadoum *et al.*, 2007).

La disparition des insectes pollinisateurs, et notamment des abeilles, implique des pertes économiques importantes. En effet, les insectes pollinisateurs contribuent à la reproduction sexuée des angiospermes. 84 % des récoltes en Europe servant à la consommation humaine dépendent directement des insectes pollinisateurs pour leur reproduction (Williams *et al.*, 1994 ; Matheson *et al.*, 1996). Un déficit de pollinisation suite au déclin des pollinisateurs peut avoir des effets néfastes sur les cultures destinées entre autres à l'alimentation humaine. La pollinisation par les insectes permet notamment la production des fruits et des légumes mais également des oléagineux. La valeur des services de pollinisation par les insectes a été évaluée au niveau mondial à 153 milliards d'euros pour l'année 2005.

Ceci représente 9,5 % de la valeur économique totale de la production alimentaire mondiale (Gallai *et al.*, 2008).

Notons encore que les pollinisateurs constituent un maillon essentiel de la chaîne alimentaire. Ainsi, la diminution des effectifs en insectes entraînera une diminution de l'abondance des oiseaux et des mammifères insectivores qui leur sont associés.

1.8. Objectifs

L'objectif du présent travail est de caractériser les interactions qui existent entre l'espèce *Vaccinium uliginosum* et ses visiteurs dans des populations de tailles différentes. Cette problématique est abordée du point de vue des visiteurs, de la ressource et de l'interaction à proprement parler.

Les quatre aspects suivants sont abordés:

1. Impact de la fragmentation des habitats sur la diversité et l'abondance des visiteurs de *Vaccinium uliginosum* ;
2. Impact de la fragmentation des habitats sur la productivité en graines des plantes.
3. Détermination des pollinisateurs de *Vaccinium uliginosum* parmi les visiteurs ;
4. Impact de la fragmentation sur le réseau d'interactions entre les visiteurs et *Vaccinium uliginosum*.

L'hypothèse de départ du présent travail est que la fragmentation a davantage de conséquences néfastes sur les visiteurs que sur l'espèce *Vaccinium uliginosum*.

2. Matériel et méthode

2.1. Description générale

2.1.1. Localisation

Le plateau des Tailles se situe à cheval entre la province de Liège et celle du Luxembourg dans les Ardennes belges. Les communes formant le plateau des Tailles sont les suivantes : Lierneux dans la province de Liège, Manhay, la Roche, Vielsalm, Gouvy et Houffalize, situées au centre et dans le sud dans la province du Luxembourg. L'altitude maximale du plateau est de 652 m et correspond au lieu-dit la Baraque de Fraiture, troisième sommet de Belgique après le signal de Botrange (694 m) et la Baraque Michel (674 m).

Trois axes routiers se croisent à proximité de la Baraque de Fraiture morcelant ainsi le paysage en de petites zones végétales (Fig. 7).

Le plateau des Tailles s'intègre dans le massif ardennais au même titre que le plateau des Hautes Fagnes, les Fagnes Spadoises, le Plateau Saint-Hubert ainsi que le massif de la Croix-Scaille.

2.1.2. Climat

Tous ces sommets sont caractérisés par un climat froid, une pluviosité importante et un taux d'humidité nettement élevé en toute saison. Ces caractéristiques sont favorables à la présence des tourbières (Jacquemart *et al.*, 2008).

La température moyenne annuelle est de seulement 6,5°C. La température tombe en dessous de zéro degré 120 jours par an. Les chutes de neige se produisent à partir de la mi-novembre jusque fin avril avec une épaisseur de neige pouvant aller jusqu'à 40 cm en moyenne (Jacquemart *et al.*, 2008).

Les précipitations sont très fréquentes avec une pluviosité moyenne annuelle de 1430 mm ce qui correspond plus ou moins à 198 jours de pluie par an. On n'enregistre que très rarement plus de 6 jours consécutifs sans pluie. Le taux d'humidité de l'air est très élevé avec des pourcentages oscillant de 65 à 100 % (Jacquemart *et al.*, 2008).

2.1.3. Géologie

La partie sud-ouest du socle géologique du massif de Stavelot représentée par le plateau des Tailles se répartit entre deux étages géologiques : le cambrien caractérisé par des roches salmiennes et le dévonien inférieur avec des roches gendinniennes. Le salmien comporte des phyllades, des quartzophyllades, de grès, de schistes, de coticules et d'ardennites. Les grès et les phyllades proviennent, dans l'ordre, de la transformation du sable et des argiles par une réaction physico-chimique lente des sédiments du cambro-ordovicien. Le Gendinnien comprend de l'arkose, du poudingue, du grès grossier, des phyllades, des schistes phylladeux, des schistes, des quartzophyllades, des quartzites et des conglomérats (Alexandre, 1957-58).

2.1.4. Pédologie

Les sols sont limoneux, à moitié argileux et à moitié caillouteux. Le sol est imperméable, pauvre en calcaire et en éléments minéraux, ce grâce à la présence d'argile blanche qui retient l'eau et accumule une quantité assez importante de tourbe formant ainsi les tourbières.

2.1.5. Végétation

L'espèce végétale majeure présente sur le plateau des Tailles est sans conteste l'Épicéa dont la couverture forestière représente jusqu'à 80 à 90 % des surfaces forestières (Dumont, 1975b). Le hêtre est la deuxième espèce forestière présente sur le plateau des Tailles. Les habitats modifiés par l'homme tels les prairies pâturées, les prairies de fauche ainsi que les landes sèches et humides se retrouvent disséminés au milieu de cette forêt formant les milieux ouverts. Au sein du paysage du plateau des Tailles, les tourbières représentent des habitats, secondaires, annexes.

2.2. Sites d'étude

2.2.1. Choix des sites d'étude

Vaccinium uliginosum est présent aux latitudes élevées. Les différents sites d'étude sont donc localisés en altitude et plus précisément sur les hauts plateaux de l'Ardenne.

Dans le cadre de cette étude, dix stations de taille différente sont prises en compte en 2010. Par ailleurs, quatre sites ont été étudiés trois années de suite en 2008, 2009 et 2010. Deux stations contenant des grandes populations de *Vaccinium uliginosum* et deux stations contenant des petites populations de *Vaccinium uliginosum*. Les six autres stations étudiées pour la seule année 2010 possèdent des superficies intermédiaires aux quatre premières.

2.2.2. Localisation des sites d'études

Les dix sites étudiés se situent dans la province du Luxembourg, dans la partie centrale du plateau des Tailles, à proximité de la Baraque de Fraiture (Fig. 7).

2.2.3. Descriptif des sites d'études

Pour chaque site, la localisation et la surface des populations de *Vaccinium uliginosum* sont relevées à l'aide d'un GPS (GPS Magellan sportrack pro). Les relevés phyto-sociologiques sont réalisés en suivant la méthode de Braun-Blanquet. La cartographie de chacun des sites est réalisée à l'aide du logiciel MapInfo professionnel version 5.5. Le géoréférencage de la photographie aérienne en dms (degrés, minutes, secondes) WGS84 (Goole Earth, <http://earth.google.com/intl/fr/>) et la photo interprétation sur base d'une reconnaissance sur le terrain en mai 2010 des différentes occupations des sols sont réalisées à l'aide de ce logiciel (Fig. 8).



Figure 7. Localisation des différents sites de *Vaccinium uliginosum*

2.2.3.1. Site Sacrawé

Localisation : Belgique, Luxembourg, Bihain, réserve du Sacrawé (Fig. 8a), coordonnées : WGS84 50°14'40'' N 5°45'32''E, altitude de 600 m.

Superficie des populations de *Vaccinium uliginosum* : 17980 m²

Descriptif général (Tab. 2) : la réserve naturelle domaniale du Sacrawé se situe à l'ouest du village de Bihain au centre du plateau des Tailles. Cette réserve, propriété de la Région Wallonne, est constituée de zones de landes tourbeuses et minérales avec présence de genêt à balais (*Cytisus scorparius*) et de Sorbier des Oiseleurs (*Sorbus aucuparia*).

Tableau 2. Relevé phyto-sociologique du site Sacrawé

Espèces	Coefficient d'abondance
<i>Sphagnum</i> sp. L.	5
<i>Molinia caerulea</i> L.	3
<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	3
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	3
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	3
<i>Vaccinium uliginosum</i> L.	3
<i>Calluna vulgaris</i> Hull	2
<i>Cytisus scorparius</i> (L.) Link	2
<i>Erica tetralix</i> L.	2
<i>Eriophorum angustifolium</i> Honck	2
<i>Eriophorum vaginatum</i> L.	2

(suite)	Coefficient d'abondance
<i>Nartheceum ossifragum</i> (L.) Huds	2
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst	2
<i>Vaccinium oxycoccos</i> L.	2
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	2
<i>Andromeda polifolia</i> L.	1
<i>Carex</i> sp. L.	1
<i>Digitalis purpurea</i> L.	1
<i>Genista anglica</i> L.	1
<i>Lathyrus</i> sp.	1
<i>Trifolium pratense</i> L.	1
<i>Dactylorhiza sphagnicola</i> Höppner	+
<i>Rubus</i> sp. L.	+

2.2.3.2. Site Camping

Localisation : Belgique, Luxembourg, Vielsalm, le Massotais (Fig. 8b), coordonnées : WGS84 50°14'40''N 5°46'40''E, altitude de 602 m.

Superficie des populations de *Vaccinium uliginosum* : 97,02 m²

Descriptif général (Tab. 3) : le site Camping est inclus au sein de la réserve Sacrawé. Cette station est constituée d'un palse. Les palses sont des dépressions éparses en forme de cuvettes circulaires et d'un diamètre de minimum 2 mètres allant jusqu'à quelques dizaines de mètres. Autrement dit, le palse est constitué de végétation flottante. En dessous de cette végétation se trouve une cuvette remplie d'eau. Aux alentours du palse, un bourrelet de terre se forme. La végétation de ce bourrelet est différente de la végétation du palse et comprend de la bruyère ou de la callune. La station est entourée d'Épicéa communs et de quelques sorbiers des oiseleurs et est donc un milieu fermé.

Tableau 3. Relevé phyto-sociologique du site Camping

Espèces	Coefficient d'abondance
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst	5
<i>Sphagnum</i> sp L.	3
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	2
<i>Vaccinium uliginosum</i> L.	2
<i>Calluna vulgaris</i> Hull	1
<i>Eriophorum vaginatum</i> L.	1
<i>Andromeda polifolia</i> L.	+
<i>Vaccinium oxycoccos</i> L.	+
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	+

2.2.3.3. Site Régné

Localisation : Belgique, Luxembourg, Bihain (Régné), réserve des Grandes Fanges (Fig. 8c), coordonnées : WGS 84 50°14'40''N 5°46'45''E, altitude de 557 m.

Superficie des populations de *Vaccinium uliginosum* : 81,3 m²

Descriptif général (Tab. 4) : le site Régné fait partie de la réserve naturelle domaniale du Sacrawé et se situe à l'ouest du village de Bihain au centre du plateau des Tailles. Cette réserve, propriété de la Région Wallonne, est constituée de zones de tourbières basses, de tourbières flottantes de bas marais, de landes tourbeuses. Le comaret (*Comarum palustre*), le trèfle d'eau (*Ménianthes trifoliata*) la narthécie (*Narthécium ossifragum*), la laiche velue (*Carex hirta*) ainsi que le jonc filiforme (*Juncus filiformis*) sont présents dans cette station.

Tableau 4. Relevé phyto-sociologique du site Régné

Espèces	Coefficient d'abondance
<i>Molinia caerulea</i> L.	4
<i>Salix</i> sp L.	3
<i>Calluna vulgaris</i> Hull	2
<i>Sphagnum</i> sp L.	2
<i>Cytisus scorparius</i> (L.) Link	1
<i>Juncus</i> sp L.	1
<i>Narthécium ossifragum</i> (L.) Huds	1
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst	1
<i>Ranunculus acris</i> L.	1
<i>Ranunculus repens</i> L.	1
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	1
<i>Vaccinium uliginosum</i> L.	1
<i>Anemone</i> sp L.	+
<i>Bellis perennis</i> L.	+
<i>Comarum palustre</i> L.	+
<i>Crataegus monogyna</i> Jacq	+
<i>Luzula</i> sp DC.	+
<i>Menyanthes trifoliata</i> L.	+
<i>Polygonum bistorta</i> L.	+
<i>Rubus</i> sp L.	+
<i>Rumex</i> sp L.	+
<i>Taraxacum vulgare</i> Lamarck	+
<i>Veronica</i> sp L.	+

2.2.3.4. Sites Mochettes

Localisation : Belgique, Luxembourg, La-Roche-en-Ardenne (Samrée), la Fange aux Mochettes (Fig. 8d), coordonnées : WGS 84 50°13'22''N 5°40'54''E, altitude de 602 m.

Superficie des populations de *Vaccinium uliginosum* : 6917 m²

Descriptif général (Tab. 5) : le site Mochettes fait partie de la réserve naturelle domaniale de la Fange aux Mochettes qui se situe à l'ouest du village de Samrée. La Fange aux Mochettes est une propriété de la Région Wallonne. Sa superficie est de 77 hectares. Elle est constituée d'une tourbière haute et présente de nombreuses espèces rares telles que l'andromède (*Andromeda polifolia*), la canneberge (*Vaccinium oxycoccos*), l'airelle (*Vaccinium vitis-idaea*), la linaigrette vaginée (*Eriophorum vaginatum*), la bruyère quaternée (*Erica tetralix*). Une boulaie tourbeuse entoure la tourbière. L'horizon herbacé de cette boulaie est composé essentiellement de myrtille et la strate mucinale est composée de sphaigne qui couvre jusqu'à 70 % de sa surface (Jacquemart, 2001).

Tableau 5. Relevé phyto-sociologique du site Mochettes

Espèces	Coefficient d'abondance
<i>Sphagnum</i> sp. L.	5
<i>Molinia caerulea</i> L.	3
<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	3
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	3
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	3
<i>Vaccinium uliginosum</i> L.	3
<i>Calluna vulgaris</i> Hull	2
<i>Cytisus scoparia</i> (L.) Link	2
<i>Eriophorum angustifolium</i> Honck	2
<i>Eriophorum vaginatum</i> L.	2
<i>Narthecium ossifragum</i> (L.) Huds	2
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst	2
<i>Vaccinium oxycoccos</i> L.	2
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	2
<i>Andromeda polifolia</i> L.	1
<i>Carex</i> sp. L.	1
<i>Digitalis purpurea</i> L.	1
<i>Empetrum nigrum</i> L.	1
<i>Genista anglica</i> L.	1
<i>Lathyrus</i> sp.	1
<i>Trifolium pratense</i> L.	1
<i>Betula</i> sp. L.	+
<i>Dactylorhiza sphagnicola</i> Höppner	+
<i>Erica tetralix</i> L.	+
<i>Rubus</i> sp. L.	+

2.2.3.5. Site Massotais

Localisation : Belgique, Luxembourg, Houffalize, Massotais (Fig. 8e), coordonnées : WGS 84 50°14'13''N 5°45'34''E, altitude de 604 m.

Superficie des populations de *Vaccinium uliginosum* : 719,15 m²

Descriptif général (Tab. 6) : la station Massotais fait partie de la réserve du même nom : Massotais. Cette réserve se situe au nord est du village des Tailles dans la commune d’Houffalize et s’étend sur environ 122 hectares. Ce site est reconnu comme réserve naturelle domaniale par la Région Wallonne. Cette fange comprend une tourbière haute avec la présence abondante de bruyère quaternée (*Erica tetralix*). De nombreux sorbiers sont également présents (*Sorbus aucuparia* L.).

Tableau 6. Relevé phytosociologique du site Massotais

Espèces	Coefficient d’abondance
<i>Sphagnum</i> sp. L.	4
<i>Molinia caerulea</i> L.	3
<i>Calluna vulgaris</i> Hull	2
<i>Erica tetralix</i> L.	2
<i>Ranunculus acris</i> L.	2
<i>Bellis perennis</i> L.	1
<i>Eriophorum angustifolium</i> Honck	1
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst	1
<i>Pteridium aquilium</i> (L.) Kuhn	1
<i>Rubus</i> sp. L.	1
<i>Salix cf capraea</i> L.	1
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	1
<i>Taraxacum vulgare</i> Lamarck	1
<i>Trifolium arvense</i> L.	1
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	1
<i>Vaccinium oxycoccos</i> L.	1
<i>Vaccinium uliginosum</i> L.	1
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	1
<i>Cardamine pratensis</i> L.	+
<i>Carex</i> sp. L.	+
Caryophyllaceae	+
<i>Dactylorhiza sphagnicola</i> Höppner	+
<i>Matricaria</i> sp. L.	+
<i>Myosotis arvensis</i> (L.) Hill	+
<i>Polygonum bistorta</i> L.	+
<i>Plantago lanceolata</i> L.	+
<i>Rumex</i> sp. L.	+
<i>Trifolium repens</i> L.	+

2.2.3.6. Site Robiefa

Localisation : Belgique, Luxembourg, Manhay (Odeigne), Robiefa (Fig. 8f), coordonnées : WGS 84 50°15’32’’N 5°41’59’’E, altitude de 545 m.

Superficie des populations de *Vaccinium uliginosum* : 235,6 m²

Descriptif général (Tab. 7) : cette station se situe à Odeigne dans la commune de Manhay. Ce site fait partie de la réserve du même nom : Robiefa. La réserve de Robiefa a été classée réserve naturelle domaniale par la Région Wallonne.

La superficie totale de la réserve est de 34 hectares. Elle se compose de zones de bas marais, de prés marécageux, de landes tourbeuses ainsi que de tourbières en pente. Le sorbier des oiseleurs ainsi que la fougère aigle y sont très présents. La réserve de Robiefa est enclose dans une matrice forestière de feuillus et d'épineux qui la sépare de la réserve Nazieufa.

Tableau 7. Relevé phytosociologique du site Robiefa

Espèces	Coefficient d'abondance
<i>Molinia caerulea</i> L.	4
<i>Sphagnum</i> sp. L.	4
<i>Calluna vulgaris</i> Hull	2
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst	2
<i>Erica tetralix</i> L.	1
<i>Eriophorum angustifolium</i> Honck.	1
<i>Pteridium aquilium</i> (L.) Kuhn	1
<i>Salix cf caprea</i> L.	1
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	1
<i>Vaccinium oxycoccos</i> L.	1
<i>Vaccinium uliginosum</i> L.	1
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	1
<i>Dactylorhiza sphagnicola</i> Höppner	+
<i>Pinus nigra</i> Arnold.	+
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	+
<i>Trientalis europaea</i> L.	+

2.2.3.7. Site Nazieufa

Localisation : Belgique, Luxembourg, Manhay (Odeigne), Nazieufa (Fig. 8g), coordonnées : WGS 84 50°15'18''N 5°43'00''E, altitude de 606 m.

Superficie des populations de *Vaccinium uliginosum* : 529,96 m²

Descriptif général (Tab. 8) : comme pour le site de Robiefa, Nazieufa se situe dans la commune de Manhay à Odeigne. Cette station fait partie de la réserve Nazieufa. Cette réserve est classée réserve naturelle domaniale par la Région Wallonne. Elle se caractérise par une lande tourbeuse envahie par la molinie. A l'instar de la réserve Robiefa, le site de Nazieufa est entouré d'une forêt d'épicéa. Le projet Life a mis en place un chantier pour ces deux stations dont le but a été de reconnecter les stations Nazieufa et Robiefa en abattant les épicéas qui les séparent.

Tableau 8. Relevé phytosociologique du site Nazieufa

Espèces	Coefficient d'abondance
<i>Sphagnum sp.</i> L.	4
<i>Molinia caerulea</i> L.	2
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	2
<i>Vaccinium uliginosum</i> L.	2
<i>Calluna vulgaris</i> Hull	1
<i>Cytisus scorparius</i> (L.) Link	1
<i>Eriophorum vaginatum</i> L.	1
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst	1
<i>Salix cf caprea</i> L.	1
<i>Dactylorhiza sphagnicola</i> Höppner	+
<i>Erica tetralix</i> L.	+
<i>Polygonum bistorta</i> L.	+
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	+
<i>Trientalis europaea</i> L.	+
<i>Vaccinium oxycoccos</i> L.	+
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	+

2.2.3.8. Site Pisserotte 1

Localisation : Belgique, Luxembourg, Bihain (Pisserotte), Bonnes Fanges (Fig. 8h), coordonnées : WGS 84 50°13'10''N 5°47'02''E, altitude de 572 m.

Superficie des populations de *Vaccinium uliginosum* : 393,75 m²

Descriptif général (Tab. 9) : la station Pisserotte 1 se localise au sein du hameau de Pisserotte à cheval entre la commune de Bihain et la commune de Montleban.

Ce site fait partie de la réserve de Bonnes Fanges. La réserve de Bonnes Fanges est classée réserve naturelle domaniale par la Région Wallonne. Avec la fange de Pisserotte, l'ensemble du site s'étend sur 144 hectares. La réserve est composée de tourbières basses, de landes tourbeuses riches en saules et enfin d'une lande minérale.

