



**GESTION ET AMÉNAGEMENT DES POLLINISATEURS
DE LA CANNEBERGE :
VERS UN RENDEMENT ACCRU**

Projet numéro 2216

**Requérant :
Association des producteurs de canneberges du Québec (APCQ)**

Rapport final

Période couverte par le rapport : 18 juin 2005 au 30 octobre 2006

Rédigé par : Madeleine Chagnon, chargée de projet

avec l'aide de

Michel Girard et Hélène Leblanc

**Projet réalisé dans le cadre du programme
Recherche appliquée, innovation et transfert du CDAQ**

Juin 2007

RÉSUMÉ

La canneberge présente une faible auto-pollinisation spontanée; il est nécessaire que la fleur reçoive le pollen d'une autre fleur pour bien fructifier; la mise de fruit augmente alors de 30 à 50%. Les pollinisateurs naturels n'étant pas assez nombreux, on y introduit des abeilles domestiques, des bourdons et, plus récemment, des mégachiles de la luzerne. Le potentiel de pollinisation, de ces trois insectes, varie en fonction des conditions climatiques. L'objectif de ce projet était d'apprendre à mieux gérer les pollinisateurs de la canneberge par l'acquisition de connaissances sur leur aménagement naturel, leur introduction, leur efficacité pollinisatrice relative et leurs comportements spécifiques face aux facteurs abiotiques. Ceci permettrait d'assurer un nombre idéal de butineuses durant la période de floraison de la canneberge et de favoriser des coûts de pollinisation (intrants) moindres pour un rendement optimal (bénéfices).

En 2005 et 2006, les observations ont été effectuées dans deux cannebergières commerciale de la région du Centre du Québec de la troisième semaine de juin à la troisième semaine de juillet. Il s'agissait des entreprises 'Les atocas de l'érable' situé à Notre Dame de Lourdes et 'La cannebergière des Cyprés' situé à St-Sylvère Le projet comprend quatre volets. Pour les besoins du projet, des ruchettes de bourdons, des mégachiles (dôme et insectes) et des ruches d'abeilles domestiques ont été introduits dans les deux cannebergières, selon les dispositifs de recherche prévus à chacun des sites.

Le premier volet visait l'aménagement de plantes attractives dans les pourtours de la cannebergière. Dans un premier temps, nous avons fait un inventaire des plantes naturelles attractives dans les pourtours de la cannebergière. Les plantes les plus importantes pour la conservation des pollinisateurs naturels de la canneberge sont listées dans une annexe fournie avec ce rapport. Les plantes les plus importantes à conserver sont illustrées dans un petit guide aussi fourni en annexe. Dans le cadre de ce volet, nous avons aussi établi une petite plantation expérimentale de plantes horticoles attractives pour les pollinisateurs de la canneberge. Ces plantes ont été sélectionnées à partir de critères bioclimatiques spécifiques à la culture de la canneberge. Les plantes horticoles les plus adaptées à être utilisées pour une plantation sont identifiées et présentés dans ce rapport par ordre selon un indice de qualité/prix. Des ruchettes de bourdons ont aussi été érigées à différents endroits de la cannebergière. Leur taux d'adoption par des reines a été suivi expérimentalement dans le cadre de ce volet I. Nos observations révèlent que 37% des ruchettes ont été adoptées dès la première année. En cette première année d'installation, les ruchettes près de la plantation n'ont pas eu un taux d'adoption plus élevé celles situées ailleurs dans la cannebergière,

Le deuxième volet visait mettre au point une méthode standard pour évaluer la force des ruches d'abeilles domestiques, en couvain et en adultes, qui offrirait un potentiel acceptable de butineuses au moment de la floraison de la canneberge. Pour ce faire, nous avons utilisé des ruches dont la force en couvain était connue. Par des observations visuelles, nous avons quantifié l'activité de ruches qui avaient été déterminées comme étant soit fortes ou soit faibles. Ces observations visuelles ont été comparées à des enregistrements électroniques d'activité sur le plateau d'envol. Les données obtenues nous ont permis d'établir un modèle de prédiction de la force d'une ruche par des observations visuelles à la sortie de la ruche. Nous avons conclu qu'une ruche adéquate pour la pollinisation de la canneberge devait avoir une activité d'environ 55 sorties de butineuse par minute en 10h et 14h, par une journée ensoleillée.

Le troisième volet visait une meilleure régie des trois pollinisateurs de la cannebergière : l'abeille, le bourdon et la mégachile de la luzerne. Dans le cadre de ce volet, on a tenté de savoir quelles seraient la densité et la combinaison idéale de ces trois pollinisateurs. Ceci a été fait par des estimations de la densité de chacun des trois pollinisateurs, seuls ou ensemble ainsi que par une détermination de leur efficacité pollinisatrice reflétée par la mise à fruit et le rendement (poids, volume) obtenus en conséquence de leur visite sur une fleur de canneberge.

Nos données permettent de faire ressortir plusieurs relations entre la densité des différents pollinisateurs et les conditions climatiques. Ils examinent aussi la densité des pollinisateurs en fonction d'une possible compétition ou d'une complémentarité. De nombreux traitements statistiques ont été effectués avec les données de terrain et de laboratoire. Les résultats permettent de conclure que 1) La présence des trois pollinisateurs introduits faisait augmenter la mise à fruit, le nombre de fruits par tige, le poids moyen des fruits ainsi que le rendement global. 2) La contribution de chaque espèce de pollinisateur à la pollinisation est variable d'une année à l'autre dépendamment de la végétation entourant le site, des maladies et parasites et des conditions climatiques. 3) Les pollinisateurs indigènes peuvent contribuer de façon très importante à la pollinisation.

Il a été observé que les abeilles domestique déposaient plus de pollen sur les fleurs de canneberges à partir de la mi-floraison comparé au début de floraison. On voit ici probablement l'effet attractif de la grande disponibilité de la ressource. Les abeilles allaient beaucoup butiner ailleurs, mais ont tout de même effectuées 33% des visites totales de la floraison, même si elles n'ont été présentes sur le site qu'à partir de la mi-floraison. Tous les autres pollinisateurs ont également été plus présents en deuxième partie de floraison. Ils ont effectués 45% des visites totales qui se répartissent comme suit : 12% pour les Bourdons fébriles, 24% pour les bourdons indigènes et 9% pour tous les autres pollinisateurs confondus. L'effet attractif de la grande disponibilité de la ressource vers la mi-floraison explique aussi probablement le fait qu'aucun effet de compétition entre les pollinisateurs introduits n'a pu être décelé.

Le bourdon est plus résistant aux basses températures ainsi qu'aux conditions pluvieuses et venteuses alors que le mégachile est sensible à ces conditions. Une radiation solaire de faible intensité ($< 200\text{W/m}^2$) a aussi un impact négatif sur l'activité de la mégachile de la luzerne. D'autre part, l'avantage de la mégachile de la luzerne est que son rayon de déplacement est de courte distance (200m) et qu'elle ne peut donc pas se déplacer vers des plantes compétitrices, telle que l'abeille domestique qui peut aller butiner jusqu'à 2 kilomètre de la ressource visée. L'efficacité pollinisatrice du bourdon est supérieure aux deux autres pollinisateurs, mais le nombre d'individus par ruchettes est beaucoup moindre. Le mégachile est sensible au parasitisme lors de son incubation et une mauvaise gestion de ce problème peut entraîner des pertes considérables. Finalement, le pollinisateur le moins dispendieux demeurerait l'abeille. Toutefois, tel que mentionné au volet II du présent rapport, il est important de vérifier la force d'une ruche en butineuses avant de présumer que sa location est avantageuse. Il ne faut pas oublier qu'on ne loue pas de ruches, mais des colonies d'abeilles.

Le rapport conclue que les trois pollinisateurs introduits peuvent très bien butiner dans les conditions climatiques observées pendant ces deux étés. Toutefois, l'utilisation de la mégachile seule n'est cependant pas conseillée puisqu'on ne peut prévoir les années avec des saisons de floraisons plus fraîches, nuageuses et pluvieuses. Les mégachiles ont été inactives les deux années sous 18°C dans l'air et 20 °C au sol. Il serait judicieux d'utiliser au moins deux pollinisateurs. Dans les cannebergières de petites dimensions, entourées d'habitats propices aux pollinisateurs indigènes, l'utilisation d'un seul pollinisateur introduit pourrait être envisagée. L'estimation des rendements, à partir de ces données, donne une production plus de cinq fois supérieure en parcelles visitées par les pollinisateurs

Selon les résultats obtenus, il semblerait aussi que le plant de canneberge puisse parfaitement développer au moins jusqu'à cinq fruits viables de poids équivalents, même si la moyenne tourne plus autour de 2 fruits par tige. Il resterait cependant à voir si tout un champ pourrait supporter des tiges portant cinq fruits.

Les résultats du volet IV démontrent un effet répulsif du Diazinon, pesticide épandu pour lutter contre la Pyrale de l'atoca. Toutefois, ces traitements ont toujours lieu vers la troisième semaine de floraison de la canneberge et il arrive que le taux de floraison et d'attractivité de la cannebergière soit négligeable à cette période de la production. Il faudrait prendre en considération le pourcentage de fleurs ouvertes au moment des épandages afin d'éviter l'effet répulsif du Diazinon envers les pollinisateurs. Leur diminution pourrait avoir un impact négatif sur la production de canneberges.

Une augmentation de la population naturelle ou introduite de pollinisateurs fournira aux producteurs une assurance que les fleurs de la cannebergière recevront toujours un minimum de visites de pollinisateurs et donc une pollinisation et un rendement conséquent.

Nous espérons que les impacts de nos résultats seront d'avoir donné aux producteurs de canneberge les outils nécessaires pour faire des aménagements de plantes attractives aux pollinisateurs et aussi pour pouvoir évaluer la force des ruches d'abeilles domestiques louées par une méthode simple et reproductible. À partir des données obtenues sur les trois pollinisateurs de la canneberge, les producteurs seront aussi en mesure de pouvoir mieux établir un plan de gestion de ces pollinisateurs utilisé seul ou en tandem.

Table des matières

RÉSUMÉ	iii
Table des matières.....	v
Liste des figures	vii
Liste des tableaux.....	1
1. DESCRIPTION DU PROJET.....	1
1.1 Objectif général.....	1
1.2 Objectifs spécifiques	1
1.2.1 Volet I : Aménagement de plantes attractives.....	1
1.2.2 Volet II : Force des ruches	2
1.2.3 Volet III : Régie des trois pollinisateurs	2
1.2.4 Volet IV : Impacts des traitements phytosanitaires.....	3
1.3 Étapes et échéances.....	4
2. RÉSULTATS ET ANALYSE	8
2.1 Résultats obtenus et analyse.....	8
2.1.1 VOLET I : AMÉNAGEMENT DE PLANTES ATTRACTIVES AUX POLLINISATEURS	8
A) Volet I : Résultats obtenus et analyse depuis le dernier rapport d'étape	8
A.1 Pollinisateurs naturels et plantes indigènes	8
A.2 Taux de succès des plantes horticoles aménagées	11
A. 3 Les nichoirs à bourdons	12
B) Volet I : Analyse des résultats obtenus pour l'ensemble du projet.....	17
B.1 Pollinisateurs naturels et plantes indigènes	17
B.2 Taux de succès des plantes horticoles aménagées.....	19
A. 3 Les nichoirs à bourdons	22
2.1.2 VOLET II : FORCE DES RUCHES	24
A) Volet II : Résultats obtenus et analyse depuis le dernier rapport d'étape	27
B) Volet II : Analyse des résultats obtenus pour l'ensemble du projet	30
2.1.3 VOLET III : LES TROIS POLLINISATEURS	32
2.1.3.1 Méthodologie	32
Sites :.....	32
Design expérimental :	33
Analyses de laboratoire :.....	36
Calculs et tests statistiques :.....	37
2.1.3.2 Résultats et analyse	41
Question 1 : Conditions climatiques 2005-2006.....	41
Question 1. Éléments de discussion :	49
Question 2 : Compétition et/ou complémentarité	51
Question 2. Éléments de discussion :.....	54
Question 3 : Quels seront les impacts des visites des pollinisateurs sur la mise à fruit, le poids, le volume, le taux de pollinisation le total des ovules fécondés? Quels seront les relations de certaines de ces variables entre elles (excluant les visites des pollinisateurs) ?.....	54
Q3A. Éléments de discussion : Analyses de corrélation et de régression pour les variables poids, volume, taux de pollinisation et total des ovules fécondés.	58
Q3B- Éléments de discussion : Quel est l'impact des différentes densité de pollinisateurs sur la mise à fruit, le poids, le volume et le nombre de graines?	59
Q3C. Éléments de discussion : Différence entre les deux années de terrain	63
Question 5 : Potentiel producteur du plant :.....	65

Résultats statistiques	65
Q5A- Impact des pollinisateurs : parcelles ouvertes et fermées.	65
Q5B- Pollinisation manuelles (2005 seulement):	67
Q5C- Nombre de fruits par tige : Allocation des ressources.	68
Q5D- Impact du niveau hiérarchique des fruits (sur les tiges) sur le poids, le taux de pollinisation et sur le total ovules fécondés par fruit.	71
Q5E- Comparaison du rang d'un fruit sur la tige (selon l'ordre croissant de la quantité d'ovules fécondés) en fonction de son niveau hiérarchique ou de sa position relative sur la tige.....	72
Discussion :	75
Q5A-Discussion : Impact des pollinisateurs : parcelles ouvertes et fermées.....	75
Q5B- Pollinisation manuelles (2005 seulement):	75
Q5C- Nombre de fruits par tige : Allocation des ressources.	75
Q5D- Impact du niveau hiérarchique des fruits (sur les tiges) sur le poids, le taux de pollinisation et sur le total des graines moyennes et vraies par fruit.....	76
Q5E- Comparaison du rang d'un fruit sur la tige (selon l'ordre croissant de la quantité d'ovules fécondés) en fonction de son niveau hiérarchique ou de sa position relative sur la tige.....	78
2.1.3.3 Résumé des résultats du volet III	80
3.1.4 VOLET IV : IMPACTS DES TRAITEMENTS PHYTOSANITAIRES (extrait du rapport d'étape).....	81
2.2 Impacts sur le secteur et pérennité	83
2.2.1 Volet : aménagement des plantes attractives	83
2.2.2 La force des ruches	84
2.2.3 Les trois pollinisateurs	85
2.2.4 Impact des traitements phytosanitaires	86
2.3 Diffusion des résultats.....	87
Activités prévues.....	87
Activités réalisées	87
Description.....	87
Date de réalisation.....	87
Nombre de personnes rejointes	87
Visibilité accordée au CDAQ et à AAC).....	87
3. PLAN DE FINANCEMENT ET CONCILIATION DES DÉPENSES.....	89
4. RÉFÉRENCES :	91
ANNEXE I :	95
La liste de toutes les plantes inventoriées durant la saison 2005 et date de floraison par rapport à la canneberge	95
ANNEXE II :	103
Guide photographique des plantes importantes à conserver dans la cannebergières pour attirer les pollinisateurs en dehors de la période de floraison de la canneberge	103
ANNEXE 3 :	109
Critères de tolérance bioclimatiques été pris en compte pour.....	109
faire leur sélection.....	109
ANNEXE 4 :	113
Tableaux de résultats des tests statistiques pour le volet III	113

Liste des figures

Figure 1 : Plantation des plantes horticoles en bordure d'un bassin de canneberges.....	14
Figure 2: La Bergénie (<i>Bergenia cordifolia</i>), une plante horticole qui fleurit avant la canneberge et qui est très attractive pour les pollinisateurs. À gauche : Bergénie avant sa floraison. À droite : plante en fleurs.	14
Figure 3 : L'Orpin remarquable (<i>Sedum spectabile</i>), une plante horticole qui fleurit après la canneberge et qui est très attractive pour les pollinisateurs. À gauche : Orpin remarquable avant sa floraison. À droite : plante en fleurs.....	14
Figure 4 Nichoirs à bourdons installés au centre de la cannebergière, entre deux bassins (19 juillet 2006).	15
Figure 5: Installation d'un nichoir à bourdons dans un sous-bois, en bordure de la cannebergière. Photo : Madeleine Chagnon.	16
Figure 6 : Ouverture d'un nichoir afin de vérifier s'il est occupé (19 juillet 2006).....	16
Figure 7 : Évaluation de la force des ruches selon la méthode Hoopingarner, 1996	25
Figure 8: Ruche munie d'un activimètre électronique.	25
Figure 9 : Relation entre le nombre de sorties de butineuses observé par la méthode visuelle et le nombre d'entrées et de sorties de butineuses enregistré par l'activimètre placé sur cette même ruche (moyenne pour chaque ruche).....	28
Figure 10 : Comparaison ponctuelle des observations visuelles de l'activité des abeilles sur le plateau d'envol aux valeurs enregistrées par les activimètres.	28
Figure 11 : Relation entre la force d'une ruche (somme du nombre d'abeilles et du nombre de cellules de couvain total) et le nombre de butineuses sortantes observées à cette ruche (moyenne pour chaque ruche).	29
Figure 12 : Relation entre le nombre prévu de butineuses dans les cultures et l'activité observée sur le plateau d'envol (nombre de sorties de butineuses).	29
Figure 13. Nombre de visites par heure et par mètre carré d'Abeilles domestiques en fonction de la température de l'air en 2005.	43
Figure 14. Nombre de visites par heure et par mètre carré d'Abeilles domestiques en fonction de la température du sol en 2005.	43
Figure 15. Nombre de visites par heure et par mètre carré d'Abeilles domestiques en fonction de la température de l'air en 2006.	44
Figure 16. Nombre de visites par heure et par mètre carré d'Abeilles domestiques en fonction de la température du sol en 2006.	44
Figure 17 Nombre de visites par heure et par mètre carré de Mégachiles de la Luzerne en fonction de la température de l'air en 2005.	45
Figure 18. Nombre de visites par heure et par mètre carré de Mégachiles de la Luzerne en fonction de la température du sol en 2005.	45
Figure 19. Nombre de visites par heure et par mètre carré de Mégachiles de la Luzerne en fonction de la température de l'air en 2006.	46
Figure 20. Nombre de visites par heure et par mètre carré de Mégachiles de la Luzerne en fonction de la température du sol en 2006.	46
Figure 21 Nombre de visites par heure et par mètre carré de Mégachiles de la Luzerne en fonction de la radiation solaire en 2005.	48
Figure 22. Nombre de visites par heure et par mètre carré de Mégachiles de la Luzerne fonction de la radiation solaire en 2006.	48
Figure 23 : Nombre de visites des pollinisateurs selon la date (2005).....	52
Figure 24 : Nombre de visites de pollinisateurs selon la date (2006)	53
Figure 25 : Répartition du nombre de visites totales, selon le type de pollinisateurs en 2005 et 2006.....	53

Figure 26. Pourcentage de fruits ayant un poids égal ou supérieur à 1,5g selon la quantité d'ovules fécondés qu'ils contiennent.....	56
Figure 27. Régression linéaire simple pour le poids des fruits en fonction de la quantité d'ovules fécondés en 2005.....	57
Figure 28. Régression linéaire simple pour le poids des fruits en fonction de la quantité d'ovules fécondés en 2006.....	57
Figure 29 Analyse de régression linéaire simple pour les visites de Mégachiles de la luzerne selon la distance au dôme en 2006 (P= 0.0007 ; R ² : 0,60 n=15).....	62
Figure 30 : Poids moyen du fruit (et erreur-type) selon le nombre de fruits par tige pour les parcelles ouvertes, fermées et pollinisées manuellement en 2005.	68
Figure 31. Répartition en pourcentage du total des tiges selon le nombre de fruits par tige, en 2005 et 2006 dans les parcelles ouvertes.	69
Figure 32 Poids moyen des fruits selon le nombre de fruits que portent les tiges en 2005 et 2006 dans les parcelles ouvertes.	70
Figure 33. Moyennes du total des ovules fécondés des fruits selon le nombre de fruits que portent les tiges en 2005 et 2006 dans les parcelles ouvertes.....	70
Figure 34. Répartition en pourcentage du total des fruits selon leur niveau hiérarchique sur la tige, en 2005 et 2006 dans les parcelles ouvertes.	72
Figure 35 Poids moyen des fruits selon leur niveau hiérarchique sur la tige en 2005 et 2006 dans les parcelles ouvertes. Les histogrammes qui ne sont pas reliés par une même lettre, pour une même année, montrent une différence significative.	73
Figure 36. Taux de pollinisation moyen des fruits selon leur niveau hiérarchique sur la tige en 2005 et 2006 dans les parcelles ouvertes.	73
Figure 37. Moyenne du total des ovules fécondés des fruits selon leur niveau hiérarchique sur la tige en 2005 et 2006 dans les parcelles ouvertes.	74
Figure 38 : Observation des visites de pollinisateurs dans les parcelles expérimentales.....	79
Figure 39 : Comparaison de la récolte provenant d'une parcelle ouverte (pollinisateurs) et fermée (sans pollinisateurs).....	79
Figure 40 : Nombre moyen d'abeilles, de bourdons, de mégachiles et d'autres pollinisateurs non identifiés sur les fleurs de la canneberge du bassin # 43, avant et après le traitement au Diazinon.	82
Figure 41 : Nombre moyen d'abeilles, de bourdons, de mégachiles et d'autres pollinisateurs non identifiés sur les fleurs de la canneberge du bassin # 43 avant et après le traitement au Diazinon et du bassin témoin # 45, non traité.	82

Liste des tableaux

Tableau 1 Liste des plantes recensées dans les cannebergières ainsi qu'à proximité et ayant été jugées importantes de par leur caractère attractif pour les pollinisateurs.....	10
Tableau 2 : Évaluation du taux de succès hivernal des espèces végétales introduites dans la plantation expérimentale et calcul de l'indice qualité/prix :	13
Tableau 3: Nombre de nichoirs adoptés (sur 10) par une reine bourdon (<i>Bombus sp.</i>) au moment des visites (visite 1 : 27 juin 2006 ; visite 2 : 19 juillet 2006 ; visite 3 : 18 août 2006).....	15
Tableau 4 : Nombre moyen d'abeilles sortantes selon des plages d'observation de 15, 30, 60 et 120 secondes.....	26
Tableau 5. Répartition des visites de chaque pollinisateur en 2005 et 2006.....	41
Tableau 6 :Analyses de corrélations et de régressions pour le poids, le volume des fruits, le taux de pollinisation et le total des ovules fécondés pour les parcelles ouvertes et fermées en 2005 et 2006.....	56
Tableau 7 Analyses de régressions pour différentes variables en fonction du nombre de visites des pollinisateurs en 2005.....	59
Tableau 8. Analyses de régressions pour différentes variables en fonction du nombre de visites des pollinisateurs en 2006.....	63
Tableau 9. Analyses de variance comparant les parcelles ouvertes et d'exclusions pour le poids, la mise à fruit, le taux de pollinisation et le total des ovules fécondés en 2005 et 2006.....	65
Tableau 10 : Résumé général des résultats de 2005:.....	67
Tableau 11 : Niveaux hiérarchiques de fruits expérimentaux de 2005 :.....	67
Tableau 12 Nombre de fruits par tige dans les parcelles expérimentales en 2005:.....	67
Tableau 13 : Comparaison des pollinisateurs selon différentes variables.....	80
Tableau 14 Analyses de régressions pour différentes variables en fonction du nombre de visites des pollinisateurs en 2005.....	95
Tableau 15. Comparaison des populations des trois réplicats par analyse de variance pour 5 variables en 2005.....	115
Tableau 16 : Analyses de régressions pour différentes variables en fonction du nombre de visites des pollinisateurs en 2006.....	116
Tableau 17 : Anovas : comparaison des trois réplicats-2006.....	118

1. DESCRIPTION DU PROJET

1.1 Objectif général

L'objectif de ce projet est d'apprendre à mieux gérer les pollinisateurs de la canneberge par l'acquisition de connaissances sur leur aménagement naturel, leur introduction, leur efficacité pollinisatrice relative et leurs comportements spécifiques face aux facteurs abiotiques. Cela permettrait d'assurer un nombre idéal de pollinisateurs durant la période de floraison de la canneberge et de favoriser des coûts de pollinisation (intrants) moindres pour un rendement optimal (bénéfices).

1.2 Objectifs spécifiques

La présente section décrit les objectifs relatifs à chacun des volets du projet de même que leur degré de réalisation.

1.2.1 Volet I : Aménagement de plantes attractives

Objectifs spécifiques de départ :

- 1) identifier les plantes indigènes attractives de la région pour l'ensemble des pollinisateurs naturels, plus spécifiquement les bourdons, et acquérir des connaissances sur la période de floraison des plantes identifiées;
- 2) identifier les plantes horticoles adaptées aux conditions de la région et à un milieu propice à la culture de la canneberge et acquérir des connaissances sur la période de floraison des plantes identifiées, sur leurs coûts et sur la possibilité de les aménager;
- 3) essais d'aménagement de plantes attractives aux insectes pollinisateurs durant la deuxième année du projet.

Les objectifs de départ sont demeurés les mêmes pour l'essentiel; la méthodologie a toutefois été modifiée. Les détails relatifs aux modifications apportées sont discutés dans la section 2.1. L'objectif 3 (essais d'aménagement de plantes attractives) a principalement été réalisés lors de la première année du projet; la deuxième année (2006) consistait seulement à mesurer le taux de survie des plantes aménagées. Bien qu'il fût au départ prévu de faire des essais d'aménagement de plantes indigènes et horticoles, seuls des plantes horticoles ont été aménagées. La justification de cette modification se trouve également à la section 2.1.

Évaluation des objectifs : Tous les objectifs étaient réalistes et ont été réalisés. Par ailleurs, un quatrième objectif, à savoir d'installer des nichoirs à bourdons, a été ajouté. Cet objectif a également été réalisé, bien que les résultats obtenus diffèrent des résultats attendus.

1.2.2 Volet II : Force des ruches

Objectifs spécifiques de départ :

- 1) déterminer la force de ruches d'abeilles domestiques, en couvain et en adultes, qui offre un potentiel acceptable de butineuses au moment de la floraison de la canneberge;
- 2) mettre au point une méthode standard qui permette aux producteurs de canneberges d'évaluer facilement la force en butineuses des ruches qu'ils ont louées.

Évaluation des objectifs : Ces objectifs sont demeurés les mêmes et ont été réalisés.

1.2.3 Volet III : Régie des trois pollinisateurs

Ce troisième volet visait une meilleure régie des trois pollinisateurs de la cannebergière. Les objectifs de départ 1, 2, et 4 de cette section sont demeurés identiques aux objectifs décrits dans la proposition initiale. Toutefois, pour satisfaire aux exigences de l'UQAM relativement à un étudiant à la maîtrise, l'objectif 2 a été raffiné et est devenu l'objectif 3. En outre, deux objectifs (5 et 6) ont été ajoutés au cours de la première année du projet.

Objectifs spécifiques de départ :

- 1) déterminer s'il y a des effets compétitifs ou complémentaires relativement aux trois pollinisateurs de la canneberge (abeilles domestiques, bourdons et mégachiles) en vue de mieux les aménager;
- 2) préciser l'efficacité de chacun des trois pollinisateurs en regard de la pollinisation et du rendement (équivalence en nombre de visites);
- 3) déterminer l'effet de différentes densités de pollinisateurs sur la mise à fruit de même que sur le poids, le volume, le nombre de graines et le degré de maturation des fruits;
- 4) établir un plan de régie assurant un nombre idéal de ruches d'abeilles, de ruchettes de bourdons et de dômes de mégachiles par acre en vue d'une pollinisation optimale.

Objectifs supplémentaires :

- 5) déterminer la densité des trois pollinisateurs en fonction des conditions climatiques;
- 6) déterminer la quantité de fruits qu'un plant de canneberge peut produire si toutes les fleurs sont bien pollinisées.

Évaluation des objectifs : Grâce à des modifications apportées au protocole pour la saison 2006, les objectifs 1, 3, 4 et 5 ont pu être réalisés. En 2005, les placettes expérimentales avaient été aménagées dans une cannebergière dans laquelle se trouvaient des pollinisateurs introduits par le producteur (abeilles, bourdons et mégachiles), lesquels se mêlaient aux pollinisateurs

introduits pour l'expérience et rendaient impossible la prise de données. En 2006, les placettes expérimentales ont été aménagées dans une cannebergière dans laquelle le producteur n'a pas introduit de pollinisateurs.

L'objectif 2 (efficacité relative des trois pollinisateurs) n'a pu être réalisé. Nous en sommes venus à la conclusion qu'il était impossible de déterminer l'efficacité relative des trois pollinisateurs dans le cadre du présent projet. Pour avoir en main des résultats assez précis, de nombreuses heures d'observation et de manipulation auraient été nécessaires. Par ailleurs, nous aurions eu besoin d'un plus grand nombre d'observateurs aux placettes expérimentales et nos budgets ne nous permettaient pas d'embaucher plus de personnel. Il existe des données similaires dans la littérature; elles ont été utilisées pour établir nos recommandations. Des résultats novateurs ont cependant été obtenus concernant le potentiel de production du plant de canneberge (objectif 6). Des détails sont donnés à la section 3 du présent rapport.

1.2.4 Volet IV : Impacts des traitements phytosanitaires

Ce volet a été ajouté durant la première année du projet (2005), dans le cadre d'une entente de collaboration avec le CETAQ (Club d'Encadrement Technique Atocas-Québec).

Objectif spécifique de départ :

- 1) vérifier l'impact des arrosages de diazinon, un pesticide, sur la présence des pollinisateurs dans la cannebergière.

Évaluation de l'objectif : Cet objectif a été atteint pour 2005. L'expérience n'a toutefois pu être répétée en 2006 car la saison s'est terminée trop abruptement et aucun traitement au diazinon n'a été effectué.

1.3 Étapes et échéances

Volet	Étape	Date prévue	Date réelle	Finalités	Notes
Volet I a : Identification des plantes indigènes attractives de la région pour l'ensemble des pollinisateurs naturels, plus spécifiquement les bourdons, et acquisition de connaissances sur leur période de floraison.	Aménagement des parcelles d'échantillonnage	fin juin 2005	fin mai 2005	Recenser les plantes indigènes	
	Recherche de plantes potentiellement adéquate selon la littérature	fin juin 2005	durant toute la période d'échantillonnage 2005	Sélectionner adéquatement les végétaux	
	1 ^{er} recensement des plantes locales	fin juin 2005	1 ^{er} juin 2005	Identifier les végétaux attractifs et déterminer leur densité, leur fréquence et leur période de floraison	
	Identification des échantillons de plantes récoltées (1 ^{er} recensement)	fin juillet 2005	durant toute la saison 2005		
	2 ^{ième} recensement des plantes locales.	fin août 2005	7 juin 2005		Toutes les semaines par la suite jusqu'au 1 ^{er} septembre 2005
	Identification des échantillons de plantes récoltées (2 ^{ième} recensement)	fin août 2005	durant toute la saison 2005	Augmenter les effectifs des populations de pollinisateurs indigènes	Non planifié pour 2006
	Établissement d'une liste de plantes pouvant potentiellement être aménagées	fin août 2005	juillet 2005	Augmenter les effectifs des populations de pollinisateurs indigènes	
	Étude de la possibilité de relocaliser des plantes à partir de sites voués à la destruction	début septembre 2005	non réalisé		Jugé non pertinent

<p>Volet I b Identification des plantes horticoles adaptées au milieu de cannebergière et acquisition de connaissances sur leur période de floraison, leurs coûts et la possibilité de la aménager</p>	<p>Appel de pépinières et acquisition de catalogues de plantes</p> <p>Étude des exigences environnementales des plantes et de leur prix</p> <p>Élaboration d'une liste de plantes potentiellement adéquates pour l'aménagement</p> <p>Vérification des prix auprès de quelques pépiniéristes et achat des plantes sélectionnées</p>	<p>fin juin 2005</p> <p>fin juin 2005</p> <p>juillet 2005</p> <p>août 2005</p>	<p>fin mai 2005 pour catalogues et septembre 2005 pour contact avec pépinières</p> <p>mai à septembre 2005</p> <p>mai à septembre 2005</p> <p>septembre 2005</p>	<p>Sélectionner les végétaux à aménager</p> <p>Sélectionner des végétaux peu exigeants, très attractifs, peu chers et qui ne fleurissent pas en même temps que la canneberge</p>	
<p>Volet I c : Essais d'aménagement de plantes attractives pour les pollinisateurs (deuxième année du projet).</p>	<p>Sélection des sites pour les aménagements</p> <p>Organisation des équipes de plantation</p> <p>Plantation</p> <p>Relocalisation de plantes indigènes</p> <p>Installation des nichoirs à bourdons</p> <p>Vérification de l'établissement des plantes et nouvelles plantations</p> <p>Vérification de l'adoption des nichoirs à bourdons</p>	<p>fin août 2005</p> <p>fin août 2005</p> <p>fin septembre 2005</p> <p>fin septembre 2005</p> <p>fin septembre 2005</p> <p>été 2006</p> <p>printemps 2006</p>	<p>fin août 2005</p> <p>septembre 2005</p> <p>25 septembre 2005</p> <p>non réalisé</p> <p>printemps 2006</p> <p>toute la saison 2006 (avril à octobre)</p> <p>été 2006</p>	<p>Vérifier l'attractivité des aménagements sur les populations de bourdons</p> <p>Mesurer l'impact des aménagements</p> <p>Mesurer le potentiel des plantes aménagées</p> <p>Mesurer l'impact des aménagements sur les populations de bourdons</p>	<p>Jugé non nécessaire</p> <p>Données compilées en fonction de la période de floraison</p> <p>Aucun problème</p>

Volet	Étape	Date prévue	Date réelle	Finalités	Notes
Volet II a : Connaître la force de ruches	Établir les forces de départ des ruches selon deux catégories (fortes, faibles)	mi-juin 2005 mi-juin 2006	mi-juin 2005 mi-juin 2006	Préparations selon le protocole expérimental	Activités réalisées à Deschambault
	Transporter les ruches dans les cannebergières selon le protocole établi	22 juin 2005 22 juin 2006	4 juillet 2005 23 juin 2006		Aucun problème
	Installation des activimètres et des stations météorologiques	23 juin 2005 23 juin 2006	5 juillet 2005 23 juin 2006		6 ruches avec activimètres en 2006
	Établissement des parcelles d'observation	mi-juin 2005 mi-juin 2006	19 juin 2005 20 juin 2006		Évaluer le nombre de butineuses actives
	Vérification des activités de butinages à la ruche	juillet 2005 juillet 2006	5-18 juillet 2005 7-17 juillet 2006		Mettre en relation avec les observations aux ruches
	.	mi-août 2005 mi-août 2006	mi-août 2005 mi-août 2006		Changement de la méthode d'observation en 2006
	Évaluation des forces des ruches en fin de saison				Certaines ruches étaient trop fortes et les prises de données étaient inutiles
Volet II b: Mettre au point une méthode standard pour évaluer la force des ruches en butineuses.	Mettre en relation les données de butinage et les données des activimètres électroniques, des lectures visuelles à la sortie de la ruche et des observations au champ	septembre 2005 septembre 2006	septembre 2005 septembre 2006	Mise un point d'un outil pour permettre aux producteurs d'évaluer la force des ruches louées	Résultats intéressants

Volet	Étape	Date prévue	Date réelle	Finalités	Notes
Volet III a: Préciser l'efficacité relative des trois pollinisateurs sur le taux de pollinisation et le rendement (équivalence en nombre de visites).	Observations des pollinisateurs sur le terrain.	juillet 2005 juillet 2006	du 26 juin au 30 juillet 2005 et du 22 juin au 10 juillet 2006	Vérifier l'efficacité des trois pollinisateurs sur la mise à fruit	Travaux refaits en 2006 dans une autre cannebergière Bon résultats
	Déplacement des ruches	mi-floraison	4 et 5 juillet 2005 7 juillet 2006		
	Récolte des fruits	automne 2005 et 2006	27 et 28 septembre 2005 et 18 sept. 2006		
Volet III b: Établir un plan de régie du nombre de ruches d'abeilles, de ruchettes de bourdons et de dômes de mégachiles par acre idéal pour une pollinisation optimum.	Compilation des résultats et tests statistiques	automne 2006	Travaux de laboratoire : du 29 septembre au 28 octobre 2005 et du 19 septembre au 15 octobre 2006 Compilation et statistiques de 2005 et 2006 : terminé en janvier 2007	Établir des résultats significatifs	La compilation des données et les traitements statistiques ont dépassé les dates prévues à l'échéancier
Volet IV : Impact du diazinon sur les pollinisateurs	Observations au champ	juillet 2005 juillet 2006	18 juillet 2005 novembre 2005	Vérifier la présence des pollinisateurs avant et après les traitements	Activité impossible à refaire en 2006 car saison trop courte
	Compilation et traitement des données	automne 2005 automne 2006			
Diffusion des résultats Rédaction des rapports, des articles de revues et tenues de conférences	Rapport d'étape	décembre 2005	décembre 2005	Diffusion des résultats	Publication en cours de rédaction.
	Rapport final	février 2007	juin 2007		
	Rédactions d'articles	hivers 2006 et 2007	hivers 2006 et 2007	Diffusion des résultats	Présentations orales en janvier 2006 et 2007 pour les producteurs de canneberges
	Conférences	hivers 2006 et 2007	hivers 2006 et 2007		

2. RÉSULTATS ET ANALYSE

2.1 Résultats obtenus et analyse

2.1.1 VOLET 1 : AMÉNAGEMENT DE PLANTES ATTRACTIVES AUX POLLINISATEURS

A) Volet I : Résultats obtenus et analyse depuis le dernier rapport d'étape

L'objectif général de ce volet était d'étudier la possibilité de favoriser la présence des pollinisateurs naturels dans une cannebergière par la protection et/ou la relocalisation de plantes attractives et indigènes à la région ainsi que par l'aménagement de plantes attractives, indigènes ou non.