Tableau 9. Relevé phytosociologique du site Pisserotte 1

Espèces	Coefficient d'abondance
<i>Sphagnum</i> sp. L.	4
<i>Molinia caerulea</i> L.	3
<i>Calluna vulgaris</i> Hull	2
<i>Eriophorum angustifolium</i> Honck.	1
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst	1
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	1
<i>Vaccinium uliginosum</i> L.	1
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	1
Cariophyllaceae	+
<i>Dactylorhiza sphagnicola</i> Höppner	+
<i>Polygonum bistorta</i> L.	+
<i>Pinus nigra</i> Arnold	+
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	+
<i>Vaccinium oxycoccos</i> L.	+
<i>Viscia</i> sp. L.	+

2.2.3.9. Sites Pisserotte 2 et 3

Localisation Pisserotte 2 : Belgique, Luxembourg, Bihain (Pisserotte), Fange de Pisserotte (Fig. 8i), coordonnées : WGS 84 50°13'07''N 5°47'57''E, altitude de 563 m.

Superficie des populations de *Vaccinium uliginosum* : 27,3 m²

Localisation Pisserotte 3 : Belgique, Luxembourg, Bihain (Pisserotte), Fange de Pisserotte (Fig. 8i), coordonnées : WGS 84 50°13'12''N 5°47'53''E, altitude de 565 m.

Superficie des populations de *Vaccinium uliginosum* : 165,72 m²

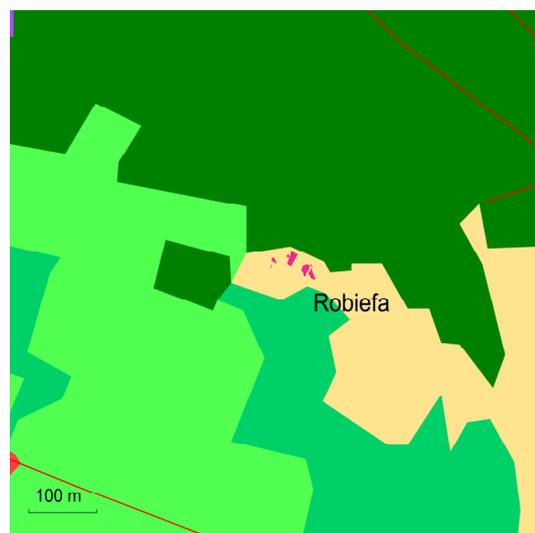
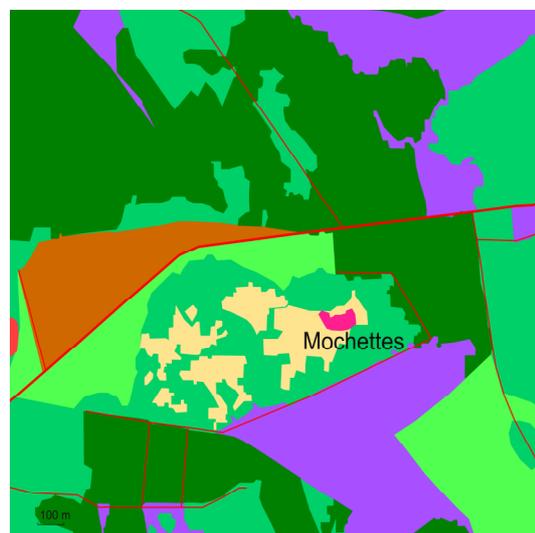
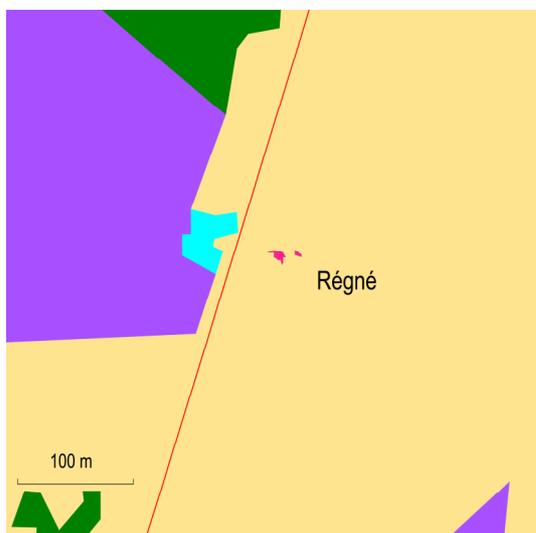
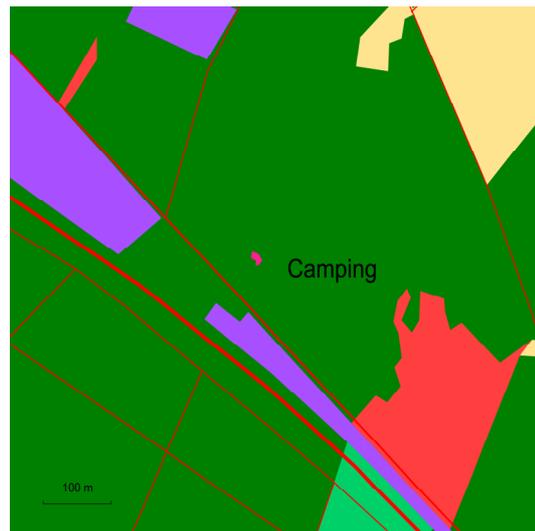
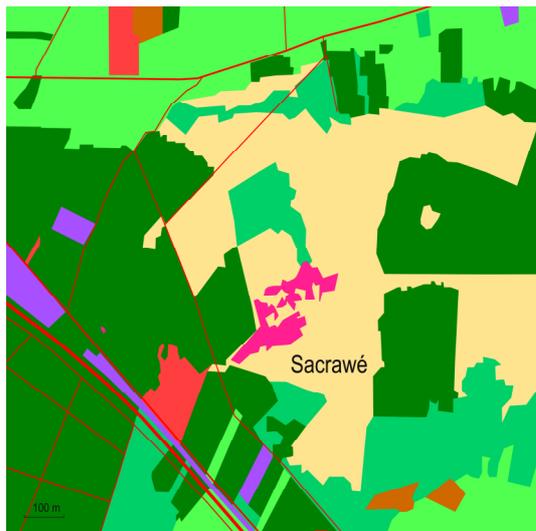
Descriptif général : les deux stations Pisserotte 2 (Tab. 10) et 3 (Tab. 11) se situent dans le village de Pisserotte entre la commune de Bihain et celle de Montleban. Ces stations représentent une petite partie de la réserve Pisserotte. La réserve Pisserotte est classée réserve naturelle domaniale par la Région Wallonne. Le site s'étend sur 144 hectares en comptant la réserve de Bonnes fanges. Il est composé de landes tourbeuses et de bas marais.

Tableau 10. Relevé phytosociologique de la station Pisserotte 2

Espèces	Coefficient d'abondance
<i>Molinia caerulea</i> L.	4
<i>Sphagnum</i> sp. L.	4
<i>Calluna vulgaris</i> Hull	2
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst	2
<i>Betula</i> sp. L.	1
<i>Eriophorum angustifolium</i> Honck.	1
<i>Pteridium aquilium</i> (L.) Kuhn	1
<i>Rubus</i> sp. L.	1
<i>Salix cf caprea</i> L.	1
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	1
<i>Vaccinium oxycoccos</i> L.	1
<i>Vaccinium uliginosum</i> L.	1
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	1
<i>Ajuga reptans</i> L.	+
<i>Dactylorhiza sphagnicola</i> Höppner	+
<i>Caryophyllaceae</i>	+
<i>Oenothera</i> sp. L.	+
<i>Polygonum bistorta</i> L.	+
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	+
<i>Veronica</i> sp. L.	+

Tableau11. Relevé phytosociologique de la station Pisserotte3

Espèces	Coefficient d'abondance
<i>Molinia caerulea</i> L.	4
<i>Sphagnum</i> sp. L.	4
<i>Calluna vulgaris</i> Hull	2
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst	2
<i>Salix cf caprea</i> L.	2
<i>Betula</i> sp. L.	1
<i>Eriophorum angustifolium</i> Honck.	1
<i>Pteridium aquilium</i> (L.) Kuhn	1
<i>Rubus</i> sp. L.	1
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	1
<i>Vaccinium oxycoccos</i> L.	1
<i>Vaccinium uliginosum</i> L.	1
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	1
<i>Ajuga reptans</i> L.	+
<i>Caryophyllaceae</i>	+
<i>Cytisus scoparia</i> (L.) Link	+
<i>Dactylorhiza sphagnicola</i> Höppner	+
<i>Polygonum bistorta</i> L.	+



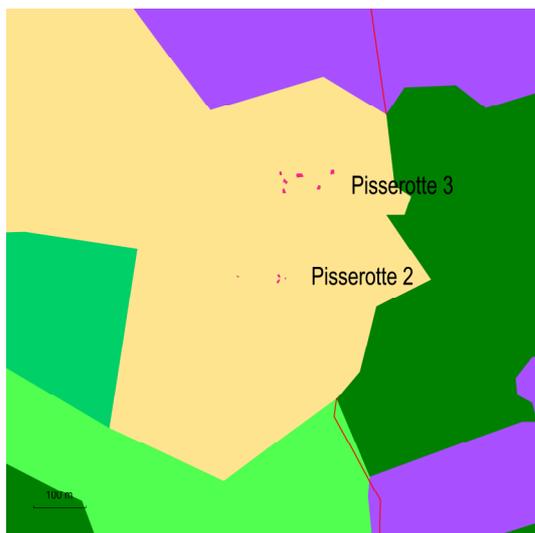
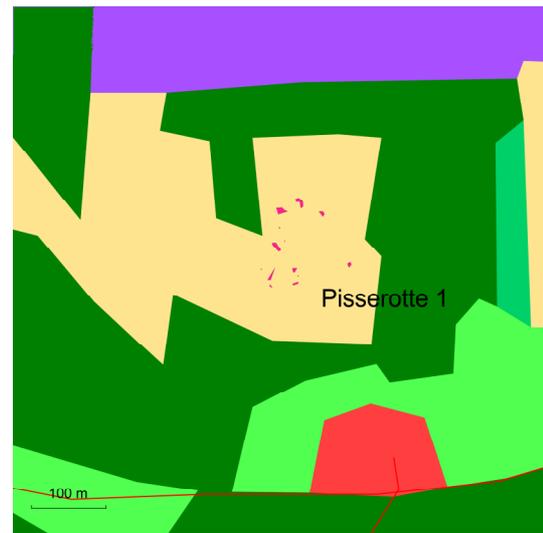
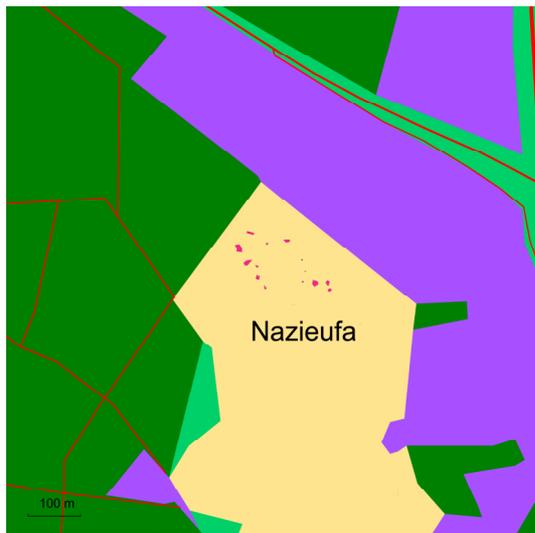


Figure 8. . Occupations des sols des différents sites étudiés. -a, Sacrawé. -b, Camping. -c, Régné. -d, Mochettes. -e, Massotais. -f, Robiefa. -g, Nazieufa. -h, Pisserotte 1. -i, Pisserotte 2 et Pisserotte 3. Le matériel ayant servi de base à ces cartes est une photo-aérienne issue de Google Earth. Le géoréférencage en degrés-minutes-secondes (WGS84) a été réalisé au moyen du logiciel MapInfo 5.5. le travail de photo-interprétation a été réalisé après une reconnaissance de terrain détaillée. Les couleurs utilisées pour caractériser les occupations des sols sont : en vert foncé, la sapinière ; en vert clair, la prairies ; en vert médian, la forêt de feuillu ; en mauve, coupe à blanc dans la sapinière ; en jaune, la fange ; en rose, la lande à *Vaccinium uliginosum* L. (les populations) ; en brun ; les cultures ; en rouge, la zone urbanisée ; en bleu, les mares. Les traits rouges figurent les chemins et routes.

2.3. Impact de la fragmentation sur la communauté des visiteurs

2.3.1. Méthode d'estimation d'effectif d'une population

La méthode CMR, ou captures, marquages, recaptures, permet d'estimer la densité de la population des apoïdes mais également d'avoir une idée de la mobilité des visiteurs.

2.3.1.1. Acquisition des données

Les données proviennent des captures des visiteurs de *Vaccinium uliginosum* faites sur le plateau des tailles. Ces captures sont effectuées par moi-même entre le 19 et le 25 mai 2009. Elles sont réalisées à l'aide d'un filet à insectes. Seuls les bourdons sont marqués. Une fois capturés, les visiteurs sont placés et immobilisés dans un tube à contention et marqués à l'aide de pastilles numérotées et colorées. Ces pastilles sont apposées sur le thorax entre les tegulae du bourdon à l'aide d'un cure-dents et avec de la colle cyano-acrylique visqueuse sans odeur (Pattex gel). Une couleur de pastille est attribuée pour chacune des différentes stations. Chaque bourdon a ainsi son identification propre.

Pendant les sept jours d'étude, les bourdons sont ainsi collectés et marqués au sein des quatre stations sur une surface équivalente. Le temps de capture est de 20 minutes par station et la collecte s'effectue toujours aux mêmes heures afin d'éviter un biais d'échantillonnage du au rythme d'activités des bourdons qui varie au fil du jour.

Pour chaque capture, le numéro ainsi que la couleur de la pastille apposée sont notés. L'espèce du spécimen capturé est déterminée à vue ainsi que le sexe ou la caste de l'individu. L'heure est également relevée.

2.3.1.2. Analyse des données CMR

Méthode de Schnabel

Cette méthode est une extension de la méthode de Peterson avec plusieurs séries de marquage. Elle est utilisée pour calculer l'effectif d'une population fermée. C'est à dire que l'effectif de la population est constant durant la période d'échantillonnage (Krebs, 1989). Les intervalles de confiance sont calculés en se basant sur les instructions de Krebs (1989).

$$N = \sum_{t=1}^s (C_t * M_t) / \sum_{t=1}^s (R_t)$$

Avec : -N est l'effectif estimé ;

- C_t est le nombre d'individus ;

- M_t nombre d'individus marqués au jour t-1 ;

- R_t nombre d'individus recapturés au jour t ;

- S nombre de jour d'étude ;

Conditions d'application :

- la population est fermée et l'effectif est constant durant la période d'échantillonnage ;
- les individus ont tous la même probabilité d'être capturés lors du premier échantillonnage ;
- le marquage n'a pas d'effet sur le comportement de l'individu ;
- les individus ne doivent pas perdre leur marquage entre deux échantillonnages ;
- tous les individus marqués sont susceptibles d'être recapturés lors des échantillonnages ultérieurs et donc la mortalité est considérée comme négligeable.

Méthode de Schumacher et Eschmeyer

Cette formule dérivée de la méthode de Schnabel est utilisée pour calculer l'effectif d'une population fermée dont cet effectif est variable. Autrement dit, certains individus apparaissent et disparaissent au cours du temps (Krebs, 1989). Elle est donc applicable pour calculer l'effectif d'une population ouverte. Les intervalles de confiance sont calculés en se basant sur les instructions de Krebs, 1989.

$$N = \sum_{t=1}^s (C_t \times M_t^2) / (\sum_{t=1}^s (R_t \times M_t))$$

Avec : -N est l'effectif estimé ;

- C_t est le nombre d'individus ;

- M_t nombre d'individus marqués au jour t-1 ;

- R_t nombre d'individus recapturés au jour t ;

-S nombre de jour d'étude ;

Conditions d'application :

- la population est fermée mais l'effectif n'est pas constant;
- les individus ont tous la même probabilité d'être capturés lors du premier échantillonnage ;
- le marquage n'a pas d'effet sur le comportement de l'individu ;
- les individus ne doivent pas perdre leur marquage entre deux échantillonnages;
- tous les individus marqués ne sont pas susceptibles d'être recapturés lors des échantillonnages ultérieurs.

2.3.2. Relevés des rythmes d'activités des visiteurs

2.3.2.1. Acquisitions des données

Les observations s'effectuent tout au long de la journée sur une même station. Ces observations visent à mettre en évidence l'activité des visiteurs au fil de la journée (Minckley *et al.*, 1994). Néanmoins, le but premier de cette étude est avant tout d'établir un lien entre la diversité spécifique et le nombre de visiteurs d'une part et la superficie des différentes stations étudiées d'autre part. Pour ce faire, toutes les heures, les visiteurs, apiformes et syrphidae, sont capturés à l'aide d'un filet à insectes pendant une période de 20 minutes. Une fois cette période écoulée, les visiteurs sont comptés et identifiés. La présence ou l'absence de pollen sur les pattes postérieures des abeilles femelles est également relevée. Les insectes sont ensuite relâchés. La capture des insectes apiformes s'opère au sein d'une parcelle de 10 m². En 2008 et 2009, quatre stations sont observées sur quatre jours différents (Chyzy, 2009). En 2010, deux journées d'observations sont effectuées dans dix stations : une en début et une deuxième à la mi-floraison. Malheureusement, dans chacun des deux relevés de 2010, une station n'a pu être examinée. En résumé, pour 2010, 9 stations sont examinées pour le premier relevé et 9 stations pour le deuxième (Tab. 12).

Les relevés de rythmes d'activités des années 2008 et 2009 effectués par Chyzy (2009) sont repris dans cette étude afin d'établir une comparaison pour les trois années 2008, 2009, 2010. Cette comparaison permet de suivre l'évolution de la communauté des visiteurs au cours du temps et ainsi de percevoir certains changements dus à la fragmentation des habitats ou autres causes de la disparition des abeilles. Au total, 298 heures de relevés de rythmes d'activités sont effectuées en comptabilisant les trois années 2008, 2009 et 2010.

Tableau 12. Calendrier des rythmes d'activités effectués dans les différentes stations du plateau des Tailles

Stations	23-29 mai 2008	19-22 mai 2009	25 mai 2010	4 juin 2010
Camping	X	X	-	X
Massotais	-	-	X	X
Mochettes	X	X	X	X
Nazieufa	-	-	X	-
Pisserotes 1	-	-	X	X
Pisserote 2	-	-	X	X
Pisserote 3	-	-	X	X
Régné	X	X	X	X
Robiefa	-	-	X	X
Sacrawé	X	X	X	X

2.3.2.2. Identification des spécimens

L'identification des spécimens vivants d'apoïdes récoltés sur le terrain n'est pas concevable. Même lorsque le spécimen est capturé, pour certains insectes, seule l'identification de la famille de l'insecte est possible. S'évertuer à identifier l'insecte au delà de la famille devient compliqué pour un biologiste n'ayant qu'une connaissance rudimentaire de la classification des abeilles, celles-ci étant en général de petite taille et peu colorées, excepté pour les bourdons (Terzo & Rasmont, 2007). Pour ces derniers, un phénomène d'homochromie est observé. Autrement dit, plusieurs espèces peuvent arborer une même coloration des poils par convergence chromatique régionale (Rasmont, 1988). Les espèces présentant une même coloration sont rassemblées au sein d'un même groupe. Ainsi, les 29 espèces de bourdons présentes en Belgique sont rassemblées en 9 groupes appelés groupes taxonomiques opérationnels ou GTO (Tab. 13). Sur le terrain, l'utilisation des GTO permet d'associer nos spécimens à un groupe d'espèces (Terzo & Rasmont, 2007). Un exemple de fiche de relevés de rythmes d'activités est joint en annexe 1.

Par ailleurs, lors de la deuxième série de rythmes d'activités, pendant la dernière demi-heure du relevé, les insectes apiformes sont capturés dans chacune des stations et tués à l'acétate d'éthyle. Ces prélèvements vont permettre de déterminer quelles espèces correspondent à chaque GTO au sein des différentes stations.

2.3.2.3. Analyse des données

Des régressions linéaires sont effectuées pour analyser les données concernant les relevés de rythmes d'activités. Cela afin de mettre en évidence une corrélation entre le nombre de GTO apiformes relevés ainsi que la somme totale des visiteurs apiformes tout au long de la journée par rapport au logarithme de la superficie des différentes populations de *Vaccinium uliginosum*. Les données obtenues en 2008, 2009 et 2010 pour les stations Camping, Sacrawé, Mochettes et Régné sont rassemblées dans une seule analyse de régression. Une régression est également effectuée uniquement sur les données de l'année 2010. Les données concernant la superficie des sites sont transformées en logarithme afin d'assurer l'Homoscédasticité de la variance (Dagnelie 1988).

Tableau 13. Robes des espèces de bourdons susceptibles d'être rencontrées en Belgique (Terzo & Rasmont, 2007)

GTO	Robes	Espèces associées
Campestris		<i>Bombus campestris</i>
Hortorum		<i>Bombus barbutellus*</i> , <i>B. hortorum</i> , <i>B. jonellus*</i>
Hypnorum		<i>Bombus hypnorum</i>
Lapidarius		<i>Bombus. cullumanus*</i> , <i>B. lapidarius</i> , <i>B. ruderarius*</i> , <i>B. rupestris</i> , <i>B. soroeeensis*</i> , <i>B. wurfleini*</i>
Masquée		<i>Bombus. sylvarum</i> , <i>B. veteranus</i>
Pascuorum		<i>Bombus humilis*</i> , <i>B. pascuorum</i>
Pratorum		<i>Bombus pratorum</i>
Terrestris		<i>Bombus cryptarum</i> , <i>B. lucorum</i> , <i>B. magnus*</i> , <i>B. terrestris</i>
Vestalis		<i>Bombus bohemicus</i> , <i>B. norvegicus*</i> , <i>B. sylvestris</i> , <i>B. vestalis</i>

*=espèces rares.