Pour ce faire, nous avons d'abord recensé les plantes indigènes présentes dans un milieu de cannebergière entre les mois de juin et d'octobre et recueilli des données sur leur période de floraison. Nous avons également déterminé, parmi les plantes recensées, celles qui attiraient les insectes pollinisateurs, en particulier les bourdons. Par ailleurs, en se fondant entre autres sur les préférences des bourdons de même que sur les caractéristiques du milieu, nous avons dressé une liste de plantes – indigènes et horticoles – qui, si elles étaient aménagées dans la cannebergière, seraient susceptibles de favoriser la présence des pollinisateurs. À la suite de ces activités, quinze espèces de plantes, toutes horticoles, ont été introduites en bordure d'un des bassins de la cannebergière utilisée comme site d'étude. Ces activités ont été réalisées lors de la première année de terrain, soit en 2005.

Les activités de 2006 réalisées dans le cadre de ce volet visaient d'abord à raffiner nos conclusions de 2005. Un entomologiste expert en pollinisateurs naturels a été consulté pour savoir lesquelles des plantes indigènes recensées en 2005 étaient les plus utilisées par les pollinisateurs d'une cannebergière et donc les plus importantes à protéger. Deuxièmement, nous avons mesuré le taux de succès des quinze plantes introduites en bordure du bassin en 2005. Enfin, trois séries de nichoirs à bourdons ont été installés afin de vérifier si l'aménagement de plantes horticoles effectué augmentait la présence des pollinisateurs dans la cannebergière et si ces nichoirs eux-mêmes pouvaient contribuer, en offrant de l'habitat de nidification, à augmenter la présence des bourdons.

A.1 Pollinisateurs naturels et plantes indigènes

Lors de notre première année de terrain, afin d'avoir une idée générale des espèces végétales attractives présentes dans un milieu de cannebergière, différents types de milieux (bordure des bassins, boisés, tourbière, sable, bord de route, ...) situés dans l'environnement immédiat de deux cannebergières ont été recensés chaque semaine, du 1^{er} juin à la mi-septembre. Ce recensement nous a permis de déterminer que certaines espèces de plantes, qui, à priori, auraient pu être considérées comme faisant compétition à la canneberge parce que fleurissant en même temps, étaient des ressources importantes aux pollinisateurs présents dans la cannebergière. En effet, ces plantes, bien que fleurissant en même temps que la canneberge avaient une quantité de fleurs ouvertes beaucoup plus importante avant ou après la floraison de la canneberge que pendant; elles favorisent donc la présence des pollinisateurs dans la cannebergière. Certaines autres espèces de plantes ont été jugées vitales aux pollinisateurs car elles étaient presque les seules à leur offrir nectar et pollen à un certain moment de l'année. Comme prévu, les plantes recensées ont été classifiées selon leur fréquence, leur densité et leur attractivité. Les espèces jugées attractives pour

les pollinisateurs ont été compilées dans un tableau synthèse selon leur période de floraison. Ce tableau a été soumis à Monsieur André Payette de l'Insectarium de Montréal pour qu'il identifie les plantes qui attireraient la plus grande diversité de pollinisateurs naturels.

Selon M. Payette, plusieurs espèces d'abeilles sont présentes dans l'environnement immédiat des cannebergères cultivées. Celles-ci se déplacent et vont butiner les fleurs de canneberge durant toute sa période de floraison et contribuent ainsi de façon significative à la pollinisation de cette culture. La majorité des pollinisateurs indigènes ne se déplacent que sur de courtes distances pour aller butiner, à l'exception de l'abeille domestique et, dans une moindre mesure, la majorité des espèces de bourdons (*Bombus* spp.), qui peuvent se déplacer des distances plus importantes. Dans les cannebergères de petites superficies, les populations d'abeilles indigènes peuvent être assez abondantes pour assurer la pollinisation de la canneberge tandis que dans les cannebergères de plus grandes superficies, les pollinisateurs indigènes ne butinent le plus souvent qu'en bordure de la grande culture, faute de ressources autres que la canneberge au centre et faute d'habitats.

Les données issues du présent projet, combinées à celle de M. Payette, ont permis de dresser une liste de plantes, autres que la canneberge, importantes pour les pollinisateurs naturels parce qu'elles leur fournissent pollen et nectar. La liste de toutes les plantes inventoriées durant la saison 2005 est présentée à l'annexe I. La liste des plantes importantes de par leur caractère attractif pour les pollinisateurs est présentée au tableau 1. L'annexe II est un guide photographique des plantes importantes à conserver dans les cannebergères pour attirer les pollinisateurs en dehors de la période de floraison de la canneberge. Ce guide sera reformaté puis publié sur Agri-réseau suivant le dépôt du présent rapport.

En début de saison, soit en avril, les pollinisateurs fréquentent les bourgeons des saules (*Salix* spp.). Il s'agit de la seule ressource disponible aux pollinisateurs à ce moment. De la fin avril jusqu'en juin, soit avant la floraison de la canneberge, les plantes qui attirent les pollinisateurs sont surtout les cerisiers sauvages (*Prunus pensylvanica* et *Prunus virginiana*), les bleuets sauvages (*Vaccinium corymbosum* et *Vaccinium myrtilloides*) incluant les taxons reliés (*Vaccinium* spp.) et des espèces de Rhododendrons.

Après la floraison de la canneberge, les différentes espèces d'aster dont l'Aster à ombelles, (*Doellingeria umbellata*), les eupatoires (*Eupatorium* spp.), les verges d'or (*Solidago* spp.) (Asteraceae), le sureau blanc, (*Sambucus canadensis* L.) (Caprifoliaceae), l'épilobe à feuille étroite (*Chamerion angustifolium* L.) (Onagraceae) et les spirées (*Spiraea* spp.) (Rosaceae) comptent parmi les ressources les plus importantes pour les pollinisateurs.

Il est important de savoir reconnaître ces plantes et de les protéger lors de l'aménagement des cannebergères car elles favorisent la présence des pollinisateurs naturels. Les autres plantes inscrites au tableau 1 fleurissent en même temps que la canneberge et sont donc, dans une certaine mesure, des plantes qui font compétition à la canneberge pour les pollinisateurs. Si elles ne sont pas trop abondantes, elles sont tout de même importantes car elles favorisent la présence des pollinisateurs tout juste avant ou après la floraison de la canneberge.

Selon M. Payette, dans le Centre-du-Québec plusieurs espèces d'abeilles sont associées à plusieurs de ces plantes sauvages de même qu'aux cannebergères. Parmi les abeilles indigènes de la famille des Apidae présentent dans les cannebergères, les bourdons (*Bombus* spp.) sont les plus abondants, en particulier le *Bombus terricola* et le *B. ternarius*. Les mégachiles (*Megachile* spp.) les plus fréquemment rencontrées sont le *Megachile frigida*, le *M. inermis* et le *M. texana*.

Tableau 1 Liste des plantes recensées dans les cannebergères ainsi qu'à proximité et ayant été jugées importantes de par leur caractère attractif pour les pollinisateurs.

Famille	Nom latin	Nom commun	PÉRIODE				Pollinisateurs
				Avant	Floraison canneberge	Après	
			Mars-avril	mai-juin	25 juin - 15 juillet	juill. - aout	
Salicaceae	Salix spp.	Saules					x
Ericaceae	Chamaedaphne calyculata	Cassandre caliculé	avril				x
Ericaceae	Rhododendron canadense	Rhododendron du Canada					x
Ericaceae	Rhododendron groenlandicum	Thé du labrador					x
Ericaceae	Vaccinium angustifolium	Bleuet à feuilles étroites					x
Ericaceae	Vaccinium corymbosum	Bleuet en corymbe					x
Ericaceae	Vaccinium myrtilloides	Bleuet fausse-myrtille					x
Rosaceae	Aronia melanocarpa	Aronie à fruits noirs					x
Rosaceae	Prunus pensylvanica	Cerisier de Pennsylvanie					x
Rosaceae	Prunus virginiana var. virginiana	Cerisier de Virginie					x
Ericaceae	Kalmia angustifolia	Kalmia à feuilles étroites					x
Rosaceae	Rubus idaeus	framboisier d'Europe					x
Rosaceae	Rubus spp. (ronce)	mûres					x
Fabaceae	Trifolium hybridum	Trèfle alsike					x
Apocynaceae	Apocynum androsaemifolium	Apocyn à feuilles d'androsème					x
Fabaceae	Melilotus albus	Mélilot blanc					x
Rosaceae	Spiraea alba var. latifolia	Spirée à larges feuilles					x
Asclepiadaceae	Asclepias syriaca	Asclépiade commune					x
Onagraceae	Chamerion angustifolium subsp. angustifolium	Épilobe à feuilles étroites					x
Polygonaceae	Fagopyrum sp.	Sarrasin					x
Rosaceae	Spiraea tomentosa	Spirée tomenteuse					x
Asteraceae	Doellingeria umbellata var. umbellata	Aster à ombelles					x
Asteraceae	Euthamia graminifolia	Verge d'or à feuilles de graminée					x
Asteraceae	Eutrochium maculatum var. maculatum	Eupatoire maculée					x
Asteraceae	Solidago spp.	Verge d'or					x
Balsaminaceae	Impatiens capensis	Impatiente du Cap					x

A.2 Taux de succès des plantes horticoles aménagées

À l'automne 2005, quinze variétés de plantes horticoles, sélectionnées pour leur attractivité envers les pollinisateurs, ont été introduites dans une plantation expérimentale en vue de mesurer leur rendement. Les plantes aménagées ont aussi été sélectionnées parce qu'elles ne fleurissaient pas en même temps que la fleur de la canneberge, évitant ainsi une compétition pour les pollinisateurs. Certains critères de tolérance bioclimatiques ont aussi été pris en compte pour faire la sélection. Ces critères sont présentés à l'annexe III.

Durant la saison 2006, la plantation a été visitée afin de vérifier la condition des plantes aménagées (mortalité hivernale) ainsi que leur taux de floraison. Deux visites étaient nécessaires – l'une avant la floraison de la canneberge et l'autre après – car certaines des plantes étaient de floraison printanière et d'autres de floraison automnale. Aucune de ces plantes n'était en floraison, voire même en développement végétatif, durant la floraison de la canneberge; elles avaient été sélectionnées pour qu'il en soit ainsi.

Les données compilées ont été mises en relation avec leur coût à l'achat afin de déterminer, parmi les plantes aménagées, celles qui seraient les plus avantageuses à aménager dans une cannebergière. Un indice qualité/prix a été calculé en divisant le taux de succès de la plante par son coût d'achat à l'unité (tableau 2).

Les résultats sont présentés par ordre décroissant de l'indice qualité/prix et selon que ces plantes fleurissent avant ou après la canneberge. Parmi les plantes qui fleurissent avant la canneberge, l'espèce la plus intéressante est la Bergénie (*Bergenia cordifolia*). Il s'agit d'une plante peu envahissante et bien adaptée à tous les sols, secs ou humides, pauvres ou riches. Cette plante tolère bien l'ensoleillement des milieux ouverts mais peut aussi tolérer la mi-ombre. Dans la plantation, le taux de survie de la Bergénie n'a été que de 50 %, mais en raison de son faible coût elle affiche un indice qualité/prix plus élevé que les autres plantes. Le taux de survie hivernale des autres plantes printanières était de 100 % mais leur prix à l'unité est moins intéressant dans la perspective d'un aménagement à grande échelle. Elles pourraient tout de même s'avérer intéressantes dans le cas où peu de ressources printanières sont disponibles aux pollinisateurs au printemps car en plus d'être résistantes, elles sont très attractives.

Après la floraison de la canneberge, les plantes ayant obtenu les meilleurs indices qualité/prix sont les trois variétés d'Orpin remarquable (*Sedum spectabile*). Il s'agit de végétaux peu exigeants supportant bien la sécheresse et les milieux ensoleillés.

Seulement trois des espèces sélectionnées pour la plantation expérimentale n'ont pas survécu à l'hiver. Il s'agit des trois variétés de Primevères denticulées (*Prima denticula*), du Chardon bleu (*Echinops ritro*) et de la Lavande vraie (*Lavandula angustifolia*). Il faut cependant noter que peu de plants ont été aménagés dans le cas du Chardon bleu et de la Lavande vraie.

Une autre option d'aménagement : l'ensemencement

Bien que la présence de pollinisateurs naturels puisse être favorisée par l'introduction de plantes dans la cannebergière, cette option ne sourie peut-être pas à tous en raison des ressources que cette activité exige (en travail et en argent) ou en raison de la superficie à aménager. Comme discuté dans le premier rapport de projet, la protection des plantes indigènes attractives naturellement présentes dans le milieu est une option intéressante. Une autre option pour augmenter l'attractivité d'une cannebergière aux pollinisateurs est de semer des plantes dans les bordures des bassins, ou même sur les chemins. La ciboulette, si semée tôt en saison, est une vivace très intéressante pour les pollinisateurs avant la floraison de la canneberge.

Le sarrasin, une annuelle extrêmement attractive, fleurira six semaines après avoir été semé; il peut donc constituer une ressource très importante pour soutenir les pollinisateurs immédiatement après la floraison de la canneberge et jusqu'en septembre.

Contrairement à une plantation de plantes vivaces, l'ensemencement doit souvent être répété chaque année. Les producteurs de canneberges peuvent cependant le faire assez facilement et à très faible coût. Chacune des trois options –introduction de plantes attractives, protection des plantes attractives déjà présentes et ensemencement – favorise l'établissement d'un plus grand nombre de pollinisateurs naturels dans le milieu. Une combinaison des trois options, selon les végétaux déjà en place, peut s'avérer très intéressante.

A. 3 Les nichoirs à bourdons

Des nichoirs à bourdons ont été installés dans les pourtours de la cannebergière au printemps 2006, ce en vue de mesurer le succès de l'aménagement de plantes horticoles effectués en bordure du bassin de canneberges et en vue de vérifier si les nichoirs eux-mêmes peuvent constituer un habitat de nidification propice à l'installation de reines bourdons autour des bassins de canneberges. Ces nichoirs ont été disposés selon le plan expérimental suivant : dix nichoirs ont été installés près de l'aménagement de plantes horticoles; dix autres ont été installés entre deux bassins de canneberges, au centre de la cannebergière; et dix autres ont été installés dans un sous-bois, à une quinzaine de mètres du bord d'un bassin de canneberges. Chacun des nichoirs était à environ à 1 mètre de hauteur du sol. En vue de mesurer le taux d'occupation dans ces trois milieux, les nichoirs ont été visités trois fois durant la saison 2006. Un taux d'adoption global de 37 % (11 nichoirs sur 30) a été observé, ce qui est élevé car on rapporte généralement un taux d'adoption de 10 % après la première année d'installation des nichoirs. Sept des 11 nichoirs adoptés, soit 23 % du nombre de nichoirs installés ou 64 % des nichoirs adoptés, étaient situés dans le sous-bois qui, quoique relativement près d'un bassin, constitue un milieu naturel. Les nichoirs placés au centre de la cannebergière montrent un taux d'adoption plus élevé que ceux installés près de l'aménagement de plantes horticoles. Le seul nichoir occupé à cet endroit a été adopté après la floraison de la canneberge, durant la floraison des plantes de floraison automnales qui ont été introduites.

L'installation de nichoirs à bourdons dans une cannebergière pourrait favoriser la présence de ces pollinisateurs dans la cannebergière. Les résultats obtenus ne permettent cependant pas d'affirmer que les plantes horticoles qui ont été introduites favorisent l'adoption des nichoirs introduits par des pollinisateurs.

Tableau 2 : Évaluation du taux de succès hivernal des espèces végétales introduites dans la plantation expérimentale et calcul de l'indice qualité/prix :

Nom vulgaire	Plante horticole Nom latin	Nombre plantés	Plants vivants	temp floraison	Avant ou après canneberge	Taux succès	Prix	Indice qualité/prix
Bergénie	<i>Bergenia cordifolia</i>	28	16	avril - mai	Avant	57%	3,60 \$	0,16
Spirée de Garland variété 'Grefsheim'	<i>Spiraea x arguta 'Grefsheim'</i>	18	18	avril-juin	Avant	100%	9,59 \$	0,10
Bruyère d'hiver	<i>Erica carnea 'Kramer's Red'</i>	11	11	avril-mai	Avant	100%	10,39 \$	0,10
Primevère denticulée	<i>Primula denticulata</i> (3 variétés)	24	0	mai et juin	Avant	0%	2,32 \$	0,00
Orpin remarquable	<i>Sedum spectabile</i> (var. brillant)	4	4	août à octobre	Après	100%	2,00 \$	0,50
Orpin remarquable	<i>Sedum spectabile</i> (Herb St-Freule)	3	3	août à octobre	Après	100%	2,00 \$	0,50
Orpin remarquable	<i>Sedum spectabile</i> (var. Indian chief)	20	16	août à octobre	Après	80%	2,00 \$	0,40
Monarde hybride	<i>Monarda x hybrida</i>	16	16	juillet/août	Après	100%	3,60 \$	0,28
Sauge de Russie	<i>Perovskia atriplicifolia</i>	3	3	août et septembre	Après	100%	3,60 \$	0,28
Liatride à épis	<i>Liatris ligulistylis</i>	7	4	juillet/août	Après	57%	3,60 \$	0,16
Liatride à épis	<i>Liatris spicata 'Kobold'</i>	16	8	juillet/août	Après	50%	3,60 \$	0,14
Bruyère d'automne	<i>Calluna vulgaris</i>	5	5	juillet à septembre	Après	100%	10,00 \$	0,10
Aster de la Nouvelle-Angleterre	<i>Aster novae-angliae</i>	5	5	septembre et octobre	Après	100%	10,36 \$	0,10
Chardon bleu	<i>Echinops ritro</i>	2	0	juillet et août	Après	0%	3,60 \$	0,00
Lavande vraie	<i>Lavandula angustifolia</i>	8	0	juillet et août	Après	0%	2,00 \$	0,00



Figure 1 : Plantation des plantes horticoles en bordure d'un bassin de canneberges.



Figure 2: La Bergenie (*Bergenia cordifolia*), une plante horticole qui fleurit avant la canneberge et qui est très attractive pour les pollinisateurs. À gauche : Bergénie avant sa floraison. À droite : plante en fleurs.



Figure 3 : L'Orpin remarquable (*Sedum spectabile*), une plante horticole qui fleurit après la canneberge et qui est très attractive pour les pollinisateurs. À gauche : Orpin remarquable avant sa floraison. À droite : plante en fleurs.

Tableau 3: Nombre de nichoirs adoptés (sur 10) par une reine bourdon (*Bombus sp.*) au moment des visites (visite 1 : 27 juin 2006 ; visite 2 : 19 juillet 2006 ; visite 3 : 18 août 2006).

Visite	Sous-bois	Aménagement de plantes horticoles	Centre de la cannebergière
Visite 1	2	0	1
Visite 2	2	0	1
Visite 3	3	1	1 (pas le même que lors de la visite 1)



Figure 4 Nichoirs à bourdons installés au centre de la cannebergière, entre deux bassins (19 juillet 2006).

Photo : Madeleine Chagnon



Figure 5 : Installation d'un nichoir à bourdons dans un sous-bois, en bordure de la cannebergère. Photo : Madeleine Chagnon.



Figure 6 : Ouverture d'un nichoir afin de vérifier s'il est occupé (19 juillet 2006).

B) Volet I : Analyse des résultats obtenus pour l'ensemble du projet

B.1 Pollinisateurs naturels et plantes indigènes

La première année du projet a été consacrée au recensement des plantes indigènes attractives aux pollinisateurs présentes dans un milieu de cannebergère. Pour ce faire, dix-huit parcelles ont été délimitées dans différents types de milieux (bordures de bassins de canneberges, sous-bois, bords de routes, champs non cultivés, ...) puis visités chaque semaine, du 1er juin à la mi-septembre, pour y identifier les plantes en fleurs. Des recensements ont aussi effectués en dehors de ces parcelles. Les données obtenues ont été résumées sous la forme d'une liste de plantes indigènes selon la chronologie saisonnière de leur temps de floraison (avant, pendant ou après la floraison de la canneberge). Cette liste a été soumise à André Payette, entomologiste à l'Insectarium de Montréal. À partir de sa base de données personnelle, M. Payette nous a précisé, parmi les plantes recensées, les plantes les plus attractives pour les pollinisateurs présents dans les cannebergères. Une deuxième liste de plantes, ne comptant que les espèces de plantes les plus attractives aux pollinisateurs, a ainsi été établie. Un guide photographique de ces plantes sera remis aux producteurs de canneberges afin qu'ils soient en mesure de reconnaître les plantes à protéger lors de l'aménagement de leurs bassins.

Indicateur de réussite escompté :

Indicateur de réussite

Avoir en main une liste des plantes indigènes attractives aux pollinisateurs et qui fleurissent durant des périodes qui excluent une possibilité de compétition avec la canneberge.

Analyse des résultats obtenus

Le recensement effectué durant la première année du projet nous a permis de déterminer quelles plantes indigènes étaient présentes dans un milieu de cannebergère de la région des Bois-Francs, lesquelles sont utilisées comme ressources alimentaires par les populations de pollinisateurs naturels et quelle est leur période de floraison. Nous savons également lesquelles sont les plus attractives, les plus fréquentes et les plus abondantes. Ceci est important car l'attractivité, la fréquence et l'abondance sont les trois principaux facteurs qui déterminent les préférences des bourdons – les pollinisateurs les plus efficaces de la canneberge – face à une ressource. Ainsi, les plantes retrouvées partout et en grande quantité et qui offrent un nectar ou du pollen attractifs sont celles que l'on doit protéger. Grâce au recensement, nous savons également quelles plantes attractives fleurissent en même temps que la canneberge et qui, si retrouvées en trop forte densité, peuvent faire compétition à la canneberge, au détriment de cette dernière, pour la pollinisation.

Une liste détaillée des plantes recensées est disponible à l'annexe I et une liste des plantes importantes pour les pollinisateurs est disponible au tableau 1.

D'avril au début juin, les espèces de tourbières, soit les Éricacées, sont très importantes : le Bleuet, le Faux-bleuet (Cassandre caliculé), le Rhododendron du Canada, le Kalmia à feuilles d'Andromède, le Thé du Labrador et l'Andromède glauque, espèces très attractives pour les bourdons en particulier, sont pratiquement les seules ressources disponibles à cette période de l'année. Quelques Rosacées, tel l'Amélanchier arbre et le Fraisier de Virginie, sont également présentes. Certaines Composées, telles le Tussilage farfara et le Pissenlit officinal sont aussi abondants pour soutenir les populations de

pollinisateurs dans les champs secs. Les différentes espèces de saules, présentes un peu partout dans le milieu sont aussi très importantes. Très peu d'espèces de plantes indigènes sont présentes au centre de la cannebergère, là où la présence de pollinisateurs est la plus importante au moment de la floraison de la canneberge. Seuls les pourtours et les milieux adjacents (tourbières, champs) sont colonisés par ces végétaux. Le fauchage est trop souvent répété pour permettre à ces espèces, souvent des arbustes et des arbres, de s'établir dans la cannebergère et fournir une ressource alimentaire aux pollinisateurs. Leur présence au milieu de la cannebergère serait avantageuse car les reines bourdons, au sortir de leur hibernation en avril ou en mai, établissent leur colonie là où les ressources alimentaires sont présentes. Comme le rayon d'action des différentes espèces de pollinisateurs est assez faible (environ 300 mètres pour les espèces de bourdons), la présence de ces plantes serait à favoriser dans toute la cannebergère. Pour ce faire, il serait nécessaire, lors de la construction de bassins de canneberges, de penser à laisser des bandes naturelles non fauchées à tous les trois bassins environ. Ceci permettrait non seulement l'établissement de ces espèces végétales printanières, mais également de créer des habitats pour les pollinisateurs (par exemple des habitats de nidification pour les reines bourdons).

Du début juin à la mi-juin, les Légumineuses (Vesce jargeau, Trèfle blanc, Trèfle hybride, Trèfle rouge, Trèfle agraire) commencent à constituer une ressource alimentaire adéquate et abondante. Il en est de même pour les Composées, dont les espèces de laitrons. Ces plantes sont importantes car elles sont les seules dont la présence est assez importante pour assurer, dans tout le milieu, une nourriture aux pollinisateurs, ce juste avant la floraison de la canneberge. Par ailleurs, bien que ces plantes continuent à fleurir pendant la floraison de la canneberge, il est important de favoriser leur présence en ne fauchant pas les pourtours des bassins de canneberge de façon systématique. Une solution envisagée serait de faucher progressivement, un côté de bassin à la fois (par exemple, la moitié du pourtour des bassins une année et l'autre moitié l'année suivante). De cette façon, ces espèces pourraient être présentes pour fournir une nourriture adéquate aux pollinisateurs juste avant la floraison de la canneberge sans être trop abondantes lorsque la canneberge fleurit, permettant d'éviter la compétition. En effet, bien que l'attractivité d'une plante soit un facteur qui influence le choix du bourdon, sa forte densité (comme c'est le cas pour les fleurs de canneberges) en est un autre.

Il est important de noter que les bourdons ne se comportent pas comme l'Abeille domestique. En effet, les bourdons ne communiquent pas entre eux tandis que les abeilles domestiques, trouvant une source de nourriture intéressante, iront le communiquer à leurs congénères. Bien que les bourdons aient des préférences et qu'ils puissent trouver plus facilement les zones denses en fleurs, ils sont plutôt des butineurs accidentels, c'est-à-dire qu'ils se promènent d'une fleur à l'autre de manière quasi aléatoire sur une distance d'environ 300 mètres. Dans le cas des bourdons, il n'est pas désavantageux d'avoir des ressources florales disponibles en même temps que la période de floraison de la canneberge. On croit même que ces ressources constituent un avantage pour la pollinisation de la canneberge par le bourdon car elles font un « pont » entre le nid du bourdon et la culture à polliniser. Dans les cannebergères de grande superficie, ces ressources florales sont importantes si elles ne sont pas retrouvées en trop forte densité car elles guident les bourdons jusqu'aux fleurs de canneberges. Si aucune ressource florale n'est disponible entre le nid et le bassin de canneberge, les bourdons n'iront pas dans cette direction. En outre, contrairement à l'abeille domestique, le bourdon aime bien la canneberge. Le contrôle des plantes qui fleurissent en même temps que la canneberge est donc recommandé seulement lorsque le producteur de canneberges loue des ruches d'abeilles domestiques car celles-ci, par la communication, iront vers ces autres espèces végétales même si elles ne sont pas retrouvées en très forte densité.

De la mi-juin à la mi-juillet, soit pendant la période de floraison de la canneberge (27 juin au 18 juillet), l'Aralie hispide est une espèce très dominante de même que le Dièreville chèvrefeuille, le Murier et le Millepertuis commun. Les bourdons, les abeilles et les mégachiles sont très attirés par ces quatre plantes, lesquelles occupaient la cannebergère à l'étude en très forte densité et tous les types de milieux, en particulier l'Aralie hispide et le Millepertuis commun. Par contre, tout comme les légumineuses, ces

quatre espèces continuent de fournir des ressources alimentaires aux pollinisateurs un peu avant, mais surtout après la floraison de la canneberge, soit jusqu'au mois d'août. Elles ne doivent donc pas être éliminées complètement d'une cannebergière, mais un certain contrôle pourrait être envisagé lorsqu'elles deviennent très abondantes. D'autres espèces fournissent également des ressources alimentaires aux pollinisateurs pendant la floraison de la canneberge, mais surtout après : l'Épilobe à feuilles étroites, la Spirée à larges feuilles, l'Asclépiade commune, l'Onagre, l'Apocyn à feuilles d'androsème, la Renouée à feuilles de Patience, la Rudbeckie hérissée, le Pigamon pubescent, la Linaire vulgaire et le Mélilot blanc. De ces espèces, seuls l'Apocyn à feuilles d'androsème et l'Asclépiade commune, très attractifs, ne sont pas favorables dans une cannebergière car en plus de faire compétition à la canneberge, ils peuvent nuire aux plus petits pollinisateurs en les trappant. Les autres espèces, bien qu'offrant une densité intéressante, ne sont pas retrouvées en aussi forte densité que l'Aralie hispide et que le Millepertuis commun et nous ne croyons pas qu'elles détournent les pollinisateurs des fleurs de canneberges. Ces plantes n'occupent pas toute la cannebergière, mais plutôt dans les bordures.

Après la floraison de la canneberge, soit de la mi-juillet à la fin août, la Spirée tomenteuse de même que la Renouée persicaire et l'Impatiante du Cap ainsi que les différentes Composées comme différentes espèces de verges d'or, d'asters, de chardons, l'Anaphale marguerite, l'Eupatoire maculé, le Léontodon d'automne fleurissent. Durant les mois de septembre et d'octobre, seules les espèces d'asters et de verges d'or se retrouvent en quantité suffisante pour fournir une ressource adéquate aux pollinisateurs encore actifs. Toutes ces espèces, particulièrement les espèces d'asters et de verges d'or, parce que très présentes dans tous les types de milieux, notamment autour des bassins de canneberges, sont donc très importantes. En effet, la reine bourdon doit bénéficier de ces ressources pour constituer ses réserves de graisses nécessaires à son hibernation.

Les autres espèces recensées ne se trouvaient pas en densité suffisante, n'étaient pas suffisamment fréquentes ou suffisamment attractives pour être considérées comme importantes aux pollinisateurs : dans la liste de l'annexe 1, elles ont été classées comme non-significatives. Les espèces de potentilles par exemple, considérées d'intérêt pour le bourdon dans la littérature et quelquefois retrouvées en densité ou en fréquence importantes, n'ont pas été vues en train de se faire polliniser sur le terrain par les espèces de bourdons ou les autres espèces de pollinisateurs. D'autres espèces (la Menthe du Canada par exemple) étaient très attractives mais n'étaient pas assez abondantes. Ces plantes ont tout de même leur importance car plus un habitat est diversifié en végétaux, plus il le sera dans sa faune pollinisatrice. Il est aussi possible que ces espèces tiennent une place plus importante dans d'autres cannebergières.

Les résultats obtenus par ce recensement sont très satisfaisants car nous avons en main une liste de plusieurs plantes indigènes pouvant occuper l'environnement même de la cannebergière et offrir des ressources alimentaires importantes pour les pollinisateurs en périodes critiques (printemps et automne), et pouvant coloniser le milieu de façon assez importante pour permettre d'augmenter les effectifs des populations de pollinisateurs naturels dans les bassins de canneberges si elles sont protégées.

B.2 Taux de succès des plantes horticoles aménagées

Durant la première année du projet (2005), une liste de plantes horticoles fleurissant avant ou après la canneberge et pouvant potentiellement être aménagées dans une cannebergière a été dressée. Les critères utilisés pour dresser cette liste de plantes étaient l'attractivité, le coût, la disponibilité, les exigences environnementales (tolérance à un pH acide, à un plein ensoleillement, à un sol pauvre, ...) et la rusticité. L'annexe III présente les plantes sélectionnées ainsi que leurs caractéristiques. À partir de cette liste, une plantation de quinze variétés différentes a été aménagée en bordure d'un bassin de canneberges à l'automne 2005, dans la cannebergière de M. Fortier à Notre-Dame-de-Lourdes (région des Bois-Francs).

En 2006, le taux de succès des plantes aménagées a été mesuré. Pour chacune des plantes aménagées, un indice qualité/prix a été calculé à partir du taux de succès et du coût à l'achat.

Indicateurs de réussite escomptés

Avoir en main une liste des plantes horticoles attractives aux pollinisateurs, appropriées pour les régions du Québec où se cultive la canneberge et ne fleurissant pas en même temps que cette dernière. Cette liste devra comporter des plantes pré et post-floraison de la canneberge.

Les plantes vivaces plantées, semées ou relocalisées s'adaptent bien à leur nouveau milieu et semblent bénéfiques aux pollinisateurs indigènes locaux.

Analyse des résultats obtenus:

Pour que les plantes horticoles soient intéressantes à aménager, elles doivent être attractives pour les pollinisateurs, de faible coût, faciles à entretenir, tolérantes et doivent fleurir soit avant ou après la floraison de la canneberge, en évitant la période de floraison de la canneberge. L'environnement qu'offre une cannebergière est assez restrictif; le sol est souvent sableux et acide, les plantes sont exposées aux vents et au froid et sont situées en plein soleil.

À partir de listes d'espèces végétales d'intérêt pour les bourdons (par exemple, voir <http://tomclothier.hort.net/page42.html>) et d'un guide Botanix, une liste de plantes attractives aux pollinisateurs et rustiques à la région des Bois-Francs a été établie. Bon nombre des espèces de plantes attractives de cette liste ont été rejetées en raison de leur prix, de leur période de floraison, de leur tendance à l'envahissement, de leur fragilité aux maladies ou des soins qu'elles exigent (protection hivernale par exemple). Des plantes restantes, quinze variétés ont été aménagées dans une plantation expérimentale, en bordure d'un bassin de canneberges. L'annexe III présente la liste de ces variétés ainsi que leurs caractéristiques.

Durant la deuxième année du projet, le taux de survie des plantes aménagées a été mesuré de même qu'un indice qualité/prix. Le tableau 2 présente les résultats obtenus. Les résultats sont présentés par ordre décroissant de l'indice qualité/prix et selon que ces plantes fleurissent avant ou après la canneberge. Parmi les plantes qui fleurissent avant la canneberge, l'espèce la plus intéressante est la Bergénie (*Bergenia cordifolia*). Il s'agit d'une plante peu envahissante et bien adaptée à tous les sols, secs ou humides, pauvres ou riches. Cette plante tolère bien l'ensoleillement des milieux ouverts mais peut aussi tolérer la mi-ombre. Dans la plantation, le taux de survie de la Bergénie n'a été que de 50 %, mais en raison de son faible coût elle affiche un indice qualité/prix plus élevé que les autres plantes. Le taux de survie hivernale des autres plantes printanières était de 100 % mais leur prix à l'unité est moins intéressant dans la perspective d'un aménagement à grande échelle. Elles pourraient tout de même s'avérer intéressantes dans le cas où peu de ressources printanières sont disponibles aux pollinisateurs au printemps car en plus d'être résistantes, elles sont très attractives.

Après la floraison de la canneberge, les plantes ayant obtenu les meilleurs indices qualité/prix sont les trois variétés d'Orpin remarquable (*Sedum spectabile*). Il s'agit de végétaux peu exigeants supportant bien la sécheresse et les milieux ensoleillés.

Seulement trois des espèces sélectionnées pour la plantation expérimentale n'ont pas survécu à l'hiver. Il s'agit des trois variétés de Primevères denticulées (*Prima denticula*), du Chardon bleu (*Echinops ritro*) et de la Lavande vraie (*Lavandula angustifolia*). Il faut cependant noter que peu de plants ont été aménagés dans le cas du Chardon bleu et de la Lavande vraie.