2.4. Impact de la fragmentation sur *Vaccinium uliginosum*

2.4.1. Limitation du transfert de pollen

Une expérience de supplémentation de pollen est effectuée dans les quatre stations Régné, Sacrawé, Mochettes et Camping sur les parcelles de *V. uliginosum* afin de détecter une possible limitation du transfert de pollen.

2.4.1.1. Acquisition des données

Au sein des grandes populations (Sacrawé et Mochettes), l'expérience est répétée sur 15 plantes. Au sein des petites populations (Régné et Camping), l'expérience est réalisée sur 10 plantes. Les plantes sont distantes d'au moins dix mètres pour les grandes populations et seulement de deux mètres pour les petites populations. Ceci est dû à la petite taille des populations Régné et Camping.

Pour chaque individu, une allopollinisation manuelle est effectuée sur 2 à 13 fleurs. Autrement dit, du pollen est prélevé d'une fleur d'une plante donneuse, située à minimum 1 mètre à l'aide d'un diapason. Ce diapason imite le bourdonnement des insectes butineurs et permet ainsi de récolter le pollen. Le pollen ainsi récolté est placé sur le stigmate de la fleur receveuse à l'aide d'un pinceau (allopollinisation supplémentaire). Sur le même individu, sur une autre branche, entre 2 et 12 fleurs sont marquées à l'aide d'un bout de laine ou de ruban adhésif. Ces fleurs témoins ne sont pas manipulées mais elles sont susceptibles d'être pollinisées par les insectes (pollinisation naturelle). Sur une autre plante, à deux mètres du premier individu, entre 2 et 15 fleurs sont marquées comme fleurs contrôles. A nouveau, elles ne sont pas manipulées mais susceptibles d'être pollinisées par les insectes (pollinisation naturelle contrôle). Lors de la fructification, les fruits sont récoltés et placés au congélateur jusqu'à maturation des graines. Les graines sont alors comptées pour chacun des fruits.

Cette expérience est menée afin de comparer le jeu de graines entre la pollinisation manuelle et la pollinisation naturelle par les insectes. Les fleurs témoins (pollinisation naturelle) sont marquées sur le même individu que les fleurs pollinisées manuellement mais également sur un individu situé deux mètres plus loin. Ceci afin d'éviter un biais concernant l'allocation des ressources : le jeu de graines des fleurs pollinisées manuellement peut être plus élevé sur la même plante car toutes les ressources physiologiques maternelles sont distribuées aux fleurs « convenablement pollinisées ». Néanmoins, la structure clonale de *Vaccinium uliginosum* ne nous permet pas d'affirmer avec certitude que la plante contrôle se trouve réellement sur un individu différent (Kephart, 2005).

2.4.1.2. Analyse des données : production de graines

2.4.1.2.1. Estimation de la viabilité et méthode de comptage

Avant de commencer à compter les graines contenues dans les fruits de *Vaccinium uliginosum*, 30 graines dites « viables » et 30 graines dites « avortées », sont sélectionnées à l'aide d'un binoculaire. Les graines sélectionnées sont mesurées et leur taille permettra de classer les graines en trois catégories : graines viables, graines avortées, graines non fécondées.

Le protocole de Kearns et Inouye (1993) est utilisé afin de mettre en évidence la viabilité des graines de *Vaccinium uliginosum*. Ce test se base sur la réduction du chlorure 2,3,5-triphényl-2H-tétrazolium en triphénylformazan par les déshydrogénases qui ont pour rôle la réduction de l'activité des tissus de la graine. Lors de cette réduction, une coloration rouge de l'embryon apparaît.

La préparation de la solution nécessite la dilution de 0,5447 g de KH_2PO_4 dans 60 ml d'eau et la dilution de 4,7504 g de Na_2HPO_4 dans 40 ml d'eau. Les deux solutions sont mélangées et le pH est relevé à l'aide d'un pHmètre afin de vérifier la neutralité de la solution. Suite à cette vérification, 0,1 g de poudre de tétrazolium sont ajoutés à la solution. Au final, nous obtenons une solution à 1 % de tétrazolium qui peut être diluée si besoin est. Pour la bonne réalisation du test au tétrazolium, une préparation des graines est nécessaire à la réussite de l'expérience. Pour ce faire, une coupe de la graine en deux parties égales, en passant par l'embryon, est réalisée. Pour faciliter leur coupe, les graines sont placées dans des boîtes de Pétri remplies d'eau distillée pendant 24 heures d'affilée. Une fois cette période écoulée, Les moitiés de graines sont déposées dans une boîte de Pétri contenant la solution au tétrazolium. L'immersion totale des graines est importante pour le bon déroulement de la réaction avec le tétrazolium. La boîte de Pétri est laissée à l'air libre pendant 24 heures. La coloration des graines est contrôlée au binoculaire après ce délai. Les graines colorées en rose rouge sont considérées comme des graines viables (Kearns & Inouye, 1993).

2.4.1.2.2. Analyses statistiques pour les graines

Des tests de Kruskal-Wallis sont réalisés afin de vérifier s'il existe une différence significative dans la mise à graines entre les différents modes de pollinisation, les différents sites et enfin, les individus. La mise à graines est le rapport entre le nombre de graines viables et le nombre total de graines par fruit.

Des tests d'analyse de la variance ainsi que des tests de Kruskal-Wallis permettent de mettre en évidence une différence significative dans la mise à graines entre les trois modes de pollinisation (allopollinisation supplémentaire, pollinisation naturelle et pollinisation naturelle contrôle)

2.5. Pollinisateurs versus visiteurs

Les syrphes, les bourdons, les abeilles domestiques ainsi que les andrènes qui sont tous des visiteurs de *V. uliginosum* sont capturés et tués instantanément. Le comptage des grains de pollen présents sur le corps des visiteurs permet de définir quel groupe porte le plus de pollen sur le corps. La quantité de pollen présente sur le corps est un indice d'efficacité de la pollinisation (Herrera 1987).

2.5.1. Acquisition des données

Sur le terrain, les visiteurs sont collectés un par un à l'aide d'un filet à insectes sur les populations de *V. uliginosum*. L'insecte est retiré du filet et placé dans un tube ependorf qui est fermé et plongé dans l'azote liquide. Une fois l'insecte plongé dans l'azote, les tubes sont ouverts à nouveau et placés dans un frigo box. L'azote liquide permet de tuer instantanément le visiteur afin de prévenir la perte ou la redistribution du pollen présent sur les pattes, partout sur le corps. Les insectes sont retirés de leur épendorf. Le pollen contenu au sein des pelotes risque de se répandre sur le corps du bourdon lorsque celui-ci est placé dans l'épendorf. Il est donc important de noter la présence ou l'absence de pelotes. Le corps du visiteur est frotté avec de la gélatine. Le pollen présent sur les corbeilles n'est pas disponible pour la pollinisation (Jacobs *et al.*, 2010), c'est pourquoi les pattes postérieures ne sont pas frottées avec le morceau de gélatine. La gélatine est placée sur une lame et fondue à la flamme d'une bougie. Une lamelle est placée sur la gélatine fondue. La présence de pollen de *Vaccinium spp.* est observée au microscope optique. Pour chaque lame, le nombre total de grains de pollen de *Vaccinium spp.* est compté. Le genre de l'insecte frotté ainsi que la présence ou l'absence de pelotes de pollen sont notés sur le côté dépoli de la lame.

2.5.2. Analyse des données

Des groupes de taxons correspondant au niveau générique sont formés. La médiane, le nombre de grains minimum et le nombre maximum sont notés pour chaque taxon. Des tests non paramétriques de Kruskal-Wallis sont réalisés afin de mettre en évidence des différences dans le nombre de grains présents sur le corps pour chaque groupe de visiteurs.

2.6. Impact sur le réseau d'interaction entre *Vaccinium uliginosum* et ses visiteurs

2.6.1. Estimation de la mobilité des visiteurs de *Vaccinium uliginosum* par la méthode CMR

Grâce aux pastilles colorées et numérotées placées sur le thorax des visiteurs lors de la méthode « Captures-Marquages-Recaptures », il est facile de visualiser leurs déplacements entre les populations. En effet, une couleur de pastille différente est attribuée pour chacune des stations. Lors de la recapture des insectes marqués, les changements de couleur sont ainsi mesurés.

2.6.2. Mesure de la mobilité des visiteurs et de la dispersion du pollen par l'utilisation de poudres fluorescentes

La mobilité des visiteurs de *Vaccinium uliginosum* est mesurée en utilisant une poudre fluorescente (Radiant Color Corp., Serie Radglo^a R). Cette poudre est considérée comme un analogue de pollen afin de mesurer la dispersion du pollen. Mais dans ce cas, la poudre permet de suivre et de mesurer les déplacements des visiteurs au sein et entre les différentes populations de *V. uliginosum*.

2.6.2.1. Acquisition des données

2.6.2.1.1. Mise en place des protocoles expérimentaux sur la mobilité des visiteurs

Ordinairement, l'expérience à l'aide de la poudre fluorescente est réalisée pour avoir une estimation de la dispersion du pollen d'une espèce végétale au sein d'un site d'étude (Van Rossum, 2009). Pour ce faire, la poudre est déposée sur les anthères des fleurs. Les insectes pollinisateurs se chargent de cette poudre et la convoient un peu plus loin. Dans le cadre de cette étude, l'objectif est également d'obtenir des informations du point de vue des visiteurs. La poudre permet d'estimer la mobilité des visiteurs de *V. uliginosum*. Afin de répondre au mieux à cette question, la poudre est cette fois déposée sur les fleurs mais également sur trois taxons de bourdons. Ces différentes sources de poudre permettent de montrer l'existence probable d'une capacité de vol différente entre les trois taxons de bourdons. Enfin, les deux types de sources, les fleurs et les bourdons, peuvent montrer une différence dans la dispersion de la poudre.

Néanmoins, le dépôt de poudre, directement sur les insectes, n'a jamais été testé auparavant. De plus l'expérience de dispersion du pollen n'a jamais été testée sur cette espèce de plante. Ainsi, deux protocoles sont mis en place dans l'enceinte de l'université de Mons afin d'augmenter les chances de réussite de l'expérience sur le terrain.

Le premier protocole mis en place permet de discerner si l'expérience de dispersion du pollen fonctionne avec l'espèce *Vaccinium uliginosum*. La manipulation se déroule dans une serre de l'université de Mons. Le *V. uliginosum* n'étant pas encore en fleur lors de la réalisation de l'expérience, c'est le *Vaccinium myrtillus* L. qui est choisi. Deux pots contenant des fleurs de *V. myrtillus* sont placés aux deux extrémités de la serre. Autrement dit, une distance d'approximativement 4 mètres sépare les deux pots. Ce choix d'une autre fleur ne pose apparemment pas de problème car c'est essentiellement la morphologie de la fleur qui empêcherait le transfert de poudre entre les deux pots de fleurs.

En effet, les deux espèces de *Vaccinium* ont toutes les deux une fleur en forme de clochette assez bien refermée sur le stigmate avec les anthères se trouvant au fond de la clochette (Jacquemart, 1996). De la poudre fluorescente est placée sur les étamines des fleurs de myrtille dans un des deux pots à l'aide d'un cure-dent. Ces fleurs sont dites « fleurs sources ». L'autre pot contient donc les « fleurs cibles ». Une colonie de bourdons, des *Bombus terrestris dalmatinus* Dalla Torre venant de la firme Biobest bvba, est placée dans la serre pendant toute une journée. La colonie est ensuite retirée et le lendemain, les stigmates sont récoltés dans le pot avec les fleurs cibles. Les stigmates récoltés sont déposés sur de la gélatine glycinée. Le morceau de gélatine est placé sur une lame et une lamelle vient recouvrir le tout. La gélatine est alors fondue à la flamme d'une bougie. Les lames sont observées sous un microscope à fluorescence pour mettre en évidence la présence ou l'absence de poudre sur les stigmates.

Le but du deuxième protocole est d'avoir une idée de la durée pendant laquelle la poudre reste présente sur le corps des bourdons marqués. Pour ces tests, 5 colonies de bourdons sont placées dans la serre. Néanmoins, chaque colonie est reliée à l'extérieur de la serre par un tuyau creux en plastic. Ces tuyaux vont à l'extérieur grâce aux trous présents dans le mur. Les insectes peuvent dès lors rentrer et sortir à leur guise en passant par le tuyau. A l'extrémité externe du tuyau est placé un entonnoir peint en jaune. Cet entonnoir permet de guider les bourdons jusqu'au tuyau lorsqu'ils retournent à la colonie.

Dans chacune des colonies, les bourdons sont marqués à l'aide d'une pastille numérotée et colorée. Cette pastille est placée entre les tegulae sur le thorax de l'individu. Une couleur différente est utilisée pour chacune des 5 colonies (Fig. 9a). Tout au long d'une journée, les ouvrières marquées avec une pastille sont capturées, à l'entrée des colonies (Figs 9b, 9d), une à une à l'aide d'un filet à insectes. Le bourdon capturé est placé dans un tube Falcon de 15 ml contenant approximativement 2,5 mg de poudre fluorescente (Fig. 9c). Une couleur de poudre différente est utilisée pour chacune des colonies. L'insecte reste 30 secondes dans le tube et est ensuite relâché. L'heure de capture, la couleur et le numéro de la pastille sont notés pour chaque bourdon capturé. Lorsqu'un bourdon est recapturé, il est placé dans un tube ependorf. Ce tube est alors plongé dans l'azote liquide qui tue instantanément l'insecte. L'ependorf est placé dans un frigo box qui le maintient au frais afin d'éviter que la condensation ne se forme le long des parois du tube. L'heure de recapture, le numéro ainsi que la couleur de la pastille sont relevés.



Figure 9. Photos relatives à l'expérimentation. -**A**, Colonie de *Bombus terrestris dalmatinus* Dalla Torre. La colonie est raccordée à l'extérieur par un tuyau. -**B**, Connexion de la colonie vers l'extérieur avec un cône jaune à l'extrémité qui sert de repère visuel aux bourdons. -**C**, Tubes Falcon remplis de poudre fluorescente. -**D**, Bourdon marqué sortant de la colonie.

Le corps de chaque bourdon congelé à l'azote liquide est frotté avec un petit morceau de gélatine glycinée. Ce morceau est ensuite fondu entre lame et lamelle à la flamme d'une bougie. Le numéro du bourdon frotté à la gélatine est marqué sur le côté dépoli de la lame. Les lames sont observées sous le microscope à fluorescence afin de noter la présence ou l'absence de poudre sur la lame. La quantité de poudre présente sur les lames est classée en 4 catégories (Tab. 14).

Tableau 14. Classement du nombre de particules en catégories

Catégories	Nombre de particules fluorescentes
0	0
1	0 - 50
2	50 - 300
3	300 -1000
4	des milliers
5	des millions

2.6.2.1.2. Expérience de dispersion du pollen et de mesure de la mobilité des visiteurs sur le terrain

Cette expérience est menée dans quatre stations : Mochettes, Régné, Camping, Sacrawé. La poudre est déposée sur trois types de sources : sur les anthères de la fleur de *Vaccinium uliginosum* ainsi que sur deux des visiteurs de cette plante : *Bombus pratorum* et GTO terrestris pour les trois stations Sacrawé, Mochettes et Camping et *Bombus pascuorum* et GTO terrestris pour la station Régné. Une poudre de couleur différente est utilisée pour chacune des trois sources (Tab. 15).

Tableau 15. Utilisation de différentes couleurs de poudre pour les divers types de sources

Population	Poudre fleurs	Poudre bourdons		
	Fleurs de <i>V. uliginosum</i>	GTO terrestris	<i>Bombus pratorum</i>	<i>Bombus pascuorum</i>
Mochettes	bleu	jaune	rose	/
Régné	bleu	jaune	/	rose
Sacrawé	jaune	bleu	orange	/
Camping	jaune	bleu	orange	/

Pour les plantes, la poudre est déposée sur les anthères de 60 fleurs regroupées au sein d'une parcelle de 50 x 50 cm à l'aide d'un cure-dent. Seules les anthères doivent être recouvertes de poudre. Un insecte se posant sur la plante se charge de poudre fluorescente et la transporte jusqu'aux fleurs visitées par la suite. L'heure de marquage, le nombre de fleurs marquées ainsi que la position des individus sources sont marqués. Les coordonnées géographiques des individus sources sont relevées à l'aide d'un GPS (Garmin). Pour les insectes, 10 bourdons de chaque taxon sont capturés à l'aide d'un filet à insectes. Après chaque capture, le bourdon est placé dans un tube épendorf (15 ml) contenant de la poudre fluorescente. L'insecte reste enfermé dans le tube pendant 30 secondes afin de bien s'imprégner de poudre. Le bourdon est ensuite relâché et en se posant sur les fleurs afin de les visiter, l'insecte laisse une trace de poudre sur le stigmate. Les bourdons sont toujours libérés au même endroit. Les coordonnées géographiques de ce point sont relevées à l'aide d'un GPS. Comme pour les fleurs, l'heure de marquage est relevée. La récolte des stigmates s'effectue le lendemain du marquage. 7 fleurs par rameau sont prélevées et placées dans des petits compartiments séparés (un compartiment par rameau). Pour chacune des stations, les fleurs sont récoltées sur un minimum de 50 rameaux ou individus, excepté pour la station Camping où seulement 35 individus sont échantillonnés. Ceci en raison de la plus faible couverture florale qui caractérise la station Camping. La distance entre les individus échantillonnés varie d'une station à l'autre. Dans la station Camping, la plupart des individus sont échantillonnés au sein d'un même isolat végétal et les distances sont donc assez petites, de l'ordre de quelques cm à quelques dizaines de mètres.

Pour la station Régné, un bon nombre d'individus sont également échantillonnés parmi le plus grand isolat de *V. uliginosum* présent sur le site. La station contient aussi des isolats de plus petite taille et qui sont plus éloigné de la source de poudre. Au moins un rameaux est récolté pour chacun de ces isolats et dans ce cas, les distances sont plus longues. Les deux grandes stations contiennent un grand nombre d'isolats. A nouveau, un minimum de un individu par isolat est récolté. La distance entre deux récoltes de fleurs est toujours de quelques mètres à quelques dizaines de mètres. Les coordonnées de chacun des prélèvements sont relevées soit à l'aide d'un GPS soit à l'aide d'un mètre ruban (de 50 mètres minimum). Dans ce cas, la distance entre la source et le rameau concerné est mesurée. Tous les individus récoltés sont numérotés. La numérotation est continue entre les stations, ceci afin d'éviter les confusions entre populations. Les stigmates sont prélevés des fleurs à l'aide d'une pince fine et placés entre lame et lamelle. Pour ce faire, un morceau de gélatine glycéinée est placé sur la lame, les stigmates sont posés sur la gélatine et une lamelle vient recouvrir le tout. La gélatine est ensuite fondue à la flamme d'un briquet. Toutes les fleurs d'un individu sont placées sur une même lame. Le numéro de l'individu récolté ainsi que le nom de la station sont notés sur la lame.

Une fois placés entre lames et lamelles, les stigmates sont observés sous un microscope à fluorescence afin de détecter la présence ou l'absence de poudre. Des catégories sont établies pour les comptages de poudre présente sur les stigmates (Tab. 16).

Tableau 16. Classement du nombre de particules fluorescentes en catégories

Catégories	nombre de particules fluorescentes
0	0
1	1 à 5
2	6 à 50
3	> 50

2.6.2.2. Analyse des données

Les distances entre les différentes sources (fleurs, bourdons) et les individus sont calculées. Deux méthodes de mesures sont effectuées : le relevé des coordonnées géographiques à l'aide d'un GPS et l'utilisation d'un mètre ruban qui donne la distance entre la source et l'individu échantillonné. Les coordonnées géographiques contenues dans le GPS sont déchargées et placés dans le logiciel MapInfo version 5.5 qui permet de calculer la distance entre les différentes sources et l'individu échantillonné.

L'analyse des lames au microscope à fluorescence permet de calculer la proportion de poudre ainsi que l'abondance de poudre sur chacun des stigmates récoltés. La proportion de poudre sur le stigmate détermine si la fleur est visitée par un insecte véhiculant de la poudre. L'abondance de poudre sur le stigmate définit le taux de visites reçu par la fleur. La proportion ainsi que l'abondance des stigmates prend en compte le nombre de stigmates (et donc également le nombre de fleurs) récoltés par individu, ainsi que les catégories de quantité de poudre présente sur les stigmates. Pour chaque individu échantillonné sont donc associées la distance à la source de poudre ainsi que la proportion et l'abondance de poudre par stigmates.

Une analyse de régression est effectuée pour les quatre stations, laquelle teste la relation entre l'abondance de poudre sur les stigmates pour chaque individu récepteur (variable dépendante) et le logarithme de la distance à la source de poudre (variable explicative).

2.6.2.2.1. Modélisation de la dispersion de pollen

La distribution de la dispersion du pollen (ou de la poudre) est calculé selon la méthode décrite par Hardy *et al* (2004). Les transferts de pollen (ou de poudre) observés, estimés par l'abondance de poudre sur les stigmates pour chaque individu, sont utilisés pour adapter une fonction caractérisant la dispersion de pollen ou de poudre dans chaque population.

Cette fonction $f(x,y)$ modélise la dispersion de pollen ou de poudre. Le modèle de dispersion du pollen représente la probabilité qu'un grain de pollen (ou poudre) bouge à une distance x et y le long de deux axes horizontaux à partir de la source de pollen. Le modèle tient compte que la poudre est censée se disperser aléatoirement dans tous les sens (Tufto *et al.*, 1997).

$$f(\alpha, \beta; x, y) = \beta \exp(-(r/\alpha)^\beta) / (2\pi\alpha^2 \Gamma(2/\beta))$$

Dans l'équation, alpha et beta sont les paramètres à adapter. Ils définissent le modèle de dispersion du pollen (ou de la poudre).

La distance moyenne parcourue par grain de pollen ou par grain de poudre est donnée par δ_k . (Hardy *et al.*, 2004 ; Oddou-Muratorio & Klein, 2008).

$$\delta_k = \alpha [\Gamma(3/\beta) / \Gamma(2/\beta)]$$

Le modèle de dispersion est donc pleinement caractérisé par alpha et beta et plus encore par delta et beta. Beta détermine la forme de la distribution. Lorsque beta est inférieur à un, la distribution est de type leptokurtique. Lorsque beta est égal à un, c'est une distribution exponentielle. Lorsque beta est égal à 2, c'est une distribution normale. Alpha montre l'ampleur des distances de dispersion du pollen.

Un maximum de probabilité est utilisé pour adapter les paramètres alpha et beta sur les transferts de poudre observés. Ce maximum de probabilité est calculé par un test de Chi-carré (Sokal & Rohlf, 2000). Les paramètres alpha et beta sont adaptés pour que la valeur du Chi-carré soit la plus petite possible utilisant pour ce faire Excel solveur.

Une fois les paramètres alpha et beta adaptés, un graphique est réalisé entre l'abondance de poudre sur les stigmates par individu et la distance de chaque individu à la source de poudre.

C'est l'abondance et non pas la proportion de poudre sur les stigmates qui est utilisée pour calculer les paramètres alpha et beta ainsi que pour la réalisation de la courbe. Une corrélation gamma est effectuée afin de mettre en évidence une possible corrélation entre la proportion et l'abondance de poudre par stigmate pour chaque individu. La proportion et l'abondance sont hautement corrélées. Seule l'abondance est donc prise en compte dans les calculs afin de ne pas prendre en compte des aspects semblables dans le calcul de dispersion de la poudre.

2.6.3. Ressources alternatives

Chyzy (2009) détermine les ressources alternatives des visiteurs de *V. uliginosum* par l'analyse palynologique des pelotes de récolte des abeilles. Les deux ressources alternatives sont majoritairement le sorbier des oiseleurs (*Sorbus aucuparia*) et le genet à balais (*Cytisus scorparius*). Le pollen de ces deux plantes est présent dans la plupart des pelotes récoltées sur les visiteurs au sein des quatre stations étudiées en 2008 et 2009 (Chyzy 2009 ; Tab. 17). Les abeilles récoltent donc au cours d'un même voyage, à la fois du pollen de *Vaccinium spp* et une autre ressource. La distance entre la ressource alternative et les populations de *Vaccinium uliginosum* sert également à estimer la mobilité des visiteurs.

Cette approximation de la distance parcourue est calculée pour trois types de visiteurs : les deux espèces *Bombus pratorum* et *Bombus pascuorum*, ainsi que pour le GTO terrestres. Ceux-ci sont choisis pour la comparaison avec l'expérience de l'estimation de la mobilité grâce à la poudre fluorescente.

Tableau 17. Composition des pelotes de pollen pour les GTO Pascuorum, Pratorum et Terrestris (Chyzy 2009)

GTO	site	année	<i>Vaccinium sp.</i>	<i>Sorbus aucuparia</i>	<i>Cytisus scoparia</i>
Pascuorum	Sacrawé	2008	0,0	11,0	89,0
		2009	1,3	98,7	0,0
	Fanges	2008	0,0	0,0	100,0
		2009	36,4	44,4	0,0
Pratorum	Sacrawé	2008	19,0	46,5	34,4
		2009	34,6	65,4	0,0
	Mochettes	2008	76,7	23,3	0,0
		2009	70,5	28,3	0,0
	Camping	2008	96,7	3,3	0,0
		2009	52,4	47,6	0,0
	Fanges	2009	45,5	21,1	33,5
	Terrestris	Sacrawé	2008	17,0	35,8
2009			20,4	58,9	20,6
Camping		2008	78,3	0,0	21,4
		2009	31,1	68,9	0,0

2.6.3.1. Acquisition des données

Dans chacune des stations, la cartographie des populations de *V. uliginosum* est effectuée par Chyzy en 2009. Les sorbiers et les genets les plus proches des populations de *V. uliginosum* sont également cartographiés à l'aide d'un GPS. La distance entre les populations de *V. uliginosum* et les ressources alternatives les plus proches est mesurée avec le logiciel MapInfo version 5.5. Cette distance donne une approximation du chemin parcouru par les insectes pour la récolte du pollen.

3. Résultats

3.1. Impact de la fragmentation sur la communauté des visiteurs

3.1.1. Communauté des visiteurs

Les principaux visiteurs de *V. uliginosum*, tous sites confondus observés lors du présent travail en 2010, sont par ordre décroissant : 26,3% pour le GTO Eristalis, 18,6% pour le GTO Pratorum, 14 % pour le GTO Terrestris et 10 % pour le GTO Vestalis. Les autres GTO sont tous représentés à moins de 10% d'effectifs.

En sommant les effectifs par genre, les visiteurs les plus nombreux sont les bourdons avec 58,9%. La proportion des différents GTO est donnée dans le tableau 18 pour le début de la floraison de *V. uliginosum* et dans l'annexe 2 pour la mi-floraison.

Après collecte et détermination des spécimens épinglés, Les GTO Pratorum, Pascuorum, Campestris, Lapidarius, Hypnorum, Apis et Rhingia peuvent être rattachés respectivement aux espèces *Bombus pratorum* L., *Bombus pascuorum* Scopoli, *Bombus campestris* Panzer, *Bombus lapidarius* L., *Bombus hypnorum* L. et *Apis mellifera* L. Le restant des GTO englobe plusieurs espèces. Le GTO terrestris regroupe 3 espèces : *Bombus terrestris* L., *Bombus cryptarum* Fabricius et *Bombus lucorum* L. Le GTO vestalis réunit les deux espèces *Bombus bohemicus* Seidl. et *Bombus sylvestris* Lapeletier. Le GTO hortorum comprend les espèces *Bombus jonellus* Kirby et *Bombus hortorum* L. Le GTO Andrena englobe les espèces *Andrena lapponica* et *Andrena cineraria* (Tab. 19).

Sur les populations du plateau des Tailles, *Bombus terrestris* ne semble présent que dans la station Sacrawé qui est une population ouverte de grande taille. Il est totalement absent des populations forestières (Annexe 3) contrairement à *Bombus sylvestris* qui est présent dans toutes les populations fermées à l'exception de la station les Mochettes (Annexe 3).

Tableau 18. Nombre total de visiteurs pour chaque GTO visitant *V. uliginosum* en début de floraison (2010)

Familles	Taxons	Ouvrières	Reines	Mâles	Somme	Effectifs relatifs (%)	Effectifs totaux (%)
Andrenidae	GTO andrena	/	33	1	34	3,6	3,7
Apidae	GTO Apis	43	0	0	43	4,6	4,7
Halictidae	GTO Halicte	/	9	0	9	1	1
Apidae	GTO Campestris	/	1	0	1	0,1	58,9
Apidae	GTO Hortorum	10	2	0	12	1,3	
Apidae	GTO Hypnorum	10	15	0	25	2,7	
Apidae	GTO Lapidarius	2	31	0	33	3,5	
Apidae	GTO Pascuorum	11	72	0	83	9	
Apidae	GTO Pratorum	153	20	0	173	18,6	
Apidae	GTO Terrestris	37	93	0	130	14	
Apidae	GTO Vestalis	/	87	3	90	9,7	
Syrphidae	GTO Eristalis	/	/	/	245	26,3	
Syrphidae	GTO Rhingia	/	/	/	27	2,9	
Syrphidae	GTO Volucelle	/	/	/	27	2,9	

Tableau 19. Visiteurs de *Vaccinium uliginosum* L. au plateau des Tailles (Chyzy, 2009) et détermination des espèces présentes dans chaque groupe (Brédât, 2010)

Ordre	Famille	Genre	Taxons	Détermination des espèces
Hymenoptera	Andrenidae	<i>Andrena</i>	GTO andrena	<i>Andrena cineraria</i> L.
				<i>Andrena lapponica</i> Zetterstedt.
Hymenoptera	Apidae	<i>Apis</i>	GTO Apis	<i>Apis mellifera</i> L.
Hymenoptera	Apidae	<i>Bombus</i>	GTO Campestris	<i>Bombus campestris</i> Panzer.
Hymenoptera	Apidae	<i>Bombus</i>	GTO Hortorum	<i>Bombus hortorum</i> L.
				<i>Bombus jonellus</i> Kirby.
Hymenoptera	Apidae	<i>Bombus</i>	GTO hypnorum	<i>Bombus hypnorum</i> L.
Hymenoptera	Apidae	<i>Bombus</i>	GTO lapidarius	<i>Bombus lapidarius</i> L.
Hymenoptera	Apidae	<i>Bombus</i>	GTO pascuorum	<i>Bombus pascuorum</i> Scopoli.
Hymenoptera	Apidae	<i>Bombus</i>	GTO pratorum	<i>Bombus pratorum</i> L.
Hymenoptera	Apidae	<i>Bombus</i>	GTO terrestris	<i>Bombus terrestris</i> L.
				<i>Bombus lucorum</i> L.
				<i>Bombus cryptarum</i> Fabricius.
Hymenoptera	Apidae	<i>Bombus</i>	GTO Vestalis	<i>Bombus bohemicus</i> Seidl.
				<i>Bombus sylvestris</i> Lepeletier.
Diptera	Syrphidae	<i>Eristalis</i>	Eristalis	<i>Eristalis tenax</i> L.
				<i>Eristalis picea</i> Fallén.
Diptera	Syrphidae	<i>Rhingia</i>	Rhingia	<i>Rhingia campestris</i> Meigen.
Diptera	Syrphidae	<i>Volucella</i>	Volucelle	<i>Volucella</i> sp.
Diptera	Syrphidae	<i>Seryocoma</i>	/	<i>Sericomyia lappona</i> L.

3.1.2. Méthode d'estimation de l'effectif d'une population

3.1.2.1. Résultats du marquage

Au total, 214 captures, 177 marquages et 37 recaptures ont été effectués pour les quatre stations (Tab. 20). Le pourcentage de recaptures est, tous sites confondus, de 20,9 %.

Tableau 20. Nombre de visiteurs marqués butinant l'espèce *Vaccinium uliginosum* dans les quatre stations

	Mochettes			Camping			Sacrawé			Régne		
Captures	12Q	23W	0M	3Q	42W	13M	29Q	43W	0M	24Q	22W	3M
	T = 35			T = 58			T = 72			T = 49		
Marquages	12Q	20W	0M	3Q	33W	10M	23Q	40W	0M	15Q	19W	2M
	T = 32			T = 46			T = 63			T = 36		
Recaptures	0Q	3W	0M	0Q	9W	3M	6Q	3W	0M	9Q	3W	1M
	T = 3			T = 12			T = 9			T = 13		

Q : reines ; W : ouvrières ; M : mâles ; T : total

Sacrawé est le site qui présente le plus grand nombre de captures (72 captures, Tab. 20) suivi du site Camping (58 captures). C'est dans les deux petites stations que le taux de recaptures (nombre de recaptures/nombre de captures) est le plus élevé avec 21% pour Camping et 27% pour Régné.

3.1.2.2. Estimation de l'effectif des visiteurs de *Vaccinium uliginosum* pour les différentes stations étudiées

Les effectifs des visiteurs de *V. uliginosum* pour les différentes stations ont été estimés soit par la méthode de Schnabel, soit par celle de Schumacher (Tab. 21). La méthode de Schnabel est utilisée pour calculer les effectifs d'une population fermée contrairement à la méthode de Schumacher qui est utilisée pour calculer la densité d'une population dont les effectifs sont variables au cours du temps. Nous avons utilisé la formule de Schnabel pour les sites fermés : Camping et Mochettes (Tab. 21a). La formule de Schumacher a été utilisé pour les sites ouverts : Sacrawé et Régné (Tab. 21b).

L'effectif pour les deux grandes populations de *V. uliginosum* comprises dans les sites Mochettes et Sacrawé est supérieur à l'effectif des petites populations comprises dans les stations Camping et Régné. L'intervalle de confiance en ce qui concerne la station Mochettes est très large (Tab. 21 ; Fig. 10).

Tableau 21. Calcul des effectifs des visiteurs de *Vaccinium uliginosum* pour les différentes stations étudiées

Section a	Stations	Schnabel	IC 95%
	Mochettes	70	46,28 – 458,43
	Camping	25,6	15,15 – 46,06
Section b	Stations	Schumacher	IC 95 %
	Sacrawé	71,12	58,1 – 90,75
	Régné	23,14	18,88 – 28,77

IC 95 % est la limite de l'intervalle de confiance à 95 %.

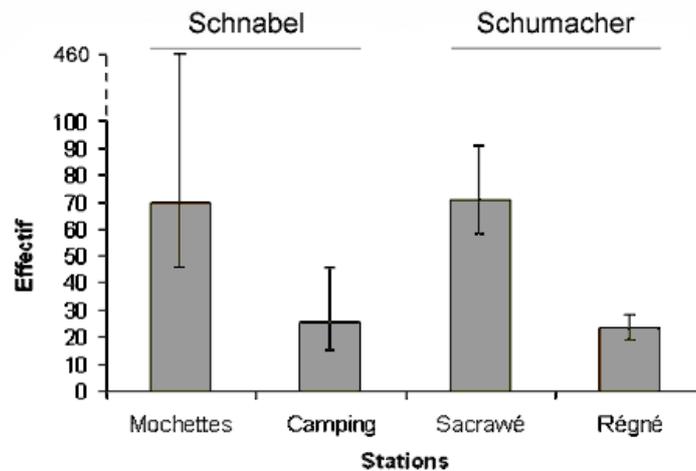


Figure 10. Représentation des effectifs des visiteurs de *Vaccinium uliginosum* selon la méthode de Schnabel pour les populations fermées et la méthode de Schumacher pour les populations ouvertes. Les barres d’erreurs représentent l’intervalle de confiance à 95 %.

3.1.2.3. Estimation de la densité de population des visiteurs de *Vaccinium uliginosum*

La densité des populations fermées est calculée sur base des effectifs estimés par la formule de Schnabel. De même, la densité des populations ouvertes est calculée sur base des effectifs estimés par la formule de Schumacher. En connaissant les surfaces où la méthode CMR est effectuée, la densité des visiteurs de *Vaccinium uliginosum* pour 100 m² peut être calculée pour les différents sites (Tab. 22).

Tableau 22. Densité des visiteurs de *Vaccinium uliginosum* par site

Stations	Schnabel	Shumacher	Densité (100 m ²)
Mochettes	70	/	70
Camping	25,6	/	26,4
Sacrawé	/	71,12	71,1
Régné	/	23,14	28,5

Les grandes populations de *V. uliginosum* présentent des densités au moins deux fois supérieures aux petites populations. Pour des superficies 70 à 180 fois supérieures pour les grandes populations.

3.1.3. Rythmes d’activités des visiteurs

Une régression linéaire entre le nombre total de GTO ainsi qu’entre le nombre total de visiteurs et le logarithme de la superficie des sites de *V. uliginosum* a été réalisée sur base des trois années d’observations (2008, 2009 et 2010 ; Fig. 11).

Il existe une corrélation significative entre le nombre de GTO et la surface des sites ($r = 0,71$; $p = 0,009$; Fig. 11). Les sites avec une grande surface présentent une diversité plus élevée que les sites avec une petite surface. Néanmoins, certaines petites stations présentent une diversité supérieure à ce qui est attendu.

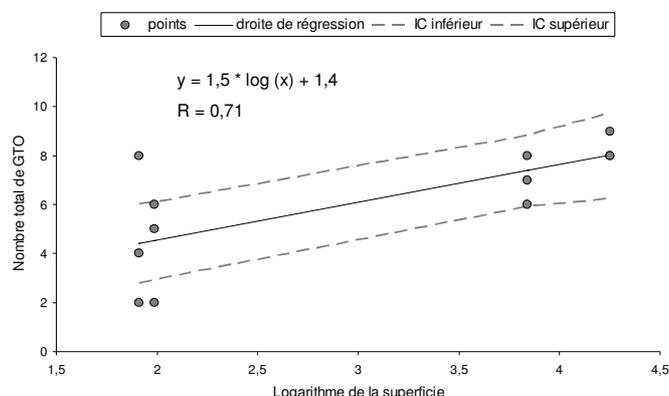


Figure 11. Régression linéaire du nombre total de GTO en fonction du logarithme de la surface des sites de *Vaccinium uliginosum* dans chacune des stations pour les trois années 2008, 2009 et 2010.

De même que pour le nombre de GTO, le nombre total de visiteurs est corrélé avec le logarithme de la surface ($r = 0,71$; $p = 0,01$; Fig. 12). Les sites avec une grande surface présentent un effectif plus important que les sites avec une petite surface ;

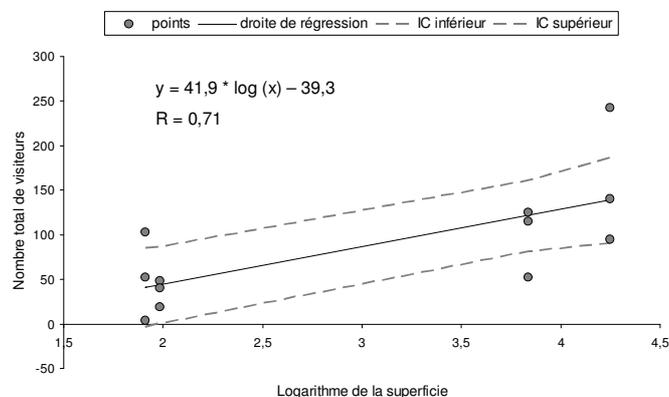


Figure 12. Régression linéaire du nombre total de visiteurs en fonction du logarithme de la surface des sites de *Vaccinium uliginosum* dans chacune des stations pour les trois années 2008, 2009 et 2010.

En 2010, le relevé des rythmes d'activités s'effectue en parallèle sur 10 stations avec deux séries de relevés : une en début de saison et une à la mi-floraison (Tab. 8, Annexe 2). Des régressions linéaires sont réalisées entre le nombre total de GTO ainsi qu'entre le nombre total de visiteurs et le logarithme de la superficie des sites à *V. uliginosum*.

La droite de régression établie entre le nombre de GTO et la superficie des différents sites au début de la floraison de *V. uliginosum* montre une corrélation, non significative toutefois ($r = 0,65$; $p = 0,057$; Fig. 13).

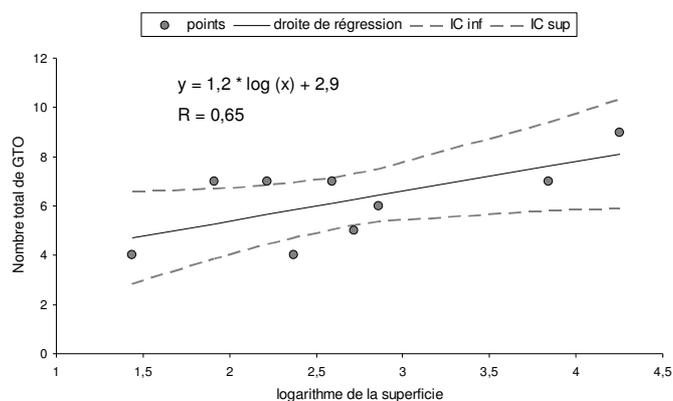


Figure 13. Régression linéaire du nombre total de GTO en fonction du logarithme de la surface des neuf sites de *Vaccinium uliginosum* étudiés en début de floraison pour l'année 2010.

La droite de régression établie entre le nombre de GTO et la superficie des différentes stations à la mi- floraison de *V. uliginosum* ne montre pas de corrélation ($R = 0,021$; $p = 0,58$; Fig. 14).

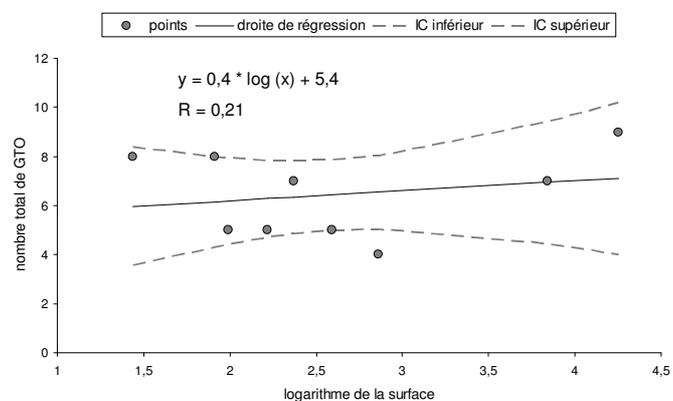


Figure 14. Régression linéaire du nombre total de GTO en fonction du logarithme de la surface des neuf sites de *Vaccinium uliginosum* étudiés à la mi-floraison pour l'année 2010.

La droite de régression établie entre le nombre total de visiteurs et la superficie des différentes stations au début de la floraison de *V. uliginosum* montre une corrélation, non significative ($r = 0,6$; $p = 0,1$; Fig. 15).