D'autres espèces, non sélectionnées dans le cadre de ce projet ont un potentiel intéressant. Les espèces de Rosacées arbres comme les pruniers, les cerisiers et les amélanchiers de même que différentes espèces d'Éricacées (les rhododendrons par exemple) pourraient fournir une ressource alimentaire intéressante aux pollinisateurs, mais leur prix élevé, le temps nécessaire à leur croissance et l'espace qu'elles exigent pour croître rend leur aménagement difficile. Il nous aurait par ailleurs été impossible de juger de leur rendement. Il a été plus difficile de sélectionner des plantes fleurissant avant la canneberge qu'après, mais nous nous sommes assurés de tester des plantes de manière à ce qu'il y ait des fleurs durant toute la période active du bourdon, soit d'avril à octobre. Une autre vivace intéressante, dont l'aménagement s'effectue par un ensemencement ou une transplantation printanière est la ciboulette, qui fleurit avant la canneberge. Cette plante n'a toutefois pas été mise à l'essai dans le cadre du présent projet.

Deux annuelles pourraient également se montrer très intéressantes. La bourrache (*Borago officinalis*), une Boraginacée très mellifère à fleurs bleu vif et tolérant des pH acides, fleurit huit semaines après l'ensemencement. Si la bourrache est semée le 1 juin, elle fleurira en début août. Le coût des semences de bourrache est d'environ 80 \$ le kilo. Le sarrasin, une Polygonacée, a été testé par M. Pierre Fortier à l'été 2005 et s'est montré extrêmement intéressant. Le sarrasin fleurit six semaines après l'ensemencement et offre une ressource alimentaire très attractive et nourrissante durant plus d'un mois. Son coût est très minime (quelques dollars le kilo) et il colonise très bien les chemins de sable qui entourent les bassins de canneberges. L'intérêt de ces deux annuelles, hormis leur forte attractivité et leur faible coût est la possibilité de contrôler leur période de floraison. Ainsi, ces deux plantes peuvent offrir, en ensemençant deux ou trois fois, à quelques semaines d'intervalle, des ressources alimentaires pouvant s'étendre de juillet à octobre. Les annuelles fleurissent en quelques semaines et peuvent permettre de maximiser l'espace aménagé, notamment en étant semées dans les chemins en sable autour des bassins de canneberges. Par contre, le processus d'ensemencement doit être recommencé à tous les ans. Certaines fines herbes – l'aneth, la coriandre, la sarriette, la mélisse, la menthe, l'origan, la sauge, le thym et l'estragon – pourraient aussi être envisagées car selon la littérature elles sont favorables aux bourdons. Ce sont des plantes toutefois plus exigeantes en matière de sol et certaines espèces, dont la menthe, peuvent être envahissantes. Leur aménagement devrait donc se faire dans un espace réservé à cet effet.

Nous sommes satisfaits des résultats obtenus car nous avons identifié les plantes horticoles adaptées aux zones propices à la culture de la canneberge et acquis des connaissances sur leur période de floraison, sur leurs coûts et sur la possibilité de les aménager. Nous avons en main une liste de plantes bien adaptées à l'environnement d'une cannebergère, dont les coûts sont peu élevés et qui, lorsque mises ensemble, offrent des fleurs durant toute la période active des bourdons, sauf durant la floraison de la canneberge.

Les espèces printanières sont très importantes pour combler les besoins nutritifs des reines bourdons qui établissent leur colonie, mais rares sont les espèces horticoles qui peuvent être aménagées dans une cannebergère, tout comme sont rares les plantes indigènes qui occupent les bordures des bassins de canneberges. La plupart des espèces horticoles de floraison printanière sont onéreuses et nécessitent beaucoup l'espace : c'est le cas des Rosacées, des Rhododendrons et des Éricacées. Le producteur de canneberges désireux d'augmenter les ressources alimentaires printanières devrait donc penser à investir dans l'achat de plantes horticoles à floraison printanière, réserver de l'espace pour les aménager, mais aussi protéger les espèces indigènes de floraison printanière déjà présentes. Quatre plantes horticoles printanières peu chères et qui nécessitent peu d'espace sont toutefois envisageables : la ciboulette, la Bruyère d'hiver (environ 11 \$ le plant), la Bergénie (environ 3,50 \$ le plant) et la Spirée de Garland variété « Greifshiem » (environ 10 \$ le plant).

A. 3 Les nichoirs à bourdons

Trente nichoirs à bourdons ont été installés aux pourtours de la cannebergière au printemps 2006 : dix à proximité de l'aménagement de plantes horticoles introduites; dix dans un sous-bois (habitat naturel) et dix au centre de la cannebergière (là où peu de ressources sont disponibles, hormis la canneberge). Le taux d'adoption par des reines bourdons des dix nichoirs disposés près de l'aménagement de plantes horticoles a été comparé aux taux d'adoption des nichoirs placés dans les deux autres types de milieux.

Indicateur de réussite escompté :

Au moins 50% des nichoirs ont été adoptés par des reines au début de la deuxième saison du projet.

Analyse des résultats obtenus

Nos résultats ne permettent pas de confirmer que l'aménagement de plantes horticoles favorise la présence de bourdons dans une cannebergière. En effet, des trois milieux dans lesquels des nichoirs ont été installés, la plantation compte le moins grand nombre de nichoirs adoptés. L'aménagement réalisé était toutefois de très petite superficie (200 m X 2 m environ en bordure d'un bassin de canneberges) et comprenait des plantes n'ayant pas toutes eues un taux de survie hivernal intéressant. Une plantation plus étendue, ne comprenant que les espèces recommandées, pourrait probablement avoir plus de succès. Par ailleurs, il est possible que les reines bourdons adoptent ces nichoirs au cours des prochaines années, lorsque les plantes couvriront une plus grande superficie.

Un taux d'adoption global de 37 % a été mesuré pour l'ensemble des nichoirs installés. Bien que cela n'atteigne pas le taux de 50 % que nous nous étions fixés, ce taux est plus élevé que celui rapporté dans la littérature pour une première année, à savoir 10 %.

Il est intéressant de constater qu'il y a eu adoption de nichoirs même au centre de la cannebergière. Il est vrai que M. Fortier, le propriétaire de la cannebergière dans laquelle l'expérience s'est menée, reconnaît l'importance des plantes indigènes pour les pollinisateurs et qu'on retrouve une grande variété de plantes indigènes en fleurs en bordure des bassins, même au centre de la cannebergière. Fait inattendu, nos résultats (tableau 3) montrent que le nombre de nichoirs adoptés augmente avec l'avancement de la saison, peut-être en raison de la présence de plantes attractives qui fleurissent après la canneberge à ces endroits. D'ordinaire, les reines bourdons établissent leur colonie au printemps. Il se pourrait qu'une reine se soit relocalisée durant la saison estivale en raison de perturbation de son site de nidification. .

On rapporte dans la littérature que le taux d'adoption des nichoirs augmente généralement d'année en année. Il est donc recommandé, lorsqu'on choisi de commencer cette pratique, de persister d'année en année afin d'encourager l'augmentation du taux d'occupation des nichoirs. Il est important de savoir que la reine bourdon ayant colonisé un nichoir aura tendance à établir sa colonie dans le même milieu l'année suivante. Il en va de même pour ses filles reines. Il faut cependant des habitats propices à l'établissement des nids (nichoirs ou nids naturels) soient

disponibles. Ainsi, dans les cannebergières où peu d'habitat de nidification est disponible, les nichoirs peuvent être une option intéressante pour augmenter les effectifs des populations indigènes de bourdons.

Les abeilles indigènes qui fréquentent les cannebergières sont le plus souvent considérées comme des pollinisateurs auxiliaires ou supplémentaires aux abeilles dites commerciales – l'abeille domestique (*Apis mellifera*), les bourdons (*Bombus* spp.) et la découpeuse de la luzerne (*Megachile rotundata*) – lesquelles sont utilisées de façon massive dans cette culture. Cependant, comme la culture de la canneberge occupe une superficie de plus en plus grande (Asselin, 2005) et qu'il en coûte cher de louer des pollinisateurs, il devient important d'accorder une attention particulière aux populations de pollinisateurs indigènes et de mettre en œuvre des mesures visant à favoriser leur présence. La protection des ressources florales déjà présentes dans l'agroécosystème des cannebergières et l'aménagement de plantes autres que la canneberge, qui offriront des ressources alimentaires durant toute la période d'activité des pollinisateurs et qui offriront également de l'habitat, de même que l'aménagement de sites de nidification (nichoirs, boisés, buttes surélevées, etc) sont des mesures qui contribuent à soutenir les populations d'abeilles indigènes et donc à la pollinisation de cette culture.

2.1.2 VOLET II : FORCE DES RUCHES

Les objectifs de ce deuxième volet était de vérifier s'il était possible de déterminer la force d'une ruche par des observations visuelles sur le plateau d'envol et de déterminer le seuil au dessous duquel une ruche était constituée d'un trop faible effectif de butineuses pour être adéquate à la pollinisation, ce dans le but de fournir aux producteurs de canneberges une méthode simple pour évaluer la force des ruches qu'ils louent pour la pollinisation de leur culture. Comme il est discuté en détails au volet III du présent rapport, la force d'une ruche a une influence directe sur le nombre de fleurs de canneberges qui seront pollinisées et sur la qualité des fruits qui en résultent.

En 2006, ce volet a été réalisé suivant une méthode très semblable à celle suivie en 2005. Ainsi, 36 ruches ont été préparées par le personnel du CRSAD pour ensuite être transportées dans la cannebergière de M. Asselin, à St-Sylvère. Dix-huit de ces ruches ont été préparées de manière à être considérées « faibles », mais viables (moins de 750 pouces² de couvain vivant – ou 18 750 cellules – et 18 000 ouvrières adultes). Les 18 autres ruches ont été préparées de manière à être considérées « fortes » (3 000 po² d'espace de ponte, 1 000 po² de couvain vivant – ou 25000 cellules – et 24 000 ouvrières adultes recouvrant 10 cadres, et 10 livres ou plus de miel), sans toutefois dépasser la force qui permettrait normalement à un apiculteur de les déplacer pour la pollinisation. Les ruches ont été évaluées le 6 mai et le 19 juin afin de connaître les forces en couvain de chacune. Le couvain total (operculé, non operculé et les oeufs) est évalué par la mesure de la surface des cadres occupée et en appliquant un taux de 3,9 cellules par cm². Le nombre d'abeilles est évalué tôt le matin en comparant la surface des cadres avec des photos de cadres sur lequel le nombre d'abeilles a déjà été compté. Les abeilles adultes présentes dans la ruche ont aussi été dénombrées par estimation du nombre d'individus sur les cadres. Ces évaluations (abeilles adultes et couvain) ont aussi été effectuées à la suite des observations sur le terrain.

Les ruches sont arrivées dans la cannebergière de M. Asselin le 7 juillet et ont été laissées en place jusqu'au 17 juillet. Six de ces ruches ont été équipées d'un activimètre, appareil servant à dénombrer électroniquement les abeilles qui entrent et sortent de la ruche. Il était technologiquement impossible d'utiliser un plus grand nombre d'activimètres vu l'apport d'énergie que ces appareils exigent (des batteries marines doivent être souvent changées et chargées). Pour la deuxième année du projet, les données électroniques ont été saisies seulement entre 10 h et 16 h. En 2005, ces données avaient été prises entre 8h et 18h. Cette décision a été prise à la suite de l'examen des données de l'année 2005, qui démontraient que l'activité des butineuses est plus constante et plus importante durant cette période.

Parallèlement à ces enregistrements électroniques, des observations visuelles ont aussi été effectuées, durant toute la période de floraison de la canneberge et donc de butinage des abeilles domestiques sur ces fleurs. Les observations visuelles ont aussi été effectuées entre 11 h et 15 h, et seulement en période d'ensoleillement. Ces deux restrictions permettent d'exclure des variables inhérentes aux variations climatiques, dont les conséquences sur l'activité des abeilles sont bien connues.

Les observations visuelles ont été effectuées de la manière suivante : un observateur se présentait à la ruche et comptait le nombre d'abeilles sortant de la ruche à partir de la plateforme d'envol. Trois modifications majeures ont toutefois été apportées au procédé qui avait été utilisé lors de la première année du projet.



Figure 7 : Évaluation de la force des ruches selon la méthode Hoopingartner, 1996



Figure 8: Ruche munie d'un activimètre électronique.

Premièrement, seules les sorties d'abeilles ont été enregistrées en 2006 alors qu'en 2005 les entrées et les sorties étaient enregistrées. Cette modification découle du fait que nous avons constaté une importante marge d'erreur entre observateurs en 2005. En effet, il arrive parfois que les abeilles hésitent sur la plateforme d'envol lorsqu'elles entrent dans la ruche, et cela exige une attention soutenue de l'observateur et donc un manque d'attention en regard des abeilles qui sortent. Par ailleurs, il est plus facile d'observer les sorties que les entrées en raison du comportement plus rectiligne des butineuses (sortie rapide en ligne droite). En ne dénombrant que les abeilles sortantes, l'observateur risque moins de manquer un passage, surtout lorsque l'activité est grande.

La deuxième modification apportée au protocole concerne le temps d'observation, qui est passé de 60 secondes à 30 secondes. En dénombrant pendant seulement 30 secondes, il est plus facile l'observateur de demeurer concentré, et les observations peuvent être répétées un plus grand nombre de fois. Le tableau 4 montre que la précision demeure presque identique peu importe si l'observateur dénombre les abeilles sortantes pendant 15, 30, 60 ou 120 secondes. En effet, le facteur multiplicatif observé est très près du facteur multiplicatif théorique. De dénombrer les abeilles sortantes durant 30 secondes plutôt que 60 secondes rend aussi l'outil plus pratique aux producteurs de canneberges.

Tableau 4 : Nombre moyen d'abeilles sortantes selon des plages d'observation de 15, 30, 60 et 120 secondes.

Temps d'observation (secondes)	Nombre moyen d'abeilles sortantes observées	Facteur multiplicatif (théorique)	Facteur multiplicatif (observé)
15	26.3	0.25	0.22
30	56.3	0.50	0.48
60	117	1.00	1.00
120	241	2.00	2.06

Les résultats exposés ci-dessous sont issus d'observations de 30 secondes répétées trois fois consécutives. Au total, six périodes d'observation ont été enregistrées par la technique visuelle entre le 7 juillet et le 18 juillet 2006, à une fréquence de deux fois par semaine.

La troisième modification apportée au procédé de dénombrement visuel concerne le nombre de ruches dépourvues d'activimètre utilisées. En 2005, seules les ruches plus faibles ont été utilisées.

Les ruches "fortes" étaient beaucoup trop fortes (en abeilles et en couvain) pour permettre à l'observateur de dénombrer les abeilles sortantes de manière précise; elles n'ont donc pas été utilisées. Les résultats issus de ces observations auraient de toute façon été sans valeur car le but était de déterminer le seuil minimum acceptable de la force des ruches (le bas de la courbe) alors que ces ruches nous donnaient des résultats bien au-dessus de ce seuil minimum (haut de la courbe), ce de façon imprécise.

Par ailleurs, le protocole initial prévoyait de mettre en relation la force des ruches avec les observations de densité d'abeilles sur les fleurs. En cours de projet, nous nous sommes rendus compte qu'un tel objectif était impossible à réaliser lorsque plusieurs ruches se trouvent dans une même cannebergère : les abeilles butinent trop loin de leur ruche et il est impossible de distinguer l'apport de chacune des ruches en butineuses sur les fleurs de canneberges, quelque soit leur force. La densité d'abeilles qui butinent sur les fleurs de la canneberge, en relation avec différents paramètres, a néanmoins été étudiée en détail dans le volet III du projet.

A) Volet II : Résultats obtenus et analyse depuis le dernier rapport d'étape

Les résultats obtenus en 2006 démontrent que les observations visuelles reflètent les données journalières enregistrées par les activimètres électroniques (Figure 9) et qu'elles permettent de juger efficacement de la force d'une ruche. Il est donc possible pour un producteur de déterminer, en dénombrant le nombre d'abeilles sortantes durant 30 secondes, si une ruche convient à la pollinisation. Les paragraphes qui suivent expliquent comment nous y sommes arrivés.

D'abord, nous avons pu démontrer que les données d'observations visuelles correspondaient aux données prises par les activimètres électroniques. Les données enregistrées par les activimètres étaient prises tous les jours et de manière continue entre 11 h à 16 h. Ces périodes d'enregistrement incluent donc les journées sombres et pluvieuses ainsi que les périodes de la journée où l'activité de butinage est plus faible. Il est donc normal que les moyennes journalières enregistrées issues des activimètres soient plus faibles que les moyennes calculées à partir des observations visuelles, effectuées en conditions idéales. Les résultats issus des deux méthodes d'enregistrement de l'activité sont néanmoins reliés de manière significative ($R^2=0,7$) (Figure 9). Cela nous assure que les conditions d'observations recommandées, c'est-à-dire la plage horaire (entre 11 h et 15 h) et les conditions climatiques (ensoleillement), reflètent bien l'activité de la ruche sur une période plus longue.

Par la suite, les données issues des observations visuelles ont été mises en relation avec les données enregistrées par les activimètres durant la même période d'observation ponctuelle (figure 10). Puisque les observations visuelles duraient 30 secondes et étaient répétées 3 fois, la plage d'observation était d'environ 2 minutes. Les observations électroniques enregistrées durant ces mêmes 2 minutes ont ainsi été notées. Ces enregistrements incluent les entrées et les sorties. Il était donc prévisible que les valeurs enregistrées électroniquement soient d'un ordre de grandeur d'environ 8 fois plus grand que celles issues des observations visuelles (2 minutes par rapport à 30 secondes et entrées et sorties). Nos résultats montrent qu'une observation de 30 secondes du nombre de sorties d'abeilles sur le plateau d'envol correspond à 71 % à ce qui est enregistré par l'activimètre électronique ($N=52$; $P < 0,00$).

Les observations faites visuellement (nombre de butineuses sortantes par 30 secondes) ont par la suite été mises en relation avec la force de ruche. L'image de la force d'une colonie à l'intérieur d'une ruche peut être représentée soit par son couvain seul, soit par le total du couvain et des abeilles d'intérieur. Nous avons convenu d'offrir parallèlement ces deux représentations de la force d'une colonie. Les valeurs obtenues pour chacune des ruches de l'étude ont été mises en relation avec les valeurs d'activité des abeilles sur la planche d'envol, c'est-à-dire le nombre de butineuses sortantes par 30 secondes (figure 11).