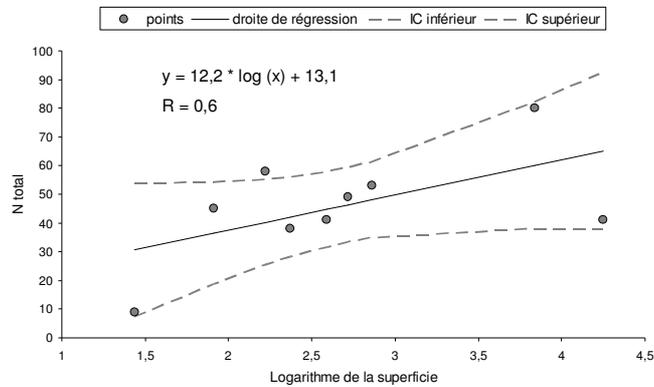


Figure 15. Régression linéaire du nombre total de visiteurs en fonction du logarithme de la surface des neuf sites de *Vaccinium uliginosum* étudiés en début de floraison pour l'année 2010.

La droite de régression établie entre le nombre total de visiteurs et la superficie des différentes stations à la mi-floraison de *V. uliginosum* montre une corrélation, non significative ($r = 0,64$; $p = 0,06$; Fig. 16).

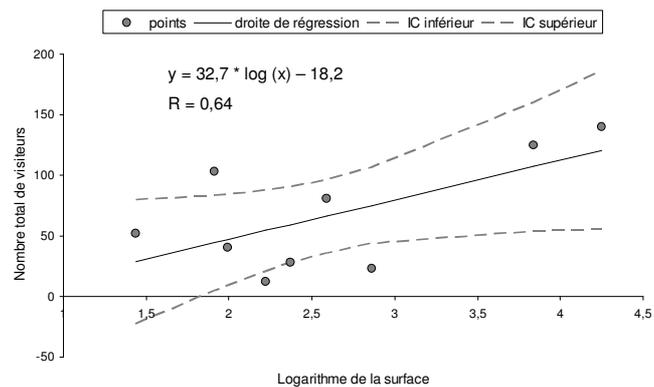


Figure 16. Régression linéaire du nombre total de visiteurs en fonction du logarithme de la surface des neuf sites de *Vaccinium uliginosum* étudiés à la mi-floraison pour l'année 2010.

3.2. Impact de la fragmentation sur *Vaccinium uliginosum*

3.2.1. Limitation du transfert de pollen

Afin de mettre en évidence une possible limitation du transfert de pollen, le pourcentage de mise à graines pour chacun des fruits dans chaque station est testé (tests de Kruskal-Wallis). La mise à graines est le rapport entre le nombre de graines viables sur le nombre de graines total par fruit. L'individu, le site d'étude ainsi que le mode de pollinisation sont trois facteurs qui peuvent avoir un effet sur la mise à graines.

Le traitement, le site ainsi que l'individu ont tous les trois une influence sur la mise à graines. La mise à graines varie le plus fortement selon les individus (Tab. 23).

Tableau 23. Résultats des tests de Kruskal-Wallis de l'effet du traitement, du site et de l'individu sur la mise à graines

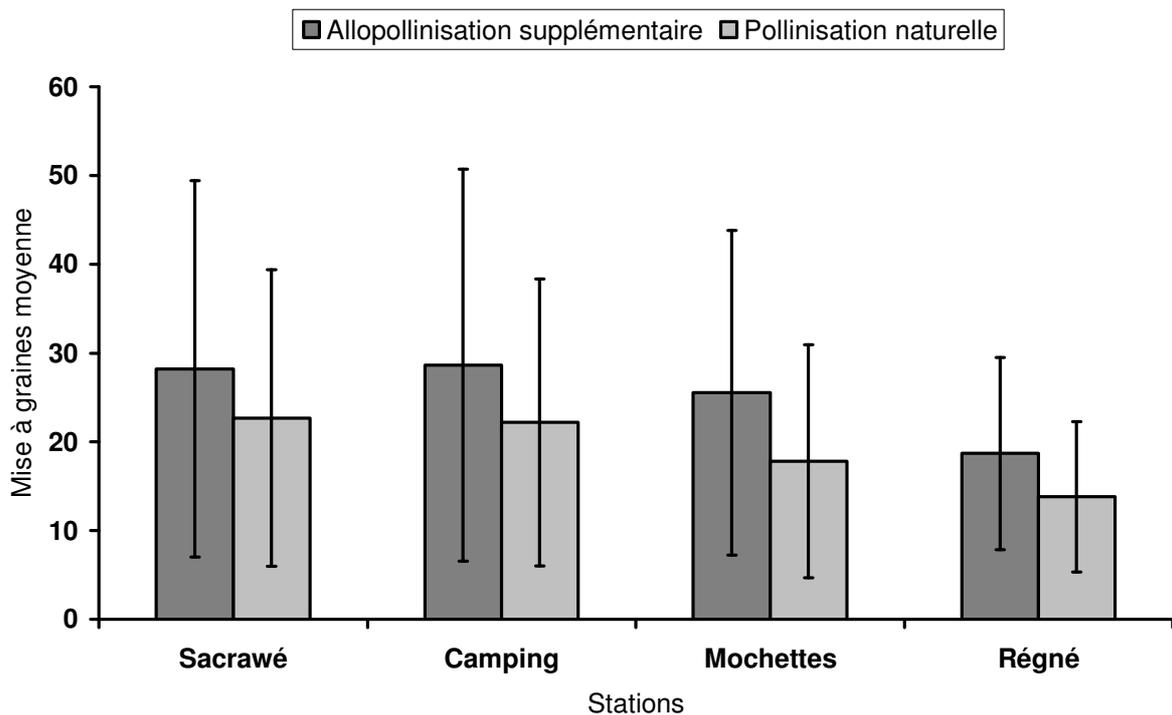
		Traitement	site	Individu
Mise à graines	Khi carré	10,2	15,7	217,0
	p	0,005	0,001	3,66 * 10 ⁻⁰⁶

3.2.2. Effet du traitement et du site sur la mise à graines

La mise à graines est calculée en fonction des différents types de pollinisation et ce pour chacune des stations. La mise à graines pour les fleurs allopollinisées est supérieure à celle pour les fleurs pollinisées naturellement dans les quatre sites (Tab. 24). Toutefois, ces différences ne sont pas significatives ($p > 0.05$). Quel que soit le traitement, la mise à graines est inférieure pour la station Régné (Tab. 24). La mise à graines pour la station Mochettes est inférieure à celle des autres stations quel que soit le traitement prodigué aux fleurs (Tab. 24). La mise à graines pour la pollinisation naturelle et la pollinisation contrôle est assez différente malgré que les traitements soient identiques (Fig. 17). Néanmoins, les individus sont différents et l'effet « individus » sur la mise à graines est très présent.

Tableau 24. Mise à graines moyenne selon le type de pollinisation appliqué aux fleurs pour les quatre sites : Sacrawé, Camping, Régné et les Mochettes

	Nombre de fruits (N)	Mise à graines pour la pollinisation naturelle (%)	Mise à graines pour l'allopollinisation supplémentaire (%)	Mise à graines pour la pollinisation naturelle (contrôle) (%)
Camping	71	22,2 ± 16,2	28,6 ± 22,1	17,7 ± 11,9
Mochettes	120	17,8 ± 13,1	25,5 ± 18,3	20,5 ± 16,1
Régné	64	13,8 ± 8,5	18,7 ± 10,8	/
Sacrawé	142	22,7 ± 16,7	28 ± 21,2	34 ± 21,4

**Figure 17.** Mise à graines (%) en fonction des stations étudiées pour l'allopollinisation supplémentaire et pour la pollinisation naturelle.

3.3. Pollinisateurs versus visiteurs

Dans la station Massotais, 53 visiteurs de *V. uliginosum* sont capturés en une heure afin de tester l'efficacité de la pollinisation de chaque groupe de visiteurs. Lors du prélèvement, une abondance anormale d'apis est constatée contrairement au rythme d'activités effectué dans le site Massotais. Au vu du faible nombre de spécimens capturés, des groupes de taxons correspondant au niveau générique sont considérés dans cette partie du travail. Les 5 groupes étudiés sont : andrènes, apis, bourdons, éristales, sarcophaga. Le nombre médian de grains de pollen de *V. uliginosum* pour chaque groupe est calculé (Annexe 4).

Le groupe andrènes présente une quantité de pollen significativement plus élevée que les autres groupes ($p < 0,05$) avec une médiane de 557 (Fig. 18). Les autres groupes présentent une médiane beaucoup plus petite que celle des andrènes (Fig. 18). Toutefois, le groupe bourdons montre un maximum de grains de 1640 grains de pollen, ce qui représente la quantité de pollen la plus élevée retrouvée sur un des spécimens échantillonnés. La présence de pelotes de pollen pour les insectes apiformes n'augmente pas ou ne diminue pas la quantité de grains de pollen présents sur le corps.

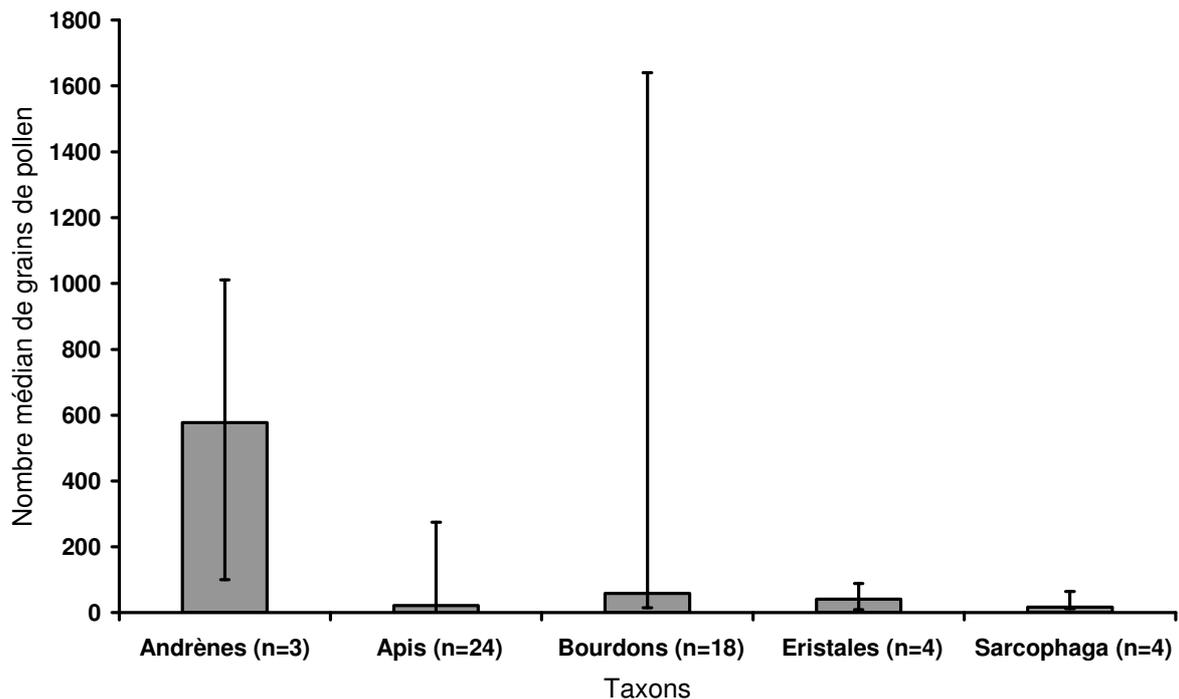


Figure 18. histogramme de la quantité de grains de pollen présente sur le corps de l'insecte en fonction du groupe de visiteurs.

3.4. Impact sur le réseau d'interactions entre *Vaccinium uliginosum* et ses visiteurs

3.4.1. Estimation de la mobilité des visiteurs de *Vaccinium uliginosum* par la méthode CMR

Par la méthode CMR, les individus sont marqués à l'aide d'une pastille numérotée et colorée. Lors de la recapture, aucun échange entre populations de *V. uliginosum* n'est observé. Les visiteurs semblent butiner toujours dans une seule et même station.

3.4.2. Mesure de la mobilité des visiteurs et de la dispersion du pollen

En laboratoire, deux protocoles sont mis en place afin de tester la méthode de dispersion du pollen par les visiteurs au *V. uliginosum* et ce, au moyen de poudre fluorescente.

3.4.2.1. Protocoles expérimentaux sur la mobilité des visiteurs

Le transfert de la poudre fluorescente entre deux individus de *V. myrtillus* est testé en laboratoire. L'analyse des lames au microscope à fluorescence réalisé au Laboratoire de Biologie Marine (UMONS) révèle la présence de poudre fluorescente sur les stigmates de *Vaccinium myrtillus* (Fig. 19). Les bourdons ont permis un transfert de la poudre du pot contenant les fleurs « sources » vers le pot contenant les fleurs « cibles ». La morphologie de la corolle de *Vaccinium myrtillus* n'empêche pas le transfert de poudre fluorescente par les insectes. Au vu de la morphologie florale similaire, il semble qu'il en soit de même pour le *V. uliginosum*.

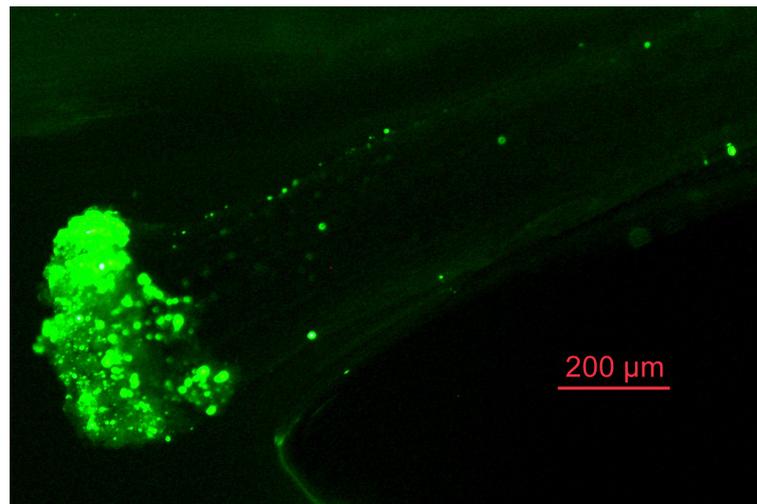


Figure 19. Stigmate de *Vaccinium myrtillus* avec présence de poudre fluorescente.

Afin de préparer au mieux l'expérimentation sur le terrain, une expérience en laboratoire est réalisée afin de déterminer la période de maintien de la poudre fluorescente sur le corps des bourdons. 30 bourdons sont recapturés à des intervalles de temps différents et frottés afin de récolter la poudre fluorescente. Lors de l'observation au microscope à fluorescence des lames, des catégories en fonction de la quantité de poudre observée sont établies (Tab. 14).

Le nombre de particules fluorescentes présentes sur le corps des bourdons diminue clairement au cours du temps avec une forte diminution de la poudre après trois heures (235min ; Fig. 20). Une petite quantité de poudre reste néanmoins présente.

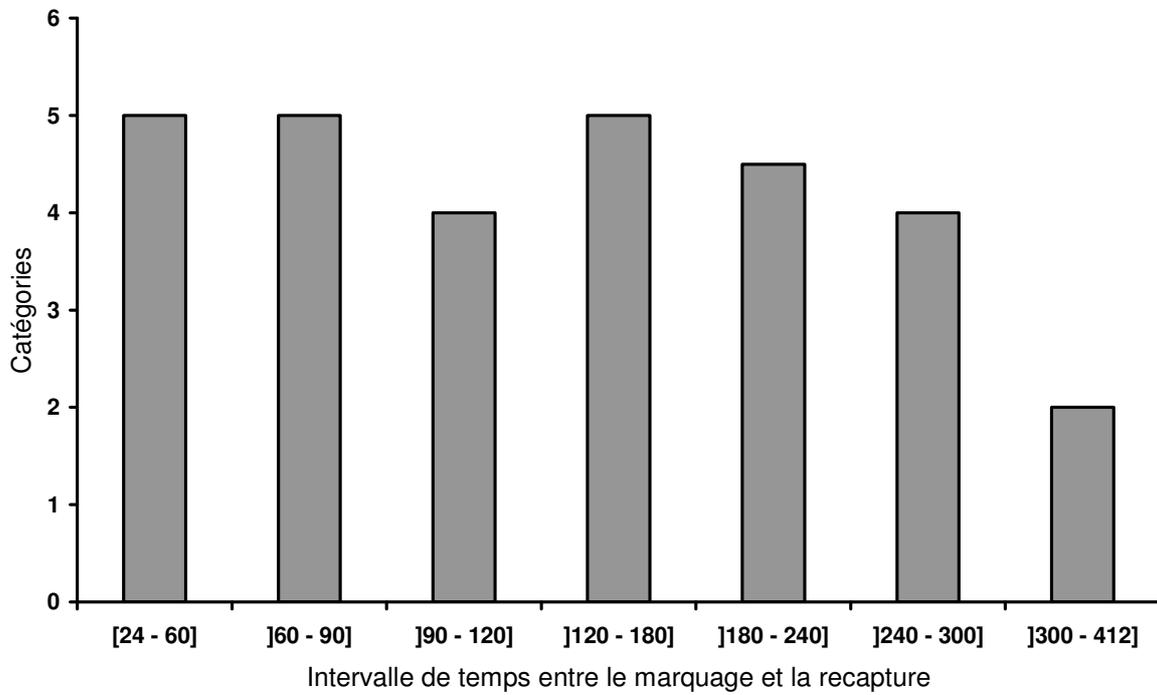


Figure 20. Quantité de poudre fluorescente présente sur les bourdons au cours du temps.

3.4.2.2. Expérimentation sur le terrain

Parmi les quatre stations étudiées, 8 à 94 % des individus échantillonnés montrent un dépôt de poudre (Tab. 25). Pour ces individus « récepteurs », la proportion des stigmates avec de la poudre va de 14 à 100 %. L'abondance de poudre sur les stigmates pour les individus « récepteurs » varie de 0,14 à 3. Dans la station Camping, seule la poudre déposée sur les fleurs est transférée. La distance moyenne de transfert de poudre est de 11,12 mètres et 50 % des transferts se font dans les 13 mètres (Tab. 25). Pour la station Mochettes, la poudre déposée sur les GTO Terrestres est la seule à subir un transfert.

La distance moyenne de transfert est de 58 mètres avec 50 % des transferts ne dépassant pas les 41 mètres (Tab. 25). La station Régné montre un transfert de poudre pour les trois sources utilisées (*Bombus pascuorum*, GTO Terrestres et *Vaccinium uliginosum*). La poudre déposée sur les fleurs de *V. uliginosum* (poudre bleue) est celle qui présente le plus de dépôts avec 32 % des individus échantillonnés montrant de la poudre.

La distance moyenne de transfert de la poudre bleue est de 24 mètres avec 50 % des transferts ne dépassant pas 2,3 mètres. Pour la station Sacrawé, seule la poudre déposée sur les fleurs est transférée. La distance moyenne de transfert est de 41,4 mètres avec 50 % des transferts de poudre se faisant à moins de 31 mètres. La distance maximale de transfert de la poudre est de 141 mètres dans la station Régné.

Les analyses de régression montrent une corrélation inverse significative entre l'abondance de poudre sur les stigmates et la distance à la source de poudre pour les stations Régné (poudre bleue et rose) et Camping ($r = -0,4$ à $-0,72$; $p < 0,005$; Fig. 21 a, b et c). Il y a très peu de transfert de poudre fluorescente dans les stations Sacrawé et Mochettes. Le graphe de modélisation de la dispersion du pollen pour ces deux stations n'apporte rien. De plus, les corrélations inverses ne sont pas significatives.

Les meilleurs valeurs de β pour le modèle de dispersion du pollen, sont toutes inférieure à un. Ce qui signifie que la distribution est de type leptokurtique. Les quatre stations montrent un alpha de 0,0001 pour la station Camping, 100 pour la station Sacrawé, 0,0001 pour la station Mochettes, 11 pour la station Régné dont les sources de poudre sont les fleurs de *V. uliginosum* (poudre bleue) et un pour la station Régné dont le transfert se fait par *Bombus pascuorum* (poudre rose).

Le delta, qui est la distance moyenne parcourue par les grains de poudre est de 24,7 mètres pour la station Régné avec la poudre bleue, 8,6 mètres pour la station Régné poudre rose et 65,7 mètres pour la station Sacrawé (poudre jaune). Les delta des deux stations Mochettes et Camping n'ont pas pu être calculés.