Selon les conditions de départ, les ruches sont considérées adéquates à la pollinisation (forte) lorsque la somme des abeilles d'intérieur et du couvain est supérieure à 37 500. Cela équivaut à un minimum de 4 500 cm² (700 po²) de surface de couvain et à un minimum de 20 000 abeilles.

Selon le modèle de la figure 11, à cette force de couvain (37 000) entre 53 et 60 butineuses sortent de la ruche en 30 secondes. Ainsi, lorsque moins de 53 butineuses sortantes sont dénombrées en 30 secondes à une ruche, cette dernière est considérée trop faible pour la pollinisation.

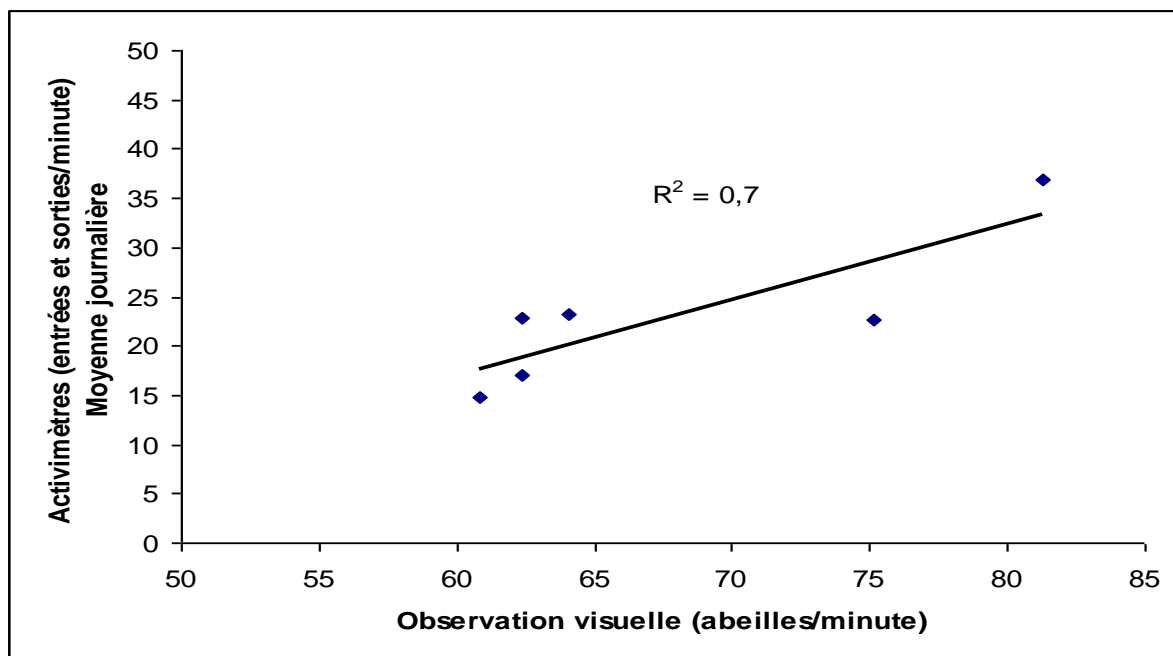


Figure 9 : Relation entre le nombre de sorties de butineuses observé par la méthode visuelle et le nombre d'entrées et de sorties de butineuses enregistré par l'activimètre placé sur cette même ruche (moyenne pour chaque ruche).

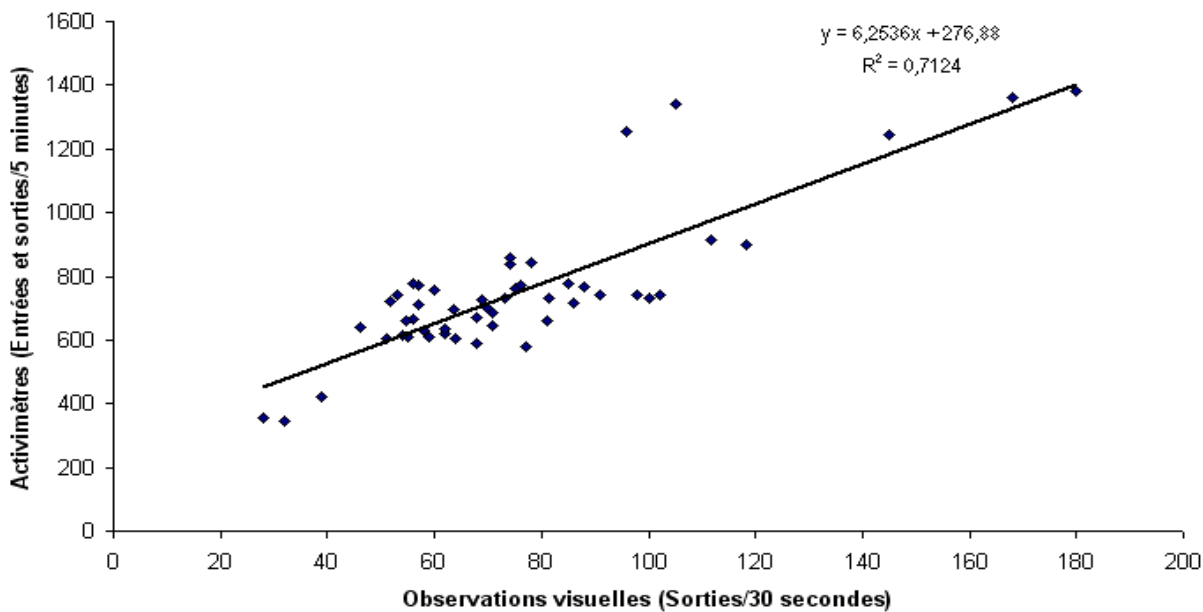


Figure 10 : Comparaison ponctuelle des observations visuelles de l'activité des abeilles sur le plateau d'envol aux valeurs enregistrées par les activimètres.

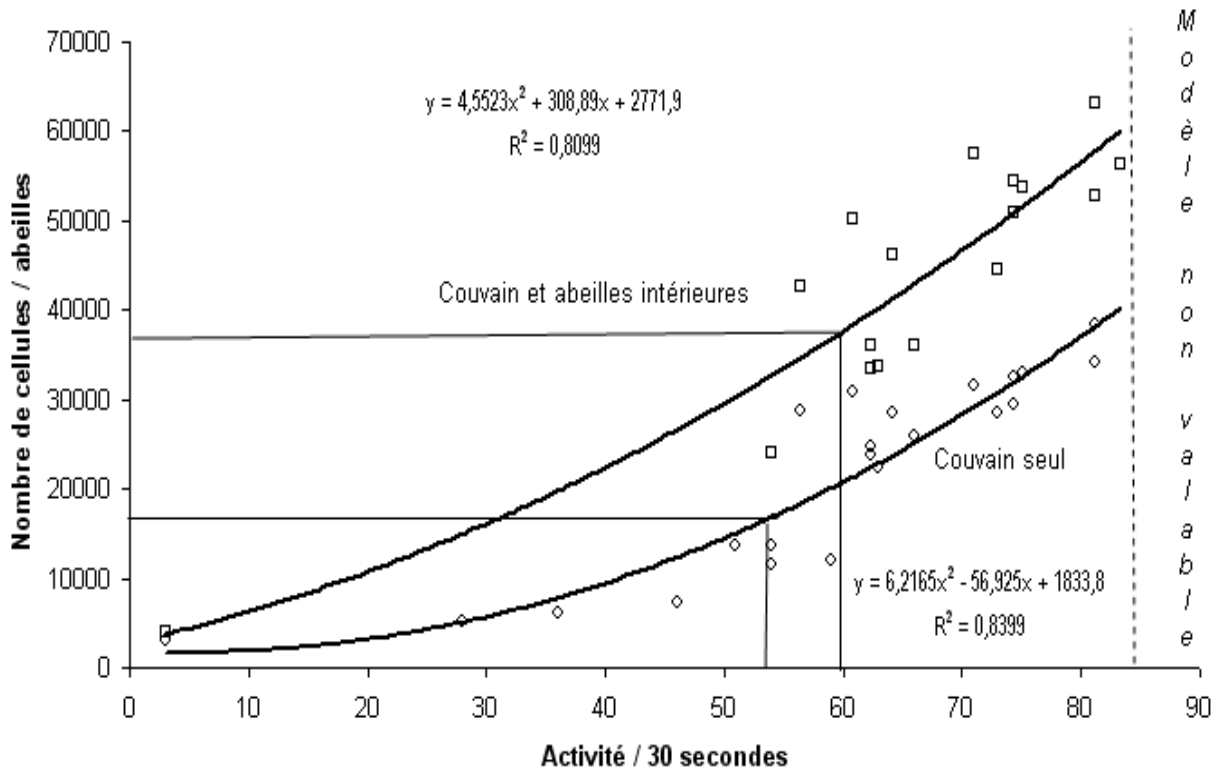


Figure 11 : Relation entre la force d'une ruche (somme du nombre d'abeilles et du nombre de cellules de couvain total) et le nombre de butineuses sortantes observées à cette ruche (moyenne pour chaque ruche).

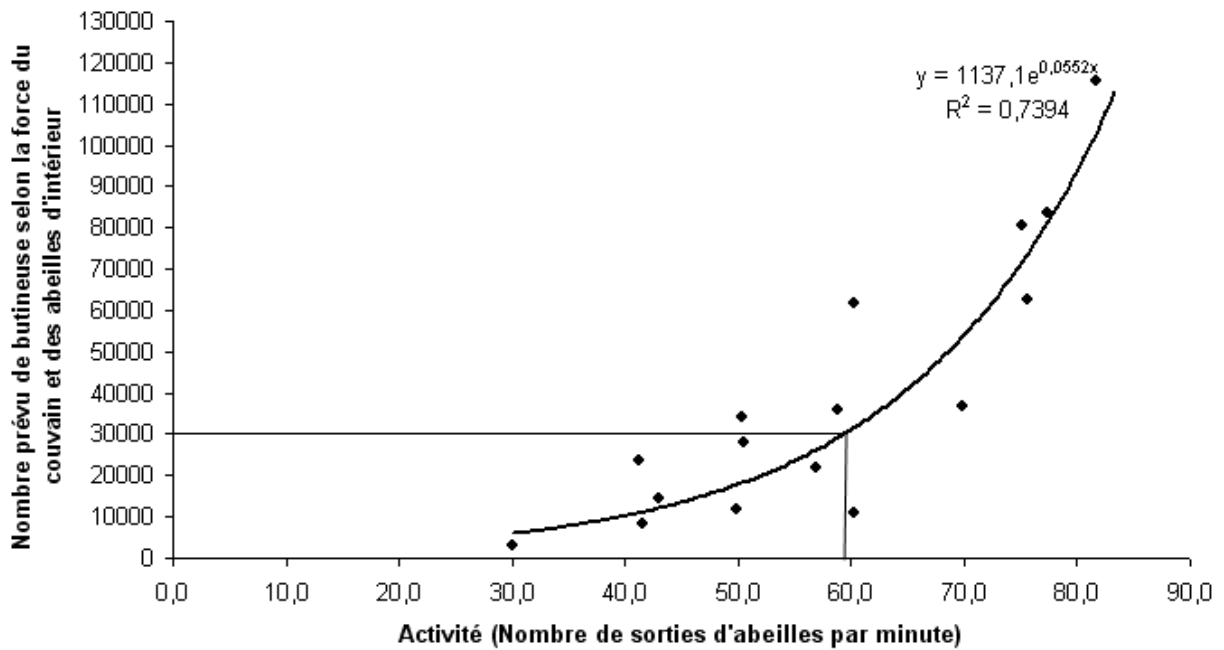


Figure 12 : Relation entre le nombre prévu de butineuses dans les cultures et l'activité observée sur le plateau d'envol (nombre de sorties de butineuses).

Le nombre attendu de butineuses en fonction de la force du couvain et du nombre d'abeilles d'intérieur a aussi été calculé à partir d'un modèle de prédiction connu dans la littérature (Thom *et al.* 2000). Selon ce modèle, il est possible de prédire le nombre de butineuses disponible pour la pollinisation à partir de l'activité enregistrée sur le plateau d'envol. Pour une activité d'environ 60 sorties par 30 secondes, environ 30 000 butineuses seront disponibles pour la pollinisation (figure 12).

Selon une étude réalisée par Todd et Reed (1970), la quantité de couvain présent dans une ruche constitue toutefois l'indice le plus fiable pour évaluer la quantité de butineuses présentes dans une ruche. En effet, la quantité de pollen récolté augmente proportionnellement avec la quantité de couvain, jusqu'à une valeur de 4 500 cm². Dans notre modèle, cette valeur de couvain est le seuil indicateur d'une ruche adéquate pour la pollinisation et correspond à une activité de 53 à 60 butineuses sortantes par 30 secondes lorsque l'observation est effectuée entre 10 heure et 15 heure par une journée ensoleillée ou à ciel fortement dégagé.

Cette recommandation, une fois décrite, semble fort simple, mais elle est fiable et bien vérifiée pour les dates qui correspondent à la floraison de la canneberge.

B) Volet II : Analyse des résultats obtenus pour l'ensemble du projet

Les résultats obtenus en 2006 correspondent beaucoup plus que ceux de 2005 aux résultats attendus en début de projet. Les modifications apportées nous ont permis d'obtenir des résultats beaucoup plus fiables et reproductibles. La situation désirée et décrite à l'annexe A de la convention de contribution financière a bien été réalisée.

Indicateur de réussite escompté :

Nous avons en main une méthode simple permettant aux producteurs d'évaluer la force des ruches qu'ils louent et les conséquences de cette force sur la densité d'abeilles sur les fleurs de canneberges. Cette méthode se résume à connaître le nombre d'abeilles par minute selon la force d'une ruche, et ce entre 11 et 15 heures durant une journée ensoleillée

Analyse des résultats obtenus

Ce modèle ne donne pas le nombre de butineuses qui vaqueront vraisemblablement sur les fleurs de la culture visée. La location de ruche pour la pollinisation est habituellement d'une durée relativement courte et la force du couvain ne semble pas d'un intérêt immédiat pour le cultivateur qui loue ses ruches. Cependant, il est très difficile d'évaluer les butineuses car elles auront tendance à s'envoler lorsque la ruche est ouverte pour la pollinisation.

Le protocole initial prévoyait également de mettre en relation la force des ruches avec les observations de densité d'abeilles sur les fleurs. Nous avons réalisé en cours de projet, que le dispositif expérimental qui aurait permettre un tel objectif était impossible à mettre en place dans une même cannebergère, ou même dans de différentes cannebergères d'une même région. Les abeilles volent trop loin de leur ruche et il est impossible de distinguer l'apport en abeille de chacune des ruches, quelque soit leur force, au nombre de butineuses sur les fleurs. Toutefois, les données de densité d'abeilles qui butinent sur les fleurs en relation avec différents paramètres ont été étudiées en détail dans le volet III. Ce point sera discuté dans la section 2.1.3.

Le bien livré pour ce volet de l'étude est une donc méthode simple et efficace pour évaluer la force des ruches louées pour la pollinisation de la canneberge et la détermination d'un minimum d'activité sur la planche d'envol qui correspond à une force de colonie adéquate pour la pollinisation de la canneberge.

Les éléments ayant permis de réaliser les objectifs établis pour ce volet sont :

- la bonne préparation des ruches, c'est-à-dire une bonne évaluation du couvain et des abeilles d'intérieur et
- une bonne égalisation des cadres de couvain des ruches selon les normes demandées;
- l'efficacité du personnel de terrain pour réaliser les observations visuelles et mettre en place des activimètres électroniques.
- Les activimètres nous ont permis de nous assurer que la plage des heures d'enregistrement par la méthode visuelle reflétait bien l'activité journalière continue.

2.1.3 VOLET III : LES TROIS POLLINISATEURS

La question principale de ce volet était "Quel sera l'impact de l'introduction de diverses combinaisons de trois insectes pollinisateurs, soit l'Abeille domestique, le Bourdon fébrile et la Mégachile de la luzerne, sur la pollinisation de la canneberge dans les cannebergières du Centre du Québec, selon différents paramètres. Nous pouvons examiner cette question en différents points :

Question 1 : Quelle sera la densité des pollinisateurs en fonction des conditions climatiques ?

Question 2 : Quelle sera la densité des pollinisateurs en fonction d'une possible compétition ou d'une complémentarité ?

Question 3 : Quels seront les impacts des visites des pollinisateurs sur la mise à fruit, le poids, le volume, le taux de pollinisation et le total des ovules fécondés? Quels seront les relations de certaines de ces variables entre elles (sauf les visites des pollinisateurs) ?

Question 4 : Quelle est l'efficacité pollinisatrice de chacun des pollinisateurs ?

Question 5 : Quel est la quantité de fruit qu'un plant de canneberge peut produire si toutes les fleurs sont bien pollinisées ?

2.1.3.1 Méthodologie

Sites :

En 2005, les observations ont été effectuées à la cannebergière commerciale "Les atocas de l'érable" situé à Notre-Dame-de-Lourdes dans la région du Centre-du-Québec, du 18 juin au 20 juillet 2005. Cette cannebergière possède 200 acres dont 170 en culture (environ 50 bassins). Les observations pour la floraison ont eu lieu du 18 juin au 20 juillet 2005, celles de la nouaison au début août et la récolte le 27 et 28 septembre 2005. Le cultivar principal planté dans ces bassins est le "Stevens". Ce cultivar possède une moyenne connue de 32,5 +/- 4 ovules (Sarracino et Vorsa, 1991). La ferme est entourée principalement de boisé et de petites prairies sauvages.

Les conditions générales en 2005 ont été exceptionnelles. Il a fait soleil et très chaud presque absents des fleurs (2% des visites totales) et les analyses avec ces pollinisateurs ont dû être abandonnées. Les Mégachiles (10 gallons de cocons par bassin, soit environ 40 000 femelles) ont bien émergés de l'incubation et étaient présents sur les fleurs de façon assez constante.

En 2006, les observations ont été effectuées à la cannebergière commerciale "La cannebergière des Cyprès" situé à St-Sylvere dans la région du Centre-du-Québec, du 22 juin au 10 juillet 2006, celles de la

nouaison au début août et la récolte le 18 septembre 2006. Cette cannebergière possède 50 acres en culture (12 bassins). La surface cultivée, beaucoup plus petite qu'en 2005, est entourée sur 3 des 4 côtés par une grande tourbière naturelle où les pollinisateurs indigènes sont très présents.