Tableau 25. Expérience de dispersion de pollen dans les 4 populations de *Vaccinium uliginosum*

Sites	n	Couleur poudre	Taxons concernés	Distance		Individus avec poudre (%)	Proportion poudre	Abondance poudre
				source (min-max)	transfert (min-max)			
Camping	35	jaune	<i>V. uliginosum</i>	11,8	11,12	94,3	0,6	1,17
				0,47- 27,27	0,47 - 26,57		0,14 - 1	0,14 - 3
Mochettes	55	jaune	GTO Terrestres	72,5	57,76	11	0,29	0,31
				4,7 - 155,7	6,8 - 110,3		0,14 – 0,42	0,14 – 0,57
Régné	50	jaune	GTO Terrestres	61,1	36,4	8	0,2	0,21
				1,6 - 146,7	1,6 - 130,9		0,14 – 0,28	0,14 – 0,28
	50	bleu	<i>V. uliginosum</i>	61,1	23,6	32	0,52	0,81
				1,6 - 146,7	1,6 - 141,3		0,14 – 0,85	0,14 – 1,57
	50	rose	<i>Bombus pascuorum</i>	61,1	10,1	26	0,35	0,39
				1,6 - 146,7	1,6 - 55,6		0,14 – 0,71	0,14 – 0,81
Sacrawé	70	jaune	<i>V. uliginosum</i>	70,2	41,4	8,5	0,31	0,38
				5,1 - 189,7	5,1 - 92,9		0,14 – 0,57	0,14 – 0,71

n : nombre d'individus échantillonnés par population ; **Couleur de la poudre** : couleur de la poudre observée sur les stigmates ; **Espèce concernée** : association de la couleur de poudre déposée sur une des quatre sources *Bombus pascuorum*, *Bombus pratensis*, GTO terrestres et *Vaccinium uliginosum* pour chacune des stations ; **Distance source** : moyenne des distances entre les individus échantillonnés et la source de poudre ; **Distance transfert** : moyenne des distances de transfert de poudre ; **Individus avec de la poudre** : proportion des individus échantillonnés montrant la présence de poudre ; **Proportion poudre** : moyenne des proportions de poudre sur les stigmates ; **Abondance poudre sur** : Moyennes des abondances de poudre sur les stigmates.

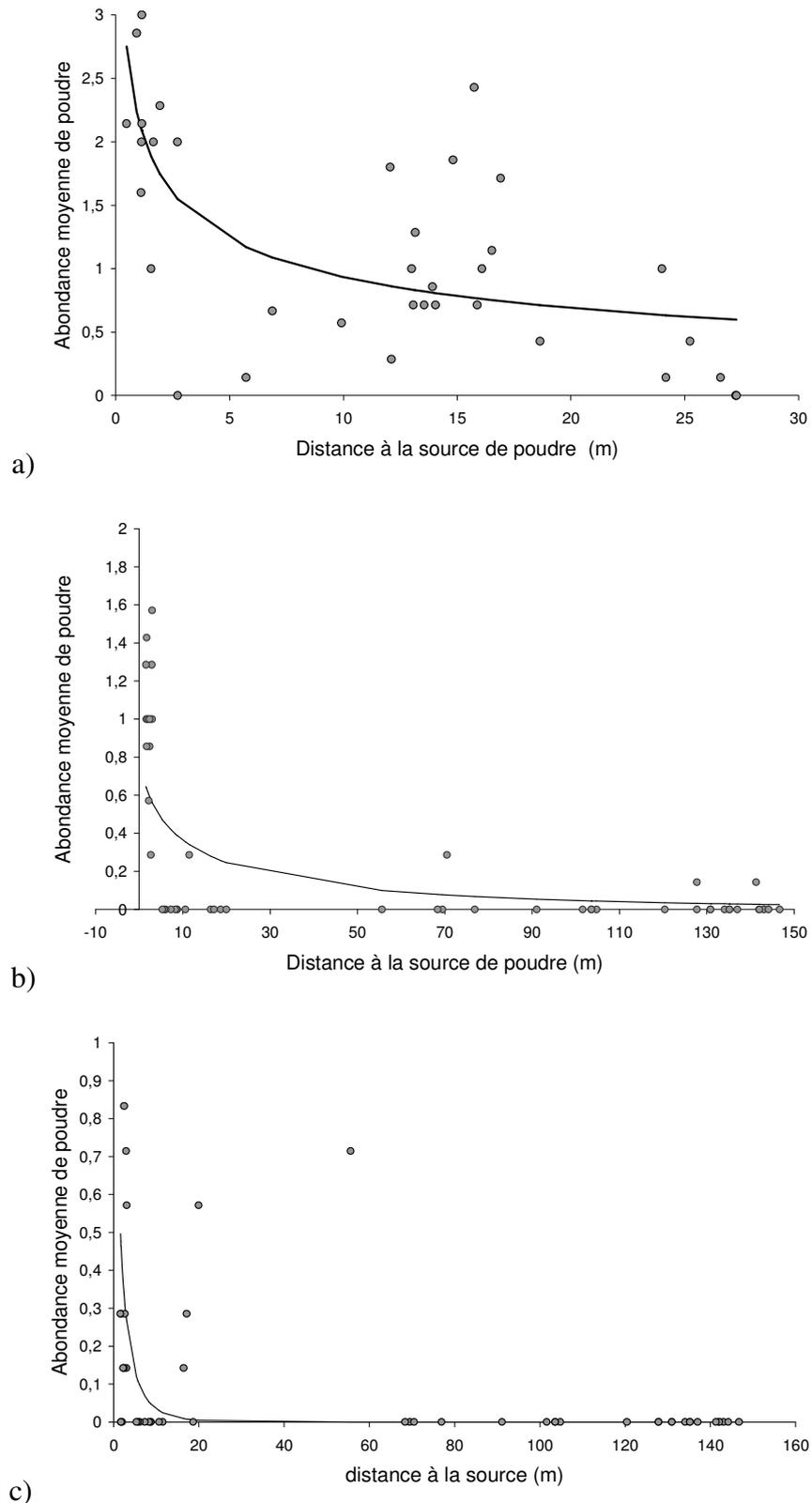


Figure 21 : Distribution des dépôts de poudre en fonction de la distance à la source. **a)** Pour la station Camping ($y = 2,1 - 1,04 * \log (x)$; $p < 0,001$; $r = -0,64$). **b)** Pour la station Régné avec la poudre bleue ($Y = 0,88 - 0,45 * \log (x)$; $p < 0,001$; $r = -0,72$). **c)** Pour la station Régné avec la poudre rose ($Y = 0,26 - 0,11 * \log (x)$; $p = 0,003$; $r = -0,4$).

3.4.3. Les ressources alternatives

Une cartographie détaillée des ressources alternatives est effectuée pour chacun des sites. Afin d'avoir une estimation de la distance parcourue par certains visiteurs de *V. uliginosum* (*B. pratorum*, *B. pascuorum* et GTO terrestris) dans la recherche de ressources alternatives en pollen, la distance entre les stations de récolte des pelotes de pollen sur les visiteurs et les ressources les plus proches en sorbier des oiseleurs (*Sorbus aucuparia* L.) ainsi qu'en genêt à balais (*Cytisus scorparius*) sont mesurées par cartographie (Tab. 26).

La plus grande distance entre une population de genêt à balais et un site de *V. uliginosum* est de 367 m pour la station Régné (Tab. 26). La présence de pollen de cytise dans les pelotes des deux espèces de Bourdons (*B. pratorum* et *B. pascuorum*) signifie qu'une distance d'au moins 367 m peut être parcourue par ces espèces au cours d'une séquence de collecte de pollen (Tab. 28). La plus grande distance entre une population de sorbier des oiseleurs et un site de *V. uliginosum* est de 443 m pour la station Régné (Tab. 26). Cette distance a vraisemblablement été parcourue par *Bombus pratorum* et *Bombus pascuorum*. La plus grande distance parcourue par le GTO terrestris est de 269 m. Cette distance correspond à la distance séparant le genêt à balais du site de *V. uliginosum* à Sacrawé (Tab. 18).

Tableau 26. Distance entre les sites de *Vaccinium uliginosum* et les ressources alternatives les plus proches

Espèces	Stations	Distance <i>Sorbus aucuparia</i> (m)	Distance <i>Cytisus scorparius</i> (m)
<i>Bombus pratorum</i>	Sacrawé	48	269
	Mochettes	132,4	/
	Camping	19	/
	Régné	443	367
<i>Bombus pascuorum</i>	Sacrawé	48	269
	Mochettes	/	/
	Camping	/	/
	Régné	443	367
GTO terrestris	Sacrawé	48	269
	Mochettes	/	/
	Camping	19	190
	Régné	/	/

4. Discussion

4.1. Visiteurs de *Vaccinium uliginosum*

Les rythmes d'activités effectués à la mi-floraison sur *Vaccinium uliginosum* L. sont en accord avec ceux établis par Jacquemart (1996) et Chyzy (2009). Les bourdons sont en effet les principaux visiteurs de *V. uliginosum* avec 59 % des visites. Les Syrphidae représentent 32 % des visiteurs. Les 9 % restant comprennent pour une très grande part les GTO *Andrena*, Halictidae et Apis. La présence du GTO Halictidae et la proportion plus importante en GTO *vestalis* n'est pas relevé dans les études de Jacquemart (1996) et Chyzy (2009) ce qui diffère avec les études ultérieures où le pourcentage de GTO *Vestalis* est beaucoup plus faible et le GTO Halictidae est absent.

4.2. Impact de la fragmentation sur les visiteurs de *Vaccinium uliginosum*

4.2.1. Communauté des visiteurs

Des informations sur l'état d'avancement de la phénologie de *V. uliginosum* ainsi que la variation interannuelle de la période de floraison peuvent être déterminées lors des relevés de rythmes d'activités de la mi-floraison. En se basant sur les relevés de 2010 et des deux années antérieures (2008 et 2009 ; Chyzy, 2009), un décalage de phénologie est observé. Ainsi, en 2010, il est observé qu'un très grand nombre de reines de bourdons (51%) sont présentes lors des relevés de rythmes d'activités s'effectuant à la mi-floraison du *V. uliginosum*. Les relevés ont lieu le 4 juin. En 2009, les rythmes d'activités se sont effectués du 19 au 22 mai (Chyzy 2009), c'est-à-dire approximativement deux semaines plus tôt qu'en 2010. Lors du présent travail, 51 % des visiteurs sont des reines et 49 % des ouvrières. La majorité des ouvrières sont représentées par le GTO *pratorum* qui possède une phénologie plus précoce que celle des autres espèces de bourdons (Rasmont *et al.*, 2001). En 2009, Chyzy (2009) observe dans ces rythmes d'activités un plus grand pourcentage d'ouvrières (57 %) que de reines (43 %). En 2008, Chyzy (2009) observe déjà sur *V. uliginosum* un grand nombre de mâles du GTO *pratorum*. Les rythmes d'activités relevés les 3 années, révèlent qu'il existe une variation annuelle de la phénologie de la plante. La phénologie des bourdons en 2010 montre un retard de plusieurs semaines par rapport à 2009 et 2008 (Fig. 22).

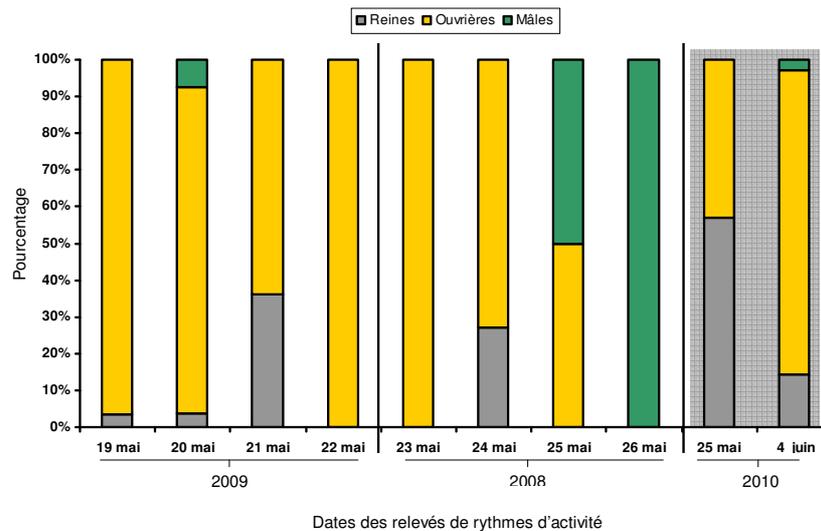


Figure 22. Phénologie de *Bombus pratorum* pour les années 2008,2009 et 2010.

Nos observations concernant la liste des GTO présents sur les grandes et petites populations de *V. uliginosum* concordent avec celles de Chyzy (2009) à l'exception toutefois du GTO *Andrena*. Ce GTO est présent autant dans les petites que dans les grandes populations pour l'année 2010. Chyzy (2009) n'observe ce GTO qu'au sein des seules deux grandes populations (Sacrawé et Régéné).

Au vu des résultats obtenus par Chyzy (2009), il a été essentiel de déterminer les espèces présentes dans chacun des GTO recensés comme visiteurs potentiels de *V. uliginosum* par Jacquemart (1993, 1996). L'importance de déterminer les espèces pour chacun des GTO est primordiale car chez les bourdons le phénomène d'homochromie est fréquent (Rasmont, 1988). De plus, l'écologie des espèces peut être très différente au sein d'un groupe de GTO. Un exemple concret est le GTO *Terrestris* qui comprend les espèces : *Bombus cryptarum*, *Bombus terrestris* et *Bombus lucorum* (Jacquemart, 1996). Ces trois espèces, qui arborent la même robe (Tab. 13) et qui sont morphologiquement très proches, (Rasmont *et al.*, 1986) présentent des différences marquées en ce qui concerne leurs préférences écologiques. *Bombus cryptarum* est une espèce peu abondante en Belgique (Atlas Hymenoptera, <http://www.zoologie.umh.ac.be/hymenoptera/page.asp?id=160>). Cette espèce préfère les milieux forestiers (Rasmont, 1988). *Bombus lucorum* et *B. terrestris* sont deux espèces plus abondantes en Belgique (Atlas Hymenoptera, <http://www.zoologie.umh.ac.be/hymenoptera/page.asp?id=160>), hautement polylectiques (309 espèces végétales exploitées par *B. terrestris*) à l'inverse de *B. cryptarum* qui n'exploite qu'un nombre réduit de taxons floraux (75 espèces végétales exploitées dont principalement le genre *Vaccinium*). Comme *B. cryptarum*, *B. lucorum* préfère les milieux forestiers (Rasmont, 1988). *B. terrestris* quant à lui est présent dans les milieux de lisières ouvertes (Rasmont, 1988).

C'est pourquoi, en fin de floraison du *V. uliginosum* en 2010, la capture et la mise à mort des visiteurs ont permis d'identifier les espèces présentes sur les sites prospectés. Au total, 20 taxons de rangs spécifiques ont été identifiés. Parmi les espèces les plus abondantes, se retrouvent des espèces généralistes, par ordre décroissant *B. pratorum*, *B. terrestris*. *B. terrestris* est la deuxième espèce de bourdon la plus abondante de Belgique après *B. pascuorum* (Atlas Hymenoptera, <http://www.zoologie.umh.ac.be/hymenoptera/page.asp?id=160>). Seule, une espèce spécialiste est relevée parmi les visiteurs de *Vaccinium uliginosum*. Il s'agit d'*Andrena lapponica* Zetterstedt, également répertoriée comme visiteur de *V. uliginosum* dans la Banque de Données Fauniques de Gembloux et Mons (Atlas hymenoptera, <http://www.zoologie.umh.ac.be/hymenoptera/page.asp?id=160>).

4.2.2. Diversité et densité des visiteurs

La prise en compte des résultats des rythmes d'activités en 2008 et 2009 (Chyzy, 2009) et du présent travail (2010) a permis de confirmer la corrélation mise en évidence par Chyzy (2009) entre la diversité des visiteurs et le logarithme de la superficie des populations de *V. uliginosum*. Il existe également une corrélation significative entre le nombre total de visiteurs et le logarithme de la superficie pour les trois années 2008, 2009 et 2010. Cette corrélation peut être expliquée par la densité florale et la taille de la population au sein des sites. Les grandes populations plus denses en général sont en effet plus attractives pour les insectes visiteurs (Kalcenik *et al.*, 1986) que les petites populations.

Il s'est avéré nécessaire de compléter l'échantillonnage en ce qui concerne le nombre de sites à considérer pour confirmer la possible corrélation qui existe entre la taille de la population de *V. uliginosum* et la densité-diversité des visiteurs. Pour ce faire, 6 nouveaux sites sont prospectés en 2010 et confirment l'hypothèse que les grandes populations attirent plus de visiteurs que les petites populations. Malgré le fait que les corrélations entre la densité-diversité des visiteurs et la superficie des populations ne soient pas significatives, il semble y avoir un impact de la fragmentation sur la communauté des visiteurs. L'étude réalisée par Quintero (2009) dans les forêts tempérées de Patagonie est en accord avec les résultats obtenus. Cette étude montre que les habitats fragmentés, ou qui subissent des perturbations anthropiques, possèdent une abondance et une diversité plus faible en insectes pollinisateurs que les habitats non perturbés

Il existe une différence méthodologique notable entre les rythmes d'activités effectués par Chyzy (2009) et ceux effectués lors du présent travail. En 2008 et 2009, Chyzy a travaillé seul et n'a pu prospecter les stations en parallèle.

En 2010, les relevés se sont effectués en parallèle sur les 10 stations. Dix personnes sont donc requises pour cette expérience. Ces deux façons de procéder aux relevés des rythmes d'activités présentent chacune des avantages et des inconvénients. Lorsque les rythmes d'activités sont réalisés en parallèle le même jour (pour 2010), les conditions météorologiques sont identiques. Quand les rythmes s'effectuent sur quatre jours successifs (pour 2008 et 2009), les conditions météorologiques ne sont pas forcément les mêmes. Le climat du plateau des Tailles est froid, pluvieux et il est rare d'observer plus de 6 jours secs consécutifs (Jacquemart *et al.*, 2008). Ces facteurs météorologiques sont à prendre en compte car ils influencent l'activité générale des visiteurs (Nisbet, 2005). Lorsque la température tombe en dessous d'un certain seuil ou lorsque les précipitations sont fortes, les visiteurs n'effectuent pas leur activité de butinage (Kearns & Inouye, 1993 ; Pouvreau, 2004). Ces facteurs induisent un biais non négligeable lors de l'échantillonnage. Effectuer les relevés de rythmes d'activités avec plusieurs personnes engendre un biais d'échantillonnages. Les personnes qui effectuent les relevés n'ont pas forcément les mêmes capacités de collecte selon qu'ils soient novices ou expérimentés. De même, l'aptitude à pouvoir déterminer les insectes à vue sur le terrain diffère selon l'observateur. L'observation du GTO Halictidae sur seulement deux stations peut résulter de la capacité de collecte des deux récolteurs en l'occurrence expérimentés, habitués à déterminer les familles d'insectes, les halictidae étant en général des insectes difficiles à la collecte et de petite taille. Les biais d'échantillonnage ont sans aucun doute joué un rôle dans cette étude. Comme cité plus haut, la capacité de collecte étant variable d'une personne à l'autre, il est fort probable que le nombre de GTO observés et de visiteurs collectés dans les stations soit sur ou sous estimés selon l'observateur. Ces biais permettent d'émettre une hypothèse vraisemblable pour expliquer l'aspect non, voire faiblement, significatif de la corrélation qui existe entre le nombre de GTO ou le nombre total de visiteurs et le logarithme de la superficie des sites.

La méthode Captures-Marquages-Recaptures permet d'estimer l'effectif total des visiteurs. Les résultats montrent que les petites stations (Camping et Régné) présentent une plus faible densité de populations que les deux plus grandes stations (Sacrawé et Mochettes). Ceci confirme les résultats obtenus lors des rythmes d'activités.

Le taux de recaptures (nombre de recaptures/nombre total de captures) est en général très faible mais plus encore dans les grandes stations. A Régné (petite population de *V. uliginosum*), le pourcentage de recaptures est de 27 %. Pour la station Mochettes (grande population), le pourcentage de recaptures est seulement de 9 %. Le taux de recaptures est pris en compte lors du calcul de l'intervalle de confiance de la méthode de Schnabel. Un faible taux de recaptures produit un intervalle de confiance très large (Krebs, 1989).

Le taux de recaptures dans les petites populations de *V. uliginosum* (respectivement 27 et 21%) est nettement supérieur à celui observé dans les grandes populations (9 et 12,5%). Assez logiquement l'effectif espéré dans les grandes populations doit être nettement supérieur à celui attendu dans les petites populations.

4.3. Impact de la fragmentation sur les plantes

Pour mesurer l'impact de la fragmentation sur la ressource, la limitation du transfert de pollen est mesurée en fonction du mode de pollinisation.

Il n'existe pas de différence significative entre la mise à graines par allopollinisation supplémentaire ou par la pollinisation naturelle. De plus, cette différence n'est pas liée à la taille des populations. Sacrawé et Camping, respectivement une grande et une petite station montrent un pourcentage de mise à graines plus élevé que les deux populations Mochettes et Régné, à nouveau une grande et une petite population (Tab. 24). La fragmentation des habitats ne semble donc pas avoir un effet sur la production de graines et probablement sur le transfert de pollen. Ces résultats sont en accord avec des études réalisées sur d'autres plantes par Dieringer (1992) sur *Agalinis strictifolia* Benth. et par Santandreu & Lloret (1999) sur *Erica multiflora* L. où la limitation du transfert de pollen est égale quelle que soit la taille de la population.

Le transfert de pollen peut être limité par la fragmentation (Steffan-Dewenter & Tscharrntke, 1999), la compétition interspécifique de plantes (Campbell, 1985), la densité de la population florale (Ågren, 1996) et la diminution de la densité en pollinisateurs (Liu & Koptur, 2003). Malgré le fait que les grandes populations attirent davantage d'insectes que les petites populations, il n'y a étonnement pas d'impact de la densité des populations de visiteurs sur la mise à graines. La grande fidélité des visiteurs pour le pollen de *Vaccinium spp.* (Chyzy, 2009) pour la plupart des stations (Régné, Camping et Mochettes) pourrait expliquer que la mise à graines n'est pas différente entre les populations. Les quantités de pollen transférées semblent toujours suffisantes même dans les petites populations.

Le présent travail ne semble pas confirmer l'hypothèse émise par Chyzy (2009) sur les relations qui existent entre l'aspect éco-paysager et les visiteurs de *V. uliginosum*. En effet, la mise à graines n'est pas influencée par l'aspect éco-paysager (milieu ouvert et fermé). La mise à graines varient fortement que ce soit au sein des stations ouvertes ou au sein des stations fermés (Tab. 24).

L'aspect éco-paysager n'ayant pas d'impact sur la mise à graines, la différence de mise à graines qui existe entre les stations peut être imputée à la disponibilité des ressources physiologiques et leur allocation pour la maturation du fruit au sein de chacune des stations (Ashman *et al.*, 2004 ; Gibson *et al.*, 2006).

Pour les 4 stations, la mise à graines par l'allopollinisation supplémentaire est supérieure à la pollinisation naturelle par les insectes mais pas de manière significative. Ceci semble indiquer que les visiteurs sont efficaces dans le transport de pollen et donc pour la pollinisation du *V. uliginosum*. Des résultats similaires sur *Delphinium barbeyi* aux USA (Elliott & Irwin, 2009) nous confortent dans cette interprétation des résultats. En effet, dans cette étude le nombre de graines produites ne varie pas de manière significative entre les deux modes de pollinisation quelle que soit la densité de la population de la plante. Somme (2009) étudie la mise à graines de la plante *Comarum palustre* L. pour les deux modes de pollinisation (allopollinisation supplémentaire et pollinisation naturelle). L'espèce *Comarum palustre* est auto-incompatible contrairement à *Vaccinium uliginosum* qui est auto-compatible. La limitation du transfert de pollen semble s'exercer de façon plus intense sur une plante auto-incompatible que auto-compatible (Baker, 1955 ; Bond, 1994). Néanmoins, Somme (2009) n'observe pas de différence significative entre l'allopollinisation supplémentaire et la pollinisation croisée par les insectes.

4.4. Pollinisateurs versus visiteurs

Les mouches adultes de la Famille des Syrphidae sont floricoles (Sarhou, 1996) et butinent une large gamme de fleurs (Pouvreau, 2004). L'apparence des syrphidae est parfois trompeuse, en effet certaines d'entre-elles ont acquis un pattern similaire à certains hyménoptères par, entre autres, la forme et la pilosité (Sarhou, 1996). Néanmoins, La faible pilosité rencontrée chez les Eristales ou les mouches sarcophages pourrait expliquer pourquoi la quantité de pollen est très réduite sur le corps de celles-ci (Fig. 18). Les mouches semblent donc être de piètres candidates à une pollinisation effective de l'espèce *V. uliginosum* malgré le fait que les Eristales soient parmi les visiteurs majeurs de cette plante (Jacquemart, 1996). Les bourdons sont pour la plupart des insectes généralistes qui se nourrissent sur un très grand nombre de fleurs (Rasmont, 1988). En l'absence du pollen contenu sur les corbeilles, ils présentent une quantité assez similaire de pollen sur le corps en comparaison aux Syrphes.

La quantité de grains de pollen retrouvée sur le corps des Andrènes est significativement supérieure à la quantité observée pour les autres groupes collectés.

Le nombre médian de pollen collecté sur les andrènes est dix fois supérieur. à celui des bourdons. Les andrènes transportent le pollen sur les pattes postérieures mais aussi sur le méthathorax (partie dorsale du thorax ; Pouvreau, 2004). Tandis que les abeilles et les bourdons transportent le pollen uniquement sur la corbicule (tibia postérieur). Le pollen présent sur les pattes des insectes apiformes capturés n'est pas pris en compte pour évaluer la quantité de grains de pollen sur le corps des visiteurs. Ceci peut expliquer la grande différence de quantité de pollen entre le groupe Andrènes et les groupes bourdons et apis. De plus, les andrènes capturées correspondent à deux espèces : *Andrena lapponica* et *Andrena cineraria*. L'espèce *lapponica* exploite un nombre réduit de taxons floraux dont *Vaccinium uliginosum* (BDFGM). Cette spécialisation alimentaire d'*A. lapponica* pour le genre *Vaccinium* peut expliquer la grande quantité de pollen présente sur le corps. *A. cineraria* est polylectique et présente une quantité plus faible de pollen que *A.lapponica* (Annexe 4).

Les bourdons sont considérés comme les visiteurs majeurs de *Vaccinium uliginosum* (Jacquemart, 1996 ; Chyzy, 2009). La faible quantité de pollen retrouvée sur leur corps peut s'expliquer également par leur comportement de toilettage (Pouvreau, 2004). Les bourdons comme l'abeille domestique se nettoient le corps et ramènent le pollen sur les corbeilles (Pouvreau, 2004). Contrairement aux abeilles sociales (Bourdons, Apis), les andrènes n'ont pas ce comportement de toilettage. Ceci pourrait expliquer la plus faible quantité de pollen comptabilisée sur les bourdons ainsi que sur les apis par rapport aux Andrènes. La quantité de pollen comptabilisée sur un bourdon varie de 15 à 1640 grains (Annexe 4). Cette disproportion peut s'expliquer par le moment de la capture de l'insecte. En effet, selon que l'insecte est capturé avant ou après son activité de toilettage, la quantité de pollen sur le corps diffère.

Il semble que les visiteurs abondants (Syrphidae) ne sont pas les meilleurs pollinisateurs. Les visiteurs plus occasionnels tels que les andrènes semblent plus efficaces au vu de la quantité de pollen présente sur le corps. Cette constatation est en accord avec la théorie de Schemske & Horvitz (1984). Cependant, la quantité de pollen présente sur le corps ne signifie pas toujours que la pollinisation est efficace (Fishbeing & Venable, 1996). En perspective à cette étude, d'autres méthodes de détermination de l'efficacité de la pollinisation devraient être entreprises telles que le relevé du taux de visites florales (Primack & Silander, 1975) ainsi que le nombre de contacts avec le stigmate de la fleur (Vicens & Bosch, 2000).

4.5. Impact de la fragmentation sur le réseau d'interaction entre *Vaccinium uliginosum* et ses visiteurs

La fragmentation semble avoir un impact sur la communauté des visiteurs de *Vaccinium uliginosum*. En effet, le morcellement des habitats a des conséquences sur la diversité et sur la densité des visiteurs. Le nombre de GTO et le nombre total de visiteurs sont corrélés à la taille des populations ressources.

La fragmentation n'a pas d'effet significatif sur la plante. Le nombre de graines n'est pas corrélé à la taille des populations ressources. La limitation en transfert de pollen n'est pas influencée par l'aspect fragmentaire du paysage (morçèlement par les routes, les zones agricoles et les cultures de sapinière).

4.5.1. Mobilité des visiteurs et flux de gènes entre les populations de *Vaccinium uliginosum*

Trois méthodes sont utilisées pour estimer la mobilité des visiteurs de *V. uliginosum* au sein des quatre populations étudiées en 2008, 2009 et 2010 : (1) la méthode Captures-Marquages-Recaptures, (2) la modélisation de la dispersion du pollen grâce à l'utilisation de la poudre fluorescente et (3) la cartographie des ressources alimentaires alternatives présentes dans chacune des stations.

L'expérience Captures-Marquages-Recaptures indique clairement que les visiteurs ne se déplacent pas entre les stations distantes d'au moins 500 m.

La modélisation de la dispersion du pollen montre une distribution clairement leptokurtique (Fig. 21). Ceci signifie que la plus grande quantité de poudre fluorescente est déplacée à courte distance de la source et que seuls quelques grains fluorescents sont déplacés sur une longue distance. Dans le présent travail, plus de 80 % des transferts de la poudre se font à moins de 15 mètres de la source ; la distance maximale de transfert de la poudre étant de 141 mètres (Régné). Ces résultats semblent typiques d'une dispersion du pollen effectuée par les insectes (Levin, 1981). Au vu de la faible quantité de poudre fluorescente retrouvée dans les 2 grandes populations (Sacrawé et Mochettes), l'expérience de dispersion du pollen n'est pas concluante pour celles-ci. Très peu de stigmates échantillonnés montrent des traces de poudre dans ces 2 stations. La probabilité de retrouver une fleur visitée par un insecte transportant de la poudre est très mince. Cette faible quantité de poudre s'explique sans doute par la grande superficie des populations ainsi que par une forte densité florale.

La découverte du pollen de genêt et de sorbier dans les pelotes des visiteurs de *V. uliginosum* ainsi que la cartographie des populations de *V. uliginosum* et de ces ressources alternatives (*Sorbus aucuparia* et *Cytisus scorparius*) au sein de chaque station fournissent une estimation de la distance parcourue par les visiteurs.

Les expériences de dispersion du pollen et d'estimation de la mobilité des visiteurs par la cartographie des ressources alternatives indiquent que la mobilité des visiteurs est faible et inférieure à 500 mètres. La distance entre les deux plus proches stations que sont Sacrawé et Camping est de 500 mètres à vol d'oiseau. Au vu de cette constatation, il est donc facile de comprendre pourquoi aucun flux entre les quatre stations n'est observé. Les bourdons sont pourtant capables de voler jusqu'à quelques centaines de mètres selon les espèces considérées (Dramstad 1996, Osborne *et al.*, 1999, Kreyer *et al.*, 2004). Néanmoins, la distance de butinage se réduit généralement à quelques dizaines de mètres (Butler 1951, Dramstad 1996, Ponchau *et al.*, 2006). Cette faible distance de butinage peut s'expliquer par l'abondance de ressources exploitables et la fidélisation d'un individu à une ressource (Osborne *et al.*, 1999, Osborne & Williams, 2001) qui réduit la distance de butinage des visiteurs au sein d'une station. Les abeilles solitaires montrent une capacité de dispersion plus faible que celle des bourdons (Pouvreau, 2004).

Si les déplacements des visiteurs entre stations sont inexistant, cela signifie que les populations de *V. uliginosum* ne sont pas connectées entre elles génétiquement parlant. Le flux de gènes généré grâce au transport du pollen par les insectes pollinisateurs est interrompu par la fragmentation. L'interruption du flux de gènes entre les différentes populations de *V. uliginosum* peut augmenter la dérive génétique (Ghazoul, 2005) et la consanguinité (Severns, 2003) des sites indépendamment les uns des autres. Cette érosion génétique mène à une perte de plasticité évolutive et rend la plante plus sensible face aux facteurs environnementaux, démographiques, génétiques et anthropiques (Remy, com. Pers).

Un très petit nombre d'espèces de plus petite taille que les bourdons telles que les andrènes, les halictes et les apis est observé lors des rythmes d'activités. L'hypothèse émise quant à la faible présence des espèces de petite taille est que leur capacité de dispersion est plus faible que celle des insectes de plus grande taille tels que les bourdons (Greenleaf *et al.*, 2007). Les bourdons augmentent leur distance de vol afin de trouver des ressources alimentaires en suffisance alors que des petites espèces n'ont pas la capacité pour le faire.

4.5.2. Réseaux d'interactions symétriques et asymétriques

Les réseaux d'interactions asymétriques étant plus couramment rencontrés que les réseaux d'interactions symétriques (Petanidou & Ellis, 1996 ; Bascompte *et al.*, 2003 ; Dupont *et al.*, 2003 ; Vasquez & Aizen, 2004), il n'est pas étonnant que l'espèce *V. uliginosum* et ses visiteurs forment eux aussi un réseau d'interactions asymétriques. Dans le cas de *V. uliginosum*, ceci signifie que cette espèce généraliste est pollinisée à la fois par des insectes généralistes mais aussi des spécialistes (Ashworth, 2004). La seule espèce spécialiste parmi les visiteurs de *Vaccinium uliginosum* est *Andrena lapponica*. Tous les autres visiteurs sont recensés dans la littérature comme étant des généralistes. Dans un habitat fortement fragmenté, une plante généraliste caractérisée par un réseau d'interactions asymétriques perd dans un premier temps ses visiteurs spécialistes et conserve ses visiteurs généralistes (Ashworth, 2004). Pour ce réseau d'interaction, le phénomène de fragmentation présente davantage d'effets néfastes sur les visiteurs spécialistes que sur les généralistes. En effet, les visiteurs généralistes se nourrissent sur un ou quelques autres taxons. Cependant, la fragmentation réduit de façon considérable la quantité de nourriture. Alors que les insectes généralistes peuvent se reporter sur une autre ressource alimentaire, les insectes spécialistes n'en ont pas la capacité (Kunnin, 1993 ; Bronstein, 1995). Au vu du faible nombre de spécialistes observés, on peut émettre l'hypothèse que les populations de *Vaccinium uliginosum* sont déjà tellement affectées par la fragmentation que la majorité des espèces spécialistes ont disparu pour ne laisser place qu'aux généralistes. La pollinisation par les insectes généralistes semble suffisamment efficace au sein des populations étudiées. *Vaccinium uliginosum* est donc peu vulnérable à des défaillances de pollinisation dans des conditions de fragmentation.

4.6. Proposition de gestion conservatoire

Les différentes populations de *Vaccinium uliginosum* présentes au Plateau des Tailles sont séparées essentiellement par les sapinières très présentes en Ardenne. Un maillage écologique pourrait favoriser une reconnexion génétique entre ces populations. Ainsi, permettre une plus grande ouverture parmi les sapins et créer des éléments permettant un accueil de l'entomofaune tels que des haies, des talus herbeux ou des jardins sauvages pourraient permettre la reconnexion des populations.

5. Conclusion

En conclusion, l'impact de la fragmentation sur le réseau d'interactions entre *Vaccinium uliginosum* et ses visiteurs est donc bien réel. L'impact de la fragmentation se fait surtout au détriment des visiteurs. Il n'a que peu d'effets immédiats sur la plante. La perte de diversité en visiteurs spécialistes ne peut être compensée par la présence des espèces généralistes, la fragmentation ayant isolé les populations. La faible mobilité des visiteurs ne permet pas de maintenir le flux de gènes entre les populations de *V. uliginosum*. Il est donc probable qu'à long terme, la plante souffre elle aussi des effets de la fragmentation par une érosion génétique et une perte de sa plasticité évolutive.

6. Perspectives

Afin de compléter cette étude sur les effets de la fragmentation des populations de *V. uliginosum*, il serait intéressant d'estimer les taux d'allogamie ainsi que la dépression de consanguinité qui définissent chaque population.

De plus, il serait intéressant de déterminer l'efficacité de la pollinisation par les visiteurs avec d'autres méthodes (mesurer le taux de visites florales et le nombre de contact avec le stigmate) et dans plusieurs stations. Dans ce travail, la détermination de l'efficacité de la pollinisation n'a pu être réalisée qu'au sein de la station Massotais, l'expérimentateur ne pouvant se dédoubler.

7. Bibliographie

- Ågren J. 1996.** Population size, pollinator limitation, and seed set in the self incompatible herb *Lythrum salicaria*. *Ecology* **77** : 1779-1790.
- Aizen M. A., Ashworth L., Galetto L. 2002.** Reproductive success in fragmented habitats : do compatibility systems and pollination specialization matter? *Journal of Vegetation Science* **13** : 885–892.
- Aizen M. A., Feinsinger P. 2002.** Bees not to be? Responses of insect pollinator faunas and flower pollination to habitat fragmentation. p. 111 - 129 in : **Bradshaw G.A., Mooney H.A. (eds)**, *How Landscapes Change : Human Disturbance and Ecosystem Fragmentation in the Americas*. Springer-Verlag, Berlin, 361 p.
- Aizen M. A. 2001.** Flower sex ratio, pollinator abundance and the seasonal pollination dynamics of a protandrous plant. *Ecology*, **82** : 127-144.
- Alexandre J. 1958.** La restitution des surfaces d'aplanissement tertiaire de l'Ardenne centrale et ses enseignements. *Annales de la société géologique de Belgique* **81** : 333-423.
- Alsos I. G., Spjelkavik S., Engelskjøn T. 2003.** Seed bank size and composition of *Betula nana*, *Vaccinium uliginosum*, and *Campanula rotundifolia* habitats in Svalbard and northern Norway. *Canadian journal of botany* **81** (3) : 220-231.
- Ashman T-L., Lynn T. L., Knight T. M., Steets J. A., Burd M., Campbell D. R., Dudash M. R. Johnston M. O., Mazer S. J., Mitchell R. J. Morgan M. T., Wilson W. G. 2004.** Pollen limitation of plant reproduction : ecological and evolutionary causes and consequences. *The Ecological Society of America* **85** : 2408-2421.
- Ashworth L., Aguilar R., Galetto L., Aizen M. A. 2004.** Why Do Pollination Generalist and Specialist Plant Species Show Similar Reproductive Susceptibility to Habitat Fragmentation? *Journal of Ecology* **92** (4) : 717-719.
- Atlas Hymenoptera, Website.** <http://www.zoologie.umh.ac.be/hymenoptera/page.asp?id=160>.
- Baker H. G. 1995.** Self-Compatibility and Establishment After 'Long-Distance' Dispersal. *Evolution* **9**(3):347-349.
- Banque de données fauniques de Gembloux et Mons.**
- Bascompte J., Jordano P., Melián C. J., Olensen J. M. 2003.** The nested assembly of plant–animal mutualistic networks. *Proceedings of the Academy of Sciences of the United States of America* **100** : 9383–9387.
- Biesmijer J. C., Roberts S. P. M., Reemer M., Ohlemüller R., Edwards M., Peeters T., Schaffers A. P. Potts S. G., Kleukers R., Thomas C. D., Settele J., Kunin W. E. 2006.** Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science* **313** : 351-354.

Bond W. J. 1994. Do mutualisms matter? Assessing the impact of pollinator and disperser disruption on plant extinction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London-Biology Sciences* **344** : 83–90.

Bournérias M., Arnal G., Bock C. 2001. *Guide des groupements végétaux de la région parisienne*. Belin, Paris, France, 640p.

Bronstein J. L. 1995. The plant–pollinator landscape. p. 257–288 in : **Hansson L., Fahrig L., Merriam G. (Eds)** *Mosaic Landscapes and Ecological Processes*,. Chapman, Hall, London, England.

Buchmann S. L., Nabhan. 1996. *The forgotten Pollinators*. Island Press, Washington, D.C. Shearwater Books, Coverlo, California, USA, 320 p.

Butler C. G. 1951. Annual Report, Bee Department, Rothampstead Experimental Station.

Campbell D. R. 1985. Pollinator sharing and seed set of *Stellaria pubera* : competition for pollination. *Ecology* **66** : 544- 553.

Campbell D. R. 1985. Pollen and gene dispersal—the influences of competition for pollination. *Evolution* **39** : 418–431.

Campbell D. R., Dooley J. L. 1992. The spatial scale of genetic differentiation in a hummingbird-pollinated plant : comparison with models of isolation by distance. *American Nature* **139** : 735–748.

Chyzy A. 2009. Structure de la communauté des visiteurs de *Vaccinium uliginosum* L. en fonction de la taille des populations ressources. Mémoire de fin d'étude, Université de Mons-Hainaut, Mons, Belgique, 69p.

Corbet S. A., Williams I. H., Osborne J. L. 1999. Bees and the pollination of crops and wild flowers : changes in the European Community. *Bee world*, **72** (2) : 47-59.

Dafni A. 1992. *Pollination ecology : a practical approach*. Institute of Evolution, Haifa University, Haifa, Israel, 251p.

Dagnelie P. 1988. *Théorie et méthodes statistiques. Vol. 1*. Les presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique, 387p.

Dieringer G. 1992. Pollinator Effectiveness and Seed Set in Populations of *Agalinis strictifolia* (Scrophulariaceae). *American Journal of Botany* **79**(9) : 1018-1023.

Dramstad W. E. 1996. Do bumblebees (Hymenoptera : Apidae) really forage close to their nests? *Journal of Insect Behavior* **9** : 163 – 182.

Dumont J-M. 1975. *L'homme et la végétation du plateau des Tailles*. Dissertation doctorale, Université catholique de Louvain, Louvain-La-Neuve, Belgique, 281 p.

Dupont Y. L., Hansen D. M., Olensen J. M. 2003. Structure of a plant–pollinator network in the high altitude sub-alpine desert of Tenerife, Canary Islands. *Ecography* **26** : 301–310.

Elliott S. E., Irwin R. E. 2009. Effect of flowering plant density on pollinator visitation, pollen receipt, and seed production in *Delphinium barbeyi* (Ranunculaceae). *American Journal of Botany* **96**(5) : 912–919.

Fahrig L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Reviews of Ecology and Systematics* **34** : 487-515.

Fishbein M., Venable D. L. 1996. Diversity and temporal change in the effective pollinators of *Asclepias tuberosa*. *Ecology* **77** : 1061-1073.

Foley J. A., DeFries R., Asner G. P., Barford C., Bonan G., Carpenter S. R., Chapin F. S., Coe M. T., Daily G. C., Gibbs H. K., Helkowski J. H., Holloway T. Howard E. A., Kucharik C. J., Monfreda C., Patz J. A., Prentice I. C., Ramankutty N., Snyder P. K. 2005. Global Consequences of Land Use. *Science* **309** : 570-574.

Freemark K., Boutin C. 1995. Impacts of agricultural herbicide use on terrestrial wildlife in temperate landscapes : A review with special reference to North America. *Agriculture, Ecosystems, Environment* **52** : 67-91.

Gadoum S., Terzo M., Rasmont P. 2007. Jachères apicoles et jachères fleuries : la biodiversité au menu de quelles abeilles ? *Courrier de l'environnement de l'INRA* **54** : 57-63.

Gallai N., Salles J-M., Settele J., Vaissière B. E. 2008. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics* **68** : 810-821.

Ghazoul J. 2005. Pollen and seed dispersal among dispersed plants. *Biological reviews* **80** : 413 – 443.