Les conditions générales en 2006 ont été très différentes de 2005. Il y a eu beaucoup de pluie et les températures ont été plus fraîches qu'en 2005, bien qu'assez chaudes pour chaque espèce de pollinisateur. Les journées sans pluie étaient souvent quand même assez nuageuses. Les abeilles (10 ruches par bassins) ont été amenées sur le site au milieu de la floraison, mais ne sont pas beaucoup venues butiner sur les fleurs. Les Bourdons fébriles (2 Quads par bassin) introduits, mais aussi les Bourdons indigènes, ont été très présents sur les fleurs. Les Mégachiles (10 gallons de cocons par bassins, soit une possibilité d'environ 40 000 femelles) n'ont pas bien émergées de l'incubation due à de fortes pluies et au parasitisme. Leur densité réelle sur le site est donc inconnue, mais beaucoup plus faible qu'en 2005. Elles ont été présentes sur les fleurs de façon sporadique et plus faible qu'en 2005.

Une station météorologique fut installée chaque année dans la cannebergière avant le début de l'expérience et a enregistré des données locales de température, d'humidité, de vitesse des vents, de radiations solaires et de précipitations. La température ainsi que la vitesse du vent ont été prises au sol (30 cm) et à 2m du sol. Les données de précipitations de 2005 n'ont pas été utilisées en raison de la quasi-absence de pluie. Les données de vitesse du vent à 2m du sol n'ont pu être utilisées, en 2006, dû à une défektivité de l'anémomètre. Les données de précipitations de 2006 n'ont pu être utilisées car elles étaient incomplètes et imprécises.

Design expérimental :

2005

Le même design expérimental a servi à toutes les expériences pendant la floraison. Trois bassins d'environ 1,6 hectare chacun ont servi de répliqués. Ils étaient suffisamment éloignés (minimum de 400m) pour que les pollinisateurs ne puissent pas changer de bassin (à part les abeilles qui ont un rayon d'action de 1 à 2 km).

Les trois pollinisateurs ont été introduits au champ en même temps. Dans chacun de ces bassins, 2 QUAD (8 ruchettes) de Bourdons furent installés à une extrémité (deux ruchettes de Bourdons fébriles à l'acre) et un dôme à Mégachiles, contenant 10 gallons de cocons en émergence (2,25 gallons de cocons de mégachiles à l'acre (9000 femelles)) fut installé à l'autre extrémité. 200 ruches d'abeilles ont été installées le long de la route située à l'entrée du champ principal, près des répliqués 1 et 2 (1,2 ruches à l'acre).

Dans chaque répliqué, onze parcelles d'observation de 2 m² (1m x 2m) (Kevan *et al.*, 1983; Aras *et al.*, 1996) furent installées à l'intérieur du rayon d'action de chacun des pollinisateurs (Mégachiles : 100m (Chagnon, 2004); Bourdons : 400m (Desjardins, 2003); Abeilles : 1km (Aras *et al.*, 1996)) et aussi dans les zones de chevauchement.

À partir des Dômes : 11 parcelles de 1m x 2m de A à K
25m (A) ;50m(B) ;75m(C) ; 100m(D) ; 133m(E) ; 166m(F) ; 199m(G) ; 232m(H) ; 257m(I) ; 282m(J) ; 307m(K).

Trois parcelles témoins de 0,5m x 1,0m (nommés X, Y et Z) ont aussi été installées dans chaque réplicat. Ces parcelles ont été recouvertes de moustiquaire noire (8 x 7 mailles / cm²) (Millette, 2003). Les parcelles sont différenciées entre les réplicats par l'utilisation de chiffres correspondant aux réplicats (ex. : A1 ; A2 et A3).

Pour répondre aux trois premières questions, des observateurs ont noté la quantité de chacun des trois pollinisateurs sur les fleurs pendant 10 minutes dans chaque parcelle d'observation (Kevan *et al.*, 1983; Mackenzie et Averill, 1995; Aras *et al.*, 1996; Desjardins, 2003) tout le long de la journée, pendant toute la floraison. Comme en phase mâle le style est caché à l'intérieur du tube des étamines, et est donc peu accessible, nous considérerons pour cette expérience deux phases. La phase mâle quand le style est caché et la phase femelle lorsque le style devient apparent. Malgré ceci, comme il est visuellement très difficile sur le terrain de différencier les deux phases, vu la petite taille des fleurs et la vitesse de déplacement des pollinisateurs, seules les visites avec un contact stigmatique possible (une partie du corps du pollinisateur peut toucher le stigmate) seront considérées (Javorek *et al.*, 2002). Les visites des pollinisateurs seront notifiées selon quatre groupes : Abeilles domestiques, Bourdons (fébriles ou indigènes), Mégachiles de la luzerne et Autres. Comme un des objectifs était de vérifier les différences d'activité en fonction des conditions climatiques et que celles-ci varient au long de la journée, il a été nécessaire d'uniformiser les heures d'observation à chaque parcelle en effectuant une rotation des parcelles de départ à chaque prise de données de façon à ce que chaque parcelle ait été observée le même nombre de fois à chaque heure.

La question 2 n'a pu être répondue en 2005 car les abeilles devaient être amenées à la mi-floraison sur le site, ce qui n'a pas pu se faire.

Pour répondre à la question 3, dans chaque parcelle d'observation et d'exclusion, quinze tiges de canneberges (Kevan *et al.*, 1983) furent étiquetées et leurs boutons floraux et fleurs comptées, pour un total de 495 tiges ouvertes (O-1 à O-495) et 135 tiges exclues (E-1 à E-135). À la nouaison (approximativement 2 semaines après la fin de la floraison), le nombre de fruits en développement sur ces tiges fut compté. La position hiérarchique de chaque fruit sur sa tige a été notée à la récolte, ainsi que le nombre total de fruits par tige. Le fruit à la base de la tige est en position 1 et la hiérarchie augmente vers le haut de la tige (jusqu'à la position 9 dans cette étude). Chaque fruit récolté a été conservé dans des sacs en plastique pré-identifiés de type "ziplock" et placés au réfrigérateur jusqu'à l'analyse. De plus, tous les fruits d'un sous-échantillon de 30cm², dans chaque parcelle d'observation et d'exclusion, ont aussi été récoltés et conservés dans des sacs ziplock au réfrigérateur jusqu'à l'analyse.

La question 4 sur l'efficacité pollinisatrice n'a pas pu être répondue car le nombre de visites des pollinisateurs pour cette expérience fut pratiquement nul.

Pour répondre à la question 5, sur la quantité maximale de fruit qu'une tige peut porter, soixante tiges ont été choisies au hasard dans trois parcelles d'exclusion spécialement installées pour cette expérience dans 2 réplicats. Trois séances de pollinisations manuelles, où toutes les fleurs de la tige étaient pollinisées avec du pollen provenant de fleurs mâles extérieures à la parcelle, ont été effectuées. Les tiges 1 à 30 ont été pollinisées en utilisant un cure-oreille humidifié comme distributeur de pollen pour les deux premières pollinisations. Pour la 3^e pollinisation, ainsi que pour les trois pollinisations des tiges 31 à 60, le doigt du manipulateur a été utilisé pour distribuer le pollen. Chaque fruit récolté a été conservé dans des sacs en plastique pré-identifiés de type "ziplock" et placés au réfrigérateur jusqu'à l'analyse.

2006

L'expérience fut semblable à celle de 2005, mais il y n'y a eu que cinq parcelles d'observation par réplicat et deux d'exclusion et les questions 4 et 5 sur l'efficacité pollinisatrice et les pollinisations manuelles n'ont pas été refaites. Les mégachiles et les bourdons ont été introduits au début de la floraison et les abeilles à la mi-floraison.

Trois bassins d'environ un hectare chacun ont servi de réplicats.

Dans chacun de ces bassins, 2 QUAD (8 ruchettes) de Bourdons furent installés à une extrémité et un dôme à mégachiles, contenant 10 gallons de cocons en émergence (100 000 individus), fut installé à l'autre extrémité. 10 ruches d'abeilles (cinq à chaque extrémité) furent amenées sur le site à la mi-floraison.

Il y avait 1,5 ruches d'abeilles à l'acre ; quatre ruchettes de Bourdons fébriles à l'acre (mais moins d'individus dans chacune par rapport à 2005) et cinq gallons de cocons de mégachiles à l'acre.

Dans chaque réplicat, cinq parcelles d'observation de 2 m² (1m x 2m) (Kevan *et al.*, 1983; Aras *et al.*, 1996) furent installées :

À partir des Dômes : 5 parcelles de 1m x 2m de A à D
30m (A) ;50m(B) ;70m(C) ; 120m(D) ; 170m(E).

Deux parcelles témoins de 0,5m x 1,0m (nommées T et Y) ont aussi été installées dans chaque réplicat. Ces parcelles ont été recouvertes de moustiquaire noire (8 x 7 mailles / cm²) (Millette, 2003). Les parcelles sont différenciées entre les réplicats par l'utilisation de chiffres correspondant aux réplicats (ex. : A1 ; A2 et A3).

Pour répondre aux trois premières questions, des observateurs ont noté la quantité de chacun des trois pollinisateurs sur les fleurs pendant 10 minutes dans chaque parcelle d'observation (Kevan *et al.*, 1983; Mackenzie et Averill, 1995; Aras *et al.*, 1996; Desjardins, 2003) tout le long de la journée, pendant toute la floraison. Les visites des pollinisateurs ont été notifiées selon quatre groupes : Abeilles domestiques, Bourdons (fébriles ou indigènes), Mégachiles de la luzerne et Autres.

Pour répondre à la question 2, nous comparons le nombre de visites des mégachiles d'une part, puis des Bourdons fébriles d'autre part, avant l'arrivée des abeilles (à la mi-floraison) et après leur arrivée.

Pour répondre à la question 3, dans chaque parcelle d'observation (dix tiges) et d'exclusion (quinze tiges), les tiges de canneberges (Kevan *et al.*, 1983) furent étiquetées et leurs boutons floraux et fleurs comptées, pour un total de 150 tiges ouvertes (O-1 à O-150) et 90 tiges exclues (E-1 à E-90). À la nouaison (approximativement 2 semaines après la fin de la floraison), le nombre de fruits en développement sur ces tiges fut compté et leur position hiérarchique noté. La position hiérarchique de chaque fruit sur sa tige a aussi été notée à la récolte, ainsi que le nombre total de fruits par tige. Le fruit à la base de la tige est en position 1 et la hiérarchie augmente vers le haut de la tige (jusqu'à la position 7 en 2006). Chaque fruit récolté a été conservé dans des sacs en plastique pré-identifiés de type "ziplock" et placés au réfrigérateur jusqu'à l'analyse. De plus, tous les fruits d'un sous-échantillon de 30cm², dans chaque parcelle d'observation et d'exclusion, ont aussi été récoltés et conservés dans des sacs ziplock au réfrigérateur jusqu'à l'analyse.

La question 4 a été abandonnée.

Pour répondre à la question 5, sur la quantité maximale de fruit qu'une tige peut porter, les données des parcelles d'observation ont été utilisées pour les analyses.

Commun aux deux années

Suivi phénologique de la floraison

Au début de la saison des petites parcelles (30cm²) ont été échantillonnées à trois endroits dans les trois réplicats pour le nombre total de tiges et le nombre de tiges qui produisent des fleurs. Ceci fut ramené à une densité par mètre carré pour chaque réplicats.

Le suivi de la floraison fut fait en observant à chaque deux jour, 70 tiges, au hasard, dans chaque réplicat, pour les stades de développement des fleurs. Au début, des quantités de tiges variables (20 ; 50 ; 100) ont été observées pour en arriver à définir la quantité optimale de 70 tiges qui fut utilisée par la suite.

Stades de développement

- 1- Bouton floral fermé.
- 2- Bouton floral allongé ou légèrement ouvert : pétales non recourbés.
- 3- Fleur mâle.
- 4- Fleur femelle : le style dépasse les tubes et le stigmate est visqueux.
- 5- Sénescence des parties florales et perte de la corolle (un seul pétale de tombée et on la note dans cette catégorie): Comprend les ``aiguilles`` (petit fruit avec le style encore attaché).
- 6- nouaison : fruit de la grosseur d'un poids. Sans style.
- 7- fruit ou fleur séchés, pourris ou émondés.

Analyses de laboratoire :

2005

Les fruits ont été pesés en laboratoire en utilisant une balance électronique (Denver Instrument Company, DE series, modèle 100A, précision de +/- 0,00005g) et leur volume mesuré avec des cylindres gradués de 25 ml (précision de +/- 0,5 ml) et de 50 ml (précision de +/- 1,0 ml) pour les plus gros fruits. Des cylindres gradués de 500 ml furent utilisés pour mesurer le volume des sous-échantillons de 30 cm². Ces deux analyses ont été faites dans les deux semaines suivant la récolte pour éviter les pertes de poids et volume par dessiccation.

Huit tiges par parcelle (parmi les quinze initiales) ont été choisies au hasard et chacun de leurs fruits ont été analysés pour le nombre total de graines, réparties en trois classes : petites, qui correspondent aux ovules non-fécondées, moyennes, qui correspondent aux graines avortées et finalement grosses graines (ou vraies graines) qui correspondent aux graines bien développées et viables.

Les fruits des sous-échantillons de 30 cm² ont été pesés en bloc et le poids divisés par le nombre de fruits total, de façon à trouver le poids moyen individuel. Le volume total des fruits, de ces sous-échantillons d'une parcelle, a été estimé par le déplacement d'un volume d'eau connu lors de l'ajout des fruits. Le volume moyen d'un fruit a été estimé en divisant le volume total par le nombre de fruit de l'échantillon. Une évaluation du degré de maturation des fruits individuels fut faite visuellement par classes de couleurs (verts ; marbrés et rouges).

2006

Les fruits ont été pesés en laboratoire en utilisant une balance électronique (Denver Instrument Company, DE series, modèle 100A, précision de +/- 0,00005g).

Tous les fruits de chaque tige ont été analysés pour le nombre de graines selon la même méthode qu'en 2005. Les fruits des sous-échantillons de 30 cm² ont été pesés selon la même méthode qu'en 2005.

Calculs et tests statistiques :

Question 1 Quelle sera la densité des pollinisateurs en fonction des conditions climatiques

Pour la question 1 sur les conditions climatiques, les mêmes analyses ont été faites pour chaque année. Le nombre de visites de chaque pollinisateurs a été comparé selon un gradient ascendant pour chaque condition, soit : température (à 30cm et à 2m), vent, radiation solaire et humidité. Les précipitations ont été abandonnées, il n'y en a pas eu en 2005 et les données de 2006 sont incomplètes. Un graphique de distribution a été fait avec le logiciel Excel pour chaque condition et par pollinisateur. Celui-ci correspond à la moyenne des visites (visites par heure et par m²) par classe d'heure (14 = entre 14 et 15 heure) et à la moyenne des deux lectures pour la condition climatique (il y avait une lecture par 30 minutes). Par exemple, la moyenne de toutes les visites d'abeilles notées entre 14 et 15 heures le 13 juillet a été mise en relation avec la moyenne des deux lectures de température pour cette heure et mises sur le graphique.

Une analyse visuelle de chaque graphique nous a permis de décider si une analyse statistique subséquente serait faite ou non. Advenant le cas où le graphique montrait un patron clair, une analyse de régression linéaire simple a été faite en utilisant le logiciel JMP version 5.1.2 (SAS institute, 2004), la variable indépendante étant toujours la condition climatique. Des problèmes de respect des postulats de normalité et d'homoscédasticité, malgré des transformations (ln, log10, X² et réciproque), ont forcé l'abandon de plusieurs analyses.

Question 2 : Quelle sera la densité des pollinisateurs en fonction d'une possible compétition ou d'une complémentarité ?

2005

Les visites de Bourdons ont été mises de côté car elles étaient trop faibles (moins de 1%). Les visites d'Abeilles et de Mégachile comprises entre le 8 et le 15 juillet ont été comparées entre elles sur un graphique (nuage de points). Avant le 8 juillet, les abeilles étaient souvent sur d'autres plantes, tandis qu'à ces dates, elles étaient plus concentrées sur les fleurs de canneberges. Les mégachiles ayant un rayon d'action limité à 100m, elles étaient présentes de façon plus constante.

Les données non modifiées de 10 minutes d'observation et de 2m² ont été utilisées. Les données des parcelles A à D (jusqu'à 100m des Dômes) des réplicats 1 et 2 seulement ont été utilisées. Le réplicat 3 a été retiré car il appartient à une population statistique différente, au niveau des visites d'abeilles (voir résultats).

Une analyse de corrélation entre les visites des deux pollinisateurs pour les mêmes dates a été effectuée en utilisant le logiciel JMP version 5.1.2 (SAS institute, 2004), mais rencontre aussi des problèmes de respect du postulat de normalité de la distribution.

2006

Les données des visites (visites / heure / m²) des mégachiles et des Bourdons fébriles ont été comparés entre les deux périodes (avant et après la mi-floraison) par un test de t apparié en utilisant le logiciel JMP version 5.1.2 (SAS institute, 2004).

Question 3 : Quels seront les impacts des visites des pollinisateurs sur la mise à fruit, le poids, le volume, le taux de pollinisation et le total des ovules fécondés? Quels seront les relations de certaines de ces variables entre elles (sauf les visites des pollinisateurs) ?

Q3.A- Analyses de corrélation et de régression pour les variables poids, volume, taux de pollinisation et total des ovules fécondés.

2005 et 2006:

Les analyses avec le volume ont été faite seulement en 2005.

La force de la relation entre chaque paire de variables (poids/volume ; volume/taux de pollinisation) a été évaluée par analyse de corrélation totale en utilisant le logiciel JMP version 5.1.2 (SAS institute, 2004) en utilisant les données des parcelles ouvertes et fermées.

Les valeurs prédictives des variables dépendantes (poids et volume des fruits) ont été analysées par régression linéaire simple, pour quatre paires de variables (poids vs volume ; poids vs taux de pollinisation ; volume vs taux de pollinisation ; poids vs total des ovules fécondés), avec le logiciel JMP version 5.1.2 (SAS institute, 2004), en utilisant les données des parcelles ouvertes et fermées.

Q3.B- Quel est l'impact des différentes densités de pollinisateurs sur la mise à fruit, le poids, le volume et le nombre de graines?