Goodman D. 1987. The demography of chance extinction. p. 11-34 in : **Soulé M. E. (Ed).** *Viable population for conservation* Cambridge Univ. Press, USA, 189 p.

Goole Earth, Website. <http://earth.google.com/intl/fr/>.

Greenleaf S. S., Williams N. M., Winfree R., Kremen C. 2007. Bee foraging ranges and their relationship to body size. *Oecologia* **153** : 589-596.

Hardy O. J., González-Martinez S. C., Fréville H. Boquien G., Mignot A. Colas B., Olivieri I. 2004. Fine-scale genetic structure and gene dispersal in *Centaurea corymbosa* (Asteraceae) I. Pattern of pollen dispersal. *J. Evol. Biol* **17** : 795-806.

Harrison J. F, Roberts S. P. 2000. Flight respiration and energetics. *Annual review of physiology* **62** : 179-205.

Haskell J. P., Ritchie M. E., Olf H. 2002. Fractal geometry predicts varying body size scaling relationships for mammal and bird home ranges. *Nature* **418** : 527-530.

Herrera C. M. 1987. Components of pollinator quality : comparative analysis of a diverse insect assemblage. *Oikos* **50** : 79-90.

Hulten E., Fries M. 1986. *Atlas of north European vascular plants north of the Tropic of Cancer II.* Koeltz Scientific Books, 525p.

Jacquemart A.-L. 1993. Floral visitors of *Vaccinium* species in the High Ardennes, Belgium. *Flora* **188** : 263-273.

Jacquemart A.-L. 1996. *Vaccinium uliginosum* L. *Journal of Ecology* **84** : 771-785.

Jacquemart, A. L., Thompson J. D. 1996. Floral and pollination biology of three sympatric *Vaccinium* (Ericaceae) species in the Upper Ardennes, Belgium. *Canadian Journal of Botany* **74** : 210-221.

Jacquemart A.-L., Angenot A., De Sloover J., Iserentant R. 2008. *La réserve naturelle domaniale du plateau des Tailles et ses milieux tourbeux – approches géographique, histotique et biologique.* Glain et Salm, Haute Ardenne 62, 130p.

Jennerston O., Morse D. H. 1991. The Quality of Pollination by Diurnal and Nocturnal Insects Visiting Common Milkweed, *Asclepias syriaca*. *American Midland Naturalist* **125** : 18-28.

Jennerston O., 1984. Flower visitation and pollination efficiency of some North European butterflies. *Oecologia* **63** : 80-89.

Kacelnik A., Houston A. I., Schmid-Hempel P. 1986. Central place foraging in honey-bees – The effect of travel time and nectar flow on crop filling. *Behavioral Ecology and Sociobiology* **19** : 19 – 24.

Kearns C.A., Inouye D.W. 1993. *Techniques for pollination biologists.* University Press of Colorado, Niwot, USA. 583 p.

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.

Kephart S. 2005. Pollen-pollinator limitation. p. 364-370 in : **Dafni A. Kevan P.G., Husband B.C. (Eds).** *Practical pollination biology.* Ontario, Canada, 590p.

Kevan P. G. 1975. Forest application of the insecticide fenitrothion and its effect on wild bee pollinators (Hymenoptera : Apoidea) of lowbush blueberries (*Vaccinium spp.*) in Southern New Brunswick, Canada. *Biological Conservation* **7** : 301-309.

Knuth P. 1908. *Handbook of flower pollination.* Vol. 2. Transl. **Ainsworth J. R.** – Clarendon Press, Oxford, U.K.

Krebs C. J. 1989. *Ecology methodology.* Harper and Row, New York, USA, 653 p.

Kreyer D., Oed A., Walther-Hellwig K., Frankl R. 2004. Are forests potential landscape barriers for foraging bumblebees? Landscape scale experiments with *Bombus terrestris* agg. and *Bombus pascuorum* (Hymenoptera, Apidae). *Biological Conservation* **116** : 111-118.

Kudo G., Kasagi T. 2004. Floral sex allocation in *Cordalis ambigua* populations visited by different pollinators. *Ecoscience* **11** : 218-227.

Kunin W. E. 1993. Sex and the single mustard : population density and pollinator behavior effects on seed set. *Ecology* **74** : 2145-2160.

Levin D.A. 1981. Dispersal versus gene flow in plants. *Annals of the Missouri Botanical Garden.* **68** : 233-253.

Liu H., Koptur S. 2003. Breeding system and pollination of a narrowly endemic herb of the Lower Florida Keys : impact of the urban-wildland interface. *American journal of botany* **90** : 1180-1187.

- Lloyd D.G. 1974.** Theoretical sex ratios of dioecious and gynodioecious angiosperms. *Heredity* **32** : 11-34.
- Lloyd D. G. 1992.** Self-fertilization and cross-fertilization in plants. 2. The selection of self-fertilization. *International Journal of Plant Sciences* **153** : 370–380.
- Löve A. and Löve D.1975.** *Cytotaxonomical Atlas of the Arctic Flora*. Vaduz : J. Cramer. 598 p.
- Lundberg H. 1974.** The interrelationships between *Vaccinium* species and *Bombus* (Hymenoptera, Apidae) in an arctic environment. p. 191-197 in : Proceedings of the III International Symposium on Pollination. Dept. zoology, Stockholm university press, Sweden.
- MacArthur R. H., Wilson E. O. 1967.** *The theory of island biogeography*. Princeton University Press, USA, 203 p.
- Matheson A., Buchmann S. L., O’Toole C., Westrich P., Milliams I. H. 1996.** *The conservation of bees*. Linnean society symposium series **18** : 254 p.
- Maurice S., Fleming T.H. 1995.** The effect of pollen limitation on plant reproductive systems and the maintenance of sexual polymorphisms. *Oikos* **74** : 55 – 60.
- Menges E. S. 1991.** The application of minimum viable population theory to plants. p. 47-61 in : **Falk, D. A. and Holsinger, K. E. (Eds)**, *Genetics and conservation of rare plants*. Oxford University Press, U.K., 283p.
- Minckley R. L., Wcislo W. T., Yanega D., Buchmann S. L. 1994.** Behavior and phenology of a specialist bee (*Dieunomia*) and sunflower (*Helianthus*) pollen availability. *Ecology* **75** : 1406-1419.
- Murcia C. 1996.** Forest fragmentation and the pollination of neotropical plants. p. 19–36 in : **Schelhas J., Greenberg R. (Eds)** *Forest Patches in Tropical Landscapes*. Island Press, Washington, USA.
- Namur B., Michez D., Iserbyt S., Rasmont 2005.** *Structuration de l’espace de vol en fonction du vent chez Bombus terrestris (L.) (Hymenoptera, Apidae)*. Rapport de recherche et Mémoire de fin d’études, Université de Mons-Hainaut, Mons, Belgique, 86p.
- Natura 2000, Website.** Liste des habitats. http://natura2000.wallonie.be/liste_habitat.html.
- Nisbet G. 2005.** A comparison of the phenology and ecology of bumblebees, *Bombus* spp. (Hymenoptera., Apidae) in the central highlands of Scotland. *Entomologist’s monthly magazine* **141** : 69-92.
- Noss R. F., Franklin J. F., Baker W. L., Schoennagel T., Moyle P. B. 2006a.** Ecology and management of fire-prone forests of the western United States. *Society for Conservation Biology, North American Section*.
- Noss R. F., Beier P., Covington W. W., al. 2006b.** Integrating restoration ecology and conservation biology : a case study from ponderosa pine forests of the southwestern USA. *Restor Ecology* **14** : 4–10.
- Oddou-Muratorio S., Klein E. K. 2008.** Comparing direct vs. indirect estimates of gene flow within a population of a scattered tree species. *Molecular Ecology* **17** : 2743- 2754.

Osborne J. L., Clark S. J., Morris R. J., Williams I. H., Riley J. R., Smith A. D., Reynolds D. R., Edwards A. S. 1999. A landscape-scale study of bumble bee foraging range and constancy, using harmonic radar. *Journal of Applied Ecology* **36** : 519 – 533.

Parker F. D. 1981. Sunflower pollination : abundance, diversity and seasonality of bees and their effect on seed yields. *Journal of apicultural research* **20** : 49-61.

Parmesan C., Yohe G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* **421** : 37-42.

Payette S., Rochefort L. 2001. *Ecologie des tourbières du Québec-Labrador*. Les presses de l'université Laval, Canada, 621 p.

Petanidou T., Ellis W. N. 1996. Interdependence of native bee faunas and floras in changing Mediterranean communities. p. 201-226 in : **Matheson A., Buchmann M., O'Toole C., Westrich P., Williams I.H. (Eds).** *The Conservation of Bees*. Linnean Society Symposium Series, No. 18. Academic Press, London, U.K., 254p.

Ponchau O., Iserbyt S., Verhaeghe J-C., Rasmont P. 2006. Is the caste-ratio of the oligolectic bumblebee *Bombus gerstaeckeri* Morawitz. biased to queens (Hymenoptera : Apidae) ? *Annales de la Société entomologique de France* **42(2)** : 207-214.

Pouvreau A. 2004. *Les insectes pollinisateurs*. Delachaux et Niestlé, Paris, 189p.

Primack R. B., Silander J. A. 1975. Measuring the relative importance of different pollinators to plants. *Nature* **255** : 143-144.

Quintero C., Morales C. L., Aizen M. A. 2010. Effects of anthropogenic habitat disturbance on local pollinator diversity and species turnover across a precipitation gradient. *Biodiversity Conservation* **19** : 257-274.

Rameau J-C., Gauberville C., Drapier N. 2002. Gestion forestière et diversité biologique. *Revue forestière française*. 360p.

Rasmont P., Scholl A., Jonghe R. de, Obrecht E., Adamski A. 1986. Identité et variabilité des mâles de bourdons du genre *Bombus* Latreille. sensu stricto en Europe Occidentale et Centrale (Hymenoptera, Apidae, Bombinae). *Revue suisse de Zoologie*, **93(3)** : 661-682.

Rasmont P. 1988. *Monographie écologique et zoogéographique des bourdons de France et de Belgique (Hymenoptera, Apidae, Bombinae)*. PhD Thèse. Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat, Gembloux.

Rasmont P., Mersch P. 1988. Premières estimations de la dérive faunique chez les bourdons de la Belgique (Hymenoptera : Apidae). *Annales de la société royale zoologique de Belgique* **118 (2)** : 141-147.

Rasmont P. 1996. Pour une conservation des abeilles sauvages de France et de Belgique : protection ou surveillance ? (Hymenoptera, Apoidea). p.71-83 in : La protection des espaces naturels et de l'entomofaune. Bulletin de la société entomologique de France. organisé à Grenoble par le Club Entomologique Dauphinois "Rosalia", les 1 et 2 octobre 1994, Museum d'Histoire Naturelle de Grenoble.

Renner S.S. 1998. *Effects of habitat fragmentation on plant–pollination interactions in the tropics. Dynamics of Tropical Communities.* p. 339–360 in : **Newbery D. M., Prins H. H. T., Brown N. D. (Eds)** Blackwell Science, London. U.K.

Santandreu M., Lloret F. 1992. Effect of flowering phenology and habitat on pollen limitation in *Erica multiflora*. *Canadian Journal of Botany.* **77**(5) : 734–743.

Sarthou J-P. 1996. *Contribution à l'étude systématique, biogéographique et agroécocénotique des syrphidae (Insecta, Diptera) du Sud-Ouest de la France.* Ph D Thèse. Institut national polytechnique de Toulouse, France, 251p.

Schemske D. W., Horvitz C. C. 1984. Variation among floral visitors in pollinating ability : a precondition for mutualism. *Science* **225** : 519-521.

Serveur d'information sur la biodiversité en wallonie, Projet Life,. http://biodiversite.wallonie.be/_offh/LIFEPLTTAILLES/home.html.

Severnes P. 2003. Inbreeding and small population size reduce seed set in a threatened and fragmented plant species, *Lupinus sulphureus ssp kincaidii* (Fabaceae). *Biological Conservation* **110** : 221–229.

Sokal R. R., Rohlf F. J. 2000. *Biometry : the principles and Practice of Statistics in Biological Research.* Freeman and Company, New-York, USA, 887 p.

Somme L. 2009. Effet de la taille de la population sur le succès reproducteur du Comaret (*Comarum palustre* L.) dans les bas-marais de la Haute-Semois. Mémoire de fin d'étude. Université catholique de Louvain, Louvain-La-Neuve, Belgique, 64p.

Spira T.P. 2001. Plant–pollinator interactions : a threatened mutualism with implications for the ecology and management of rare plants. *Natural Areas Journal* **21** : 78–88.

Steffan-Dewenter I., Tschardt T. 1999. Effects of habitat isolation on pollinator communities and seed set. *Oecologia* **121** : 432-450.

Teräs I. 1983. Estimation of bumblebee densities (Hymenoptera : Apidae). *Acta Entomologica Fennica* **42** :103-113.

Terzo M., Rasmont 2007. *MALVAS, suivi, étude et vulgarisation sur l'interaction entre les MAE et les abeilles sauvages.* Région wallonne direction générale de l'agriculture –environnement et université de Mons-Hainaut, Mons, 77p.

Thomas C. D. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature* **427** : 145-148.

Van Rompaey, E., Delvosalle, L., 1979. *Atlas de la Flore belge et luxembourgeoise.* Jardin Botanique National, Meise, 116 p.

Van Rossum F. 2009. Pollen dispersal and genetic variation in an early-successional forest herb in a peri-urban forest. *Plant Biology* **11** (5) : 725-737.

Vázquez D. P., Aizen M. A. 2004. Asymmetric specialization : a pervasive feature of plant–pollinator interactions. *Ecology* **85** , in press.

- Vázquez D. P., Simberloff D. 2002.** Ecological specialization and susceptibility to disturbance : conjectures and refutations. *American Naturalist* **159** : 606–623.
- Vicens N., Bosch J. 2000.** Pollination efficacy of *Osmia coruta* and *Apis mellifera* (Hymenoptera : Megachilidae, Apidae) on Red Delicious apple. *Popul Ecol* **29** : 235-240.
- Warming E. 1908.** The structure and biology of arctic flowering plants. I. Ericinae. I. Morphology and biology. *Meddelelser om Groenland* **36** : 3113-3124.
- Warner B. G., Chinnappa C.C. 1986.** Taxonomic implication and evolutionary trends in pollen of Canadian Ericales. *Canadian journal of botany*. **64** : 3113-3124.
- Waser N. M., Fugate M. L. 1986.** Pollen precedence and stigma closure : a mechanism of competition for pollination between *Delphinium nelsonii* and *Ipomopsis aggregate*. *Oecologia* **70** : 573-577.
- Westphal C., Steffan-Dewenter I., Tschardt T. 2006.** Bumblebees experience landscapes at different spatial scales : possible implications for coexistence. *Oecologia* **149** : 289-300.
- Williams P. H. 1986.** Environmental changes and the distributions of British bumblebees (*Bombus* Latr.). *Bee world* **67**(2) : 50-61.
- Williams I. H. 1994.** The dependence of crop production within the European Union on pollination by honey bees. *Agricultural Zoology Reviews* **6** : 229–257.
- Young S.B. 1970.** On the taxonomy and distribution of *Vaccinium uliginosum*. *Rhodora* **72** : 439-457.
- Zurbuchen A., Bachofen C., Müller A., Hein S., Dorn S. 2010.** Are landscape structures insurmountable barriers for foraging bees? A mark-recapture study with two solitary pollen specialist species. *Apidologie* . in press.

8. Annexes

Annexe 1. Fiche type de rythme d'activités

Rythme d'activités du :								Station étudiée :					
Note sur les observations de terrain :													
Relevé GTO	h_0	h_{0+1}		h_{0+2}		h_{0+3}		H_{0+n}		h_F	$\Sigma_{spéc.}$	$\Sigma_{spéc.}$	Σ_{tot}
	00	P	sP	P	sP	P	sP	P		sP	P	sP	
Campestris 	0												
Hortorum 	0									00			
Hypnorum 	00									0			
Lapidarius 	0									0			
Pascuorum 	0									0			
Pratorum 	0									0			
Terrestris 	0									0			
Vestalis 	0									0			
Eristalis 	0									0			
Rhingia 	0									0			
Apis 	0									0			
Andrena 	0									0			
Autres										0			

GTO = Groupe taxonomique opérationne - h_0 = l'heure 0 (début du rythme d'activité) - h_F = l'heure finale (plus aucun visiteur n'est observé) - P = présence d'une charge de pollen - sP = absence de charge pollen). *Lorsque le sexage est possible il est indiqué. Dans le cas des hyménoptères sociaux les castes sont indiqués par les symboles suivants : ♀= Reine, W=ouvrière et ♂= mâle*

Annexe 2. Relevé des rythmes d'activités et effectif des visiteurs de *Vaccinium uliginosum* L. observés à la en début de floraison

Familles	Taxons	Ouvrières	Reines	Mâles	Somme	Effectif relatif (%)	Effectif totaux (%)	
Andrenidae	GTO andrena	/	30	2	32	3,3	3,3	
Apidae	GTO Apis	3	0	0	3	0,3	0,3	
Apidae	GTO Halictidae	0	0	0	0	0,0	0	
Apidae	GTO Campestris	/	1	0	1	0,1	38,4	
Apidae	GTO Hortorum	1	7	0	8	0,8		
Apidae	GTO Hypnorum	2	6	0	8	0,8		
Apidae	GTO Lapidarius	0	44	0	44	4,5		
Apidae	GTO Pascuorum	1	84	0	85	8,7		
Apidae	GTO Pratorum	38	56	0	94	9,7		
Apidae	GTO Terrestris	7	116	0	123	12,6		
Apidae	GTO Vestalis	/	12	0	12	1,2		
Syrphidae	GTO Eristalis	/	/	/	471	48,5		57,6
Syrphidae	GTO Rhingia	/	/	/	65	6,6		
Syrphidae	GTO Volucelle	/	/	/	25	2,5		

Annexe 3. Espèces présentes sur les populations de *Vaccinium uliginosum* présentes au plateau des Tailles

Stations	GTO	Espèces
Robiefa	Vestalis	<i>Bombus sylvestris</i> (n=2)
	Pascuorum	<i>Bombus pascuorum</i> (n=1)
Pisserotte 2	Vestalis	<i>Bombus bohemicus</i> (n=1)
		<i>Bombus sylvestris</i> (n=1)
Mochettes	Pratorum	<i>Bombus pratorum</i> (n=6)
	Terrestris	<i>Bombus lucorum</i> (n=1)
Pisserotte 3	Pascuorum	<i>Bombus pascuorum</i> (n=3)
	Hypnorum	<i>Bombus hypnorum</i> (n=1)
	Terrestris	<i>Bombus lucorum</i> (n=2)
	Vestalis	<i>Bombus sylvestris</i> (n=1)
<i>Bombus bohemicus</i> (n=1)		
Camping	Pratorum	<i>Bombus pratorum</i> (n=4)
	Pascuorum	<i>Bombus pascuorum</i> (n=1)
	Terrestris	<i>Bombus lucorum</i> (n=1)
	Vestalis	<i>Bombus sylvestris</i> (n=1)
Massotais	Terrestris	<i>Bombus cryptarum</i> (n=1)
	Hortorum	<i>Bombus jonellus</i> (n=3)
	Lapidarius	<i>Bombus lapidarius</i> (n=1)
	Pratorum	<i>Bombus pratorum</i> (n=3)
	Pascuorum	<i>Bombus pascuorum</i> (n=1)
	Vestalis	<i>Bombus sylvestris</i> (n=2)
Régné	Pratorum	<i>Bombus pratorum</i> (n=1)
	Pascuorum	<i>Bombus pascuorum</i> (n=3)
Pisserotte 1	Terrestris	<i>Bombus cryptarum</i> (n=1)
	Pratorum	<i>Bombus pratorum</i> (n=2)
	Pascuorum	<i>Bombus pascuorum</i> (n=3)
	Vestalis	<i>Bombus sylvestris</i> (n=2)
Sacrawé	Pratorum	<i>Bombus pratorum</i> (n=5)
	Pascuorum	<i>Bombus pascuorum</i> (n=1)
		<i>Bombus terrestris</i> (n=3)
		<i>Bombus cryptarum</i> (n=3)
	Hortorum	<i>Bombus lucorum</i> (n=1)
		<i>Bombus hortorum</i> (n=1)
Lapidarius	<i>Bombus lapidarius</i> (n=1)	

Annexe 4. Quantité de pollen présente sur le corps des visiteurs de *Vaccinium uliginosum*

Taxons	N	Taxons	N
Andrène (<i>A. cineraria</i>)	94	Bourdon	15
Andrène (<i>A. lapponica</i>)	577	Bourdon	26
Andrène (<i>A. lapponica</i>)	1011	Bourdon	32
Apis	0	Bourdon	37
Apis	1	Bourdon	39
Apis	3	Bourdon	42
Apis	5	Bourdon	44
Apis	7	Bourdon	48
Apis	9	Bourdon	55
Apis	10	Bourdon	62
Apis	10	Bourdon	86
Apis	11	Bourdon	105
Apis	12	Bourdon	113
Apis	17	Bourdon	176
Apis	18	Bourdon	202
Apis	25	Bourdon	325
Apis	40	Bourdon	356
Apis	48	Bourdon	1640
Apis	52	Eristale	9
Apis	53	Eristale	9
Apis	54	Eristale	73
Apis	55	Eristale	89
Apis	110	Sarcophaga	12
Apis	114	Sarcophaga	13
Apis	116	Sarcophaga	20
Apis	130	Sarcophaga	64
Apis	275		