Nous comparons les données de densité (nombre de visites de chaque pollinisateur par heure et par mètre carré) pour chaque série de parcelles avec les données de laboratoire (2005 : poids ; volume ; mise à fruit et taux de pollinisation. 2006 : Poids ; mise à fruit ; taux de pollinisation et total des ovules fécondés).

En 2005, les visites d'abeilles et de mégachiles seulement ont été utilisées. En 2006, les visites de tous les pollinisateurs ont été utilisées.

Des analyses de régression linéaire simple ont été faites (SAS institute, 2004) pour voir si chaque variation des variables dépendantes (poids, volume, mise à fruit, taux de pollinisation et total des ovules fécondés) pouvait être expliquée, au moins en partie, par la variation de la variable indépendante, soit la densité de chaque pollinisateur. Dans certains cas, en 2005, des analyses de régressions multiples ont aussi été faites avec comme variables indépendantes les visites des abeilles et des mégachiles (SAS institute, 2004).

Le taux de pollinisation a été calculé en divisant le nombre total de graines matures d'un fruit par le potentiel de celui-ci (nombre de graines matures, de graines avortées et d'ovules non fécondés), le tout multiplié par 100. Le total des ovules fécondés correspond à la quantité totale de graines avortées et matures par fruit.

L'estimation de la mise à fruit a été faite en divisant le nombre de fruit par tige à la récolte par le nombre de fruit potentiel par tige (nombre de fleurs et de boutons floraux à la floraison), multiplié par 100 (Stubbs et Drummond, 2001 ; Mahoro, 2002).

Question 5 : Quel est la quantité de fruit qu'un plant de canneberge peut produire si toutes les fleurs sont bien pollinisées ?

Q5.A- Impact des pollinisateurs : parcelles ouvertes et fermées.

L'effet des parcelles d'exclusion (ouvertes vs fermées) sur la mise à fruit, le poids, le taux de pollinisation, ainsi que sur le total des ovules fécondés a été analysé par analyse de variance (ANOVA) à un critère, en utilisant le logiciel JMP, version 5.1.2 (SAS institute, 2004).

Les tiges sans fruit n'ont pas été utilisées, sauf pour la mise à fruit. Pour celle-ci, on a utilisé la moyenne de toutes les tiges étiquetées dans chaque parcelle. Les analyses avec le total des ovules fécondés sont hétéroscédastes.

Le calcul de la mise à fruit, du poids moyen d'un fruit, de la quantité moyenne d'ovules fécondés, de la quantité moyenne du nombre total de graines par fruit, de la moyenne du taux de pollinisation par fruit et de la quantité moyenne de fruit par tige a été calculé avec le logiciel JMP (SAS institute, 2004).

Q5.B- Pollinisation manuelles (2005 seulement):

Aucune analyse statistique sur ces données.

Q5 C- Nombre de fruits par tige : Allocation des ressources.

Au niveau de l'allocation des ressources, l'impact de la quantité de fruits par tige sur le poids moyen des fruits, sur le taux de pollinisation moyen, ainsi que sur la moyenne du total des ovules fécondés a été analysé par analyse de variance (ANOVA) à un critère suivi d'un test de comparaison des paires de Tukey-Kramer HSD, en utilisant le logiciel JMP, version 5.1.2 (SAS institute, 2004).

Les tiges sans fruit n'ont pas été utilisées. En 2005, les fruits des parcelles ouvertes et de tiges supplémentaires récoltées dans les bassins et ayant entre un et cinq fruits ont été utilisés pour les analyses avec le poids. Pour les autres analyses, les fruits des parcelles ouvertes seulement ont été utilisés.

En 2006, les fruits des parcelles ouvertes et de tiges supplémentaires récoltées dans les bassins et ayant quatre et cinq fruits ont été utilisé pour toutes les analyses.

Q5.D- Impact du niveau hiérarchique des fruits (sur les tiges) sur le poids, le taux de pollinisation et sur le total des ovules fécondés par fruit.

L'effet que le niveau hiérarchique du fruit sur la tige a eu sur le poids moyen des fruits, sur le taux de pollinisation moyen, ainsi que sur la moyenne du total des ovules fécondés a été analysé par analyse de variance (ANOVA) à un critère suivi d'un test de comparaison des paires de Tukey-Kramer HSD, en utilisant le logiciel JMP, version 5.1.2 (SAS institute, 2004). Les tiges sans fruit n'ont pas été utilisées.

En 2005, seuls les niveaux 1 à 7 ont été utilisés. Les niveaux 8 et 9 ont été retirés car l'effectif était trop faible. Les fruits des parcelles ouvertes et de tiges supplémentaires récoltées dans les bassins et ayant entre un et cinq fruits ont été utilisé pour les analyses avec le poids. Pour les autres analyses les fruits des parcelles ouvertes seulement ont été utilisés. Seuls les fruits dont le niveau hiérarchique était réel ont été

utilisés. Certains fruits n'ont pas été analysés pour le nombre de graines et ne font pas partie des analyses. L'analyse avec le poids est hétéroscédaste.

En 2006, les fruits des parcelles ouvertes et de tiges supplémentaires récoltées dans les bassins et ayant quatre et cinq fruits ont été utilisé pour toutes les analyses.

2.1.3.2 Résultats et analyse

Les résultats et la discussion seront traités pour chaque question de façon à faciliter la lecture.

Question 1 : Conditions climatiques 2005-2006

Q1.1- Pourcentage de visites de chaque pollinisateur :

Les abeilles ont été les pollinisateurs les plus présents dans les parcelles d'observations lors des deux étés, bien que leur présence ait de beaucoup diminué en 2006 (de 51,6% à 33%), et ce malgré leur butinage extra-cannebergière. Les mégachiles ont été beaucoup plus présentes en 2005 (40,4% des visites), qu'en 2006 (22,44% des visites), mais demeurent des pollinisateurs très importants. Les bourdons et tous les autres pollinisateurs ont été quasi-absents en 2005 (8,1% des visites), mais très présents en 2006 (44,57% des visites) Le nombre total de visites / h / m² de tous les pollinisateurs est très semblable pour les deux étés (Tableau 5).

Tableau 5. Répartition des visites de chaque pollinisateur en 2005 et 2006.

Pollini-Sateur	2005		2006	
	Visites / h / m ²	% du total des visites	Visites / h / m ²	% du total des visites
Abeilles	19.7	51.6	11.8*	33*
Mégachiles	15.4	40.4	8.1	22.4
Bourdons Fébriles	1.1	2.8	4.4	12.2
Bourdons Indigènes	1.11	2.9	8.5	23.7
Autres pollinisateurs	0.9	2.4	3.1	8.7
Total	38.17	100	35.9	100

* Les visites sont calculées sur 55h d'observations pour les Abeilles et sur 77h pour les autres pollinisateurs.

Q1.2- température (air et sol):

Q1.2.1 Abeilles

En 2005, les plages de température enregistrées pendant les observations de visites (visites / heure / m²) d'abeilles étaient comprises entre 15°C et 33°C dans l'air et entre 16°C et 39°C au sol (Figures 13 et 14).

Les graphiques montrent une activité plus grande dans les parcelles entre 24°C et 33°C dans l'air et entre 29°C et 37°C au sol. Cependant, un grand nombre d'observations sans visites ont aussi été notées dans ces plages de température, ce qui ne nous permet pas d'y déceler un patron d'activité clair (Figures 13 et 14). Les analyses n'ont pas été poursuivies.

En 2006, les abeilles sont arrivées sur le site à la mi-floraison tel que prévu dans le design expérimental. Les plages de températures enregistrées pendant les observations de visites (visites / heure / m²) d'abeilles étaient comprises entre 17°C et 29°C dans l'air et entre 18°C et 34°C au sol. Les graphiques ne montrent pas de plage d'activité plus importante dans les parcelles comme en 2005 (Figures 15 et 16). Nous n'avons pas pu déceler un patron d'activité clair. Les analyses n'ont pas été poursuivies.

Q1.2.2 Mégachiles

En 2005, les plages de températures enregistrées pendant les observations de visites (visites / heure / m²) de mégachiles étaient comprises entre 15°C et 33°C dans l'air et entre 16°C et 39°C au sol (Figures 17 et 18). Les graphiques montrent une activité plus grande dans les parcelles entre 22°C et 33°C dans l'air et entre 26°C et 39°C au sol. Aucune visite n'a été observée sous 18°C dans l'air et 20 °C au sol. Les analyses de régressions linéaires simples effectuées montrent de façon significative que le nombre de visites des mégachiles augmente en fonction de l'augmentation de la température de l'air ($P < 0,0001$; R^2 de 0,21 N=94) et du sol ($P < 0,0001$; R^2 de 0,23 ; N=107). Aucune limite supérieure de température limitant l'activité de butinage des Mégachiles n'a pu être perçue.

En 2006, les plages de températures enregistrées pendant les observations de visites (visites / heure / m²) de mégachiles étaient comprises entre 17°C et 29°C dans l'air et entre 18°C et 34°C au sol (Figures 19 et 20). Les graphiques montrent une activité plus grande dans les parcelles entre 22°C et 29°C dans l'air et entre 24°C et 34°C au sol. Aucune visite n'a été observée sous 19°C dans l'air et 20 °C au sol. Les analyses de régressions linéaires simples effectuées montrent de façon significative que le nombre de visites des mégachiles augmente en fonction de l'augmentation de la température de l'air ($P = 0,0296$; R^2 de 0,08 ; N=61) et du sol ($P = 0,0004$; R^2 : 0,19 ; N=59). Aucune limite supérieure de température limitant l'activité de butinage des Mégachiles n'a pu être perçue.

Q1.2.3 Bourdons fébriles, indigènes (espèces confondues) et autres pollinisateurs.

En 2005, les visites de ces pollinisateurs étaient trop peu nombreuses pour analyser les résultats.

En 2006, les plages de température enregistrées pendant les observations de visites (visites / heure / m²) des Bourdons fébriles, indigènes et autres pollinisateurs, étaient comprises entre 17°C et 29°C dans l'air et entre 18°C et 34°C au sol. Les graphiques montrent une activité plus grande, dans les parcelles, pour les bourdons indigènes, entre 26°C et 34°C au sol. Pour tous les autres pollinisateurs, les graphiques de visites en fonction de la température de l'air ou du sol ne nous permettent pas de déceler des patrons d'activité particuliers.

L'analyse de régression linéaire multiple effectuée montre de façon significative que le nombre de visites de bourdons indigènes (excluant les Bourdons fébriles) augmente en fonction de l'augmentation de la température dans l'air et au sol ($P = 0,0008$; R^2 ajusté de 0,2 ; N=59). Il y a eu très peu de visites des bourdons indigènes sous 21°C dans l'air et sous 24°C au sol.

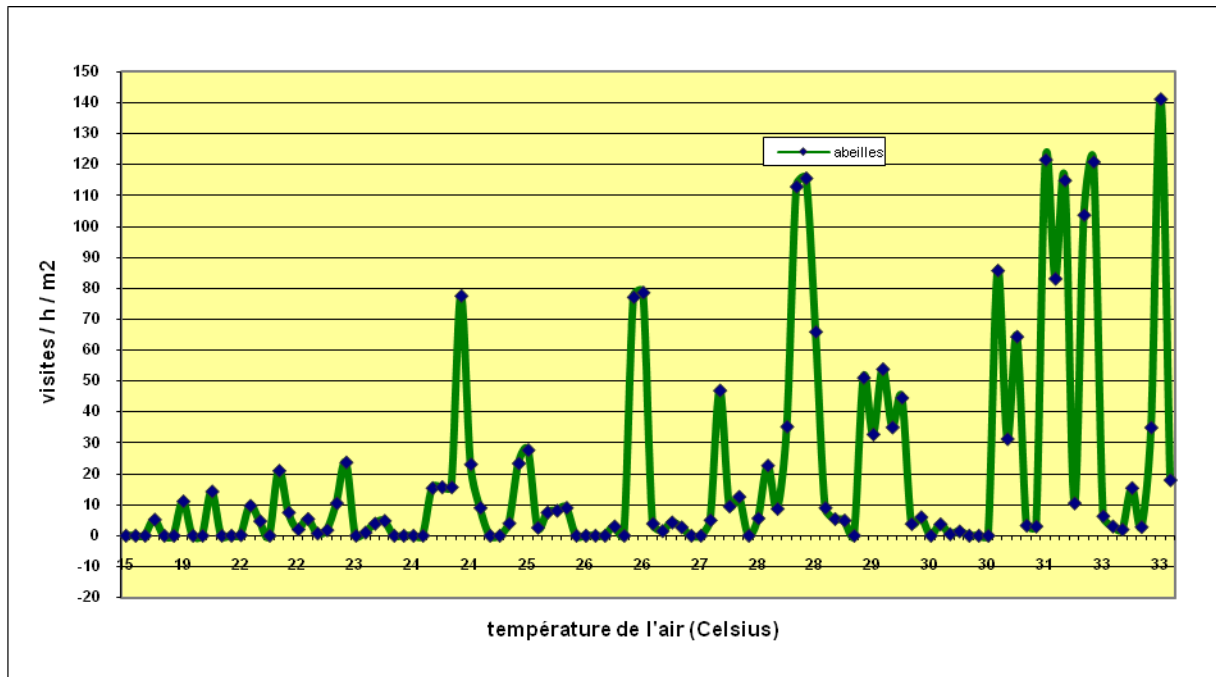


Figure 13. Nombre de visites par heure et par mètre carré d'Abeilles domestiques en fonction de la température de l'air en 2005.

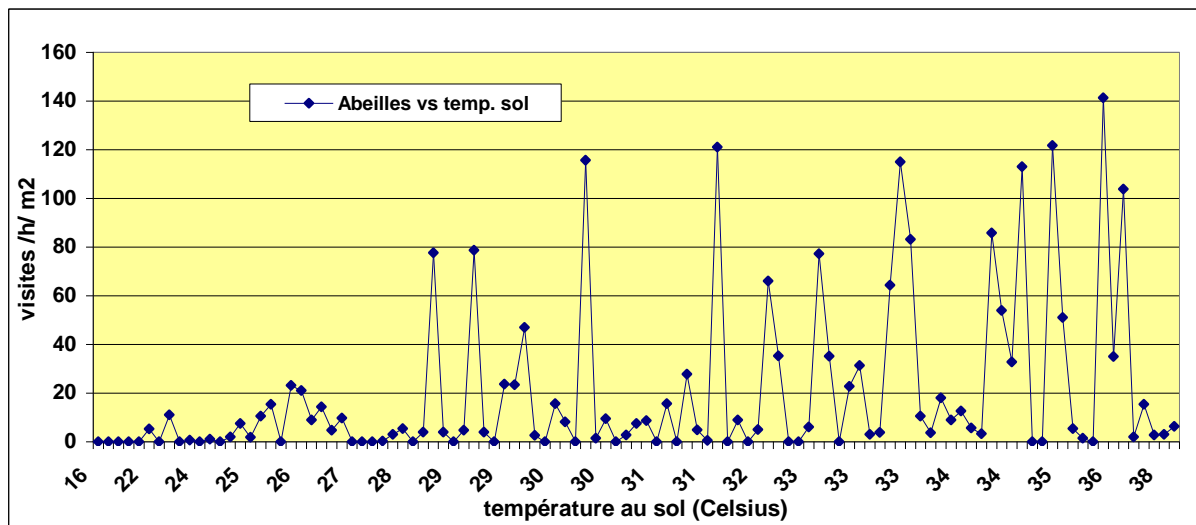


Figure 14. Nombre de visites par heure et par mètre carré d'Abeilles domestiques en fonction de la température du sol en 2005.

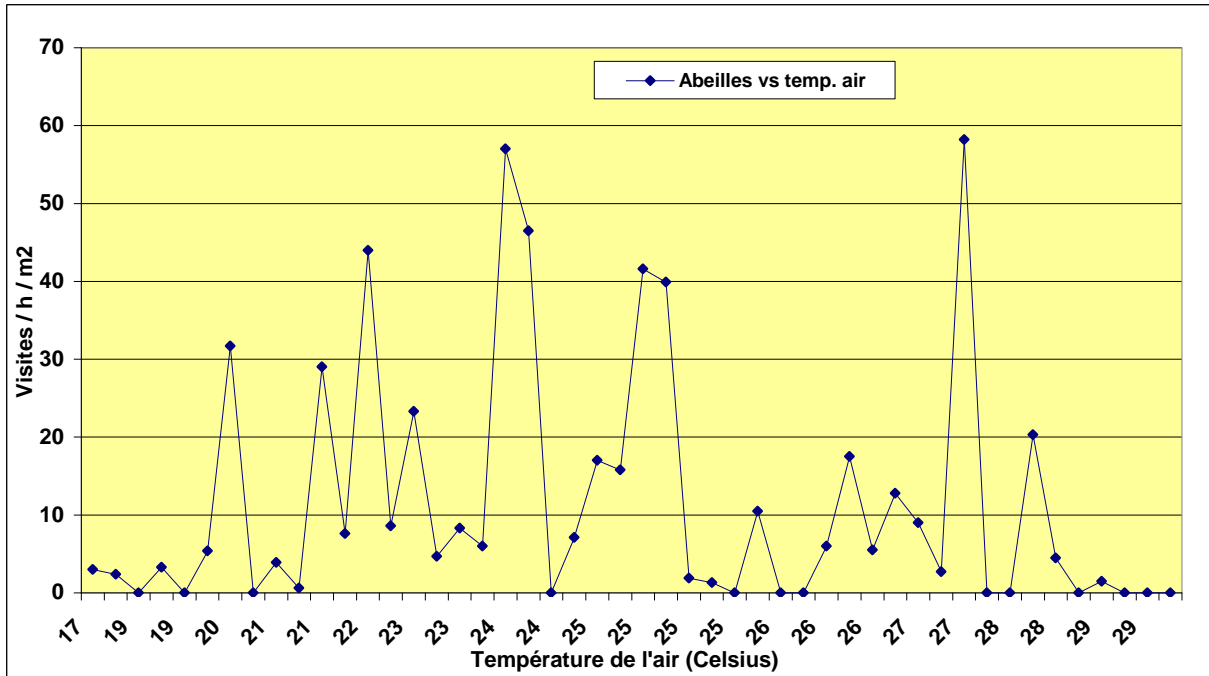


Figure 15. Nombre de visites par heure et par mètre carré d'Abeilles domestiques en fonction de la température de l'air en 2006.

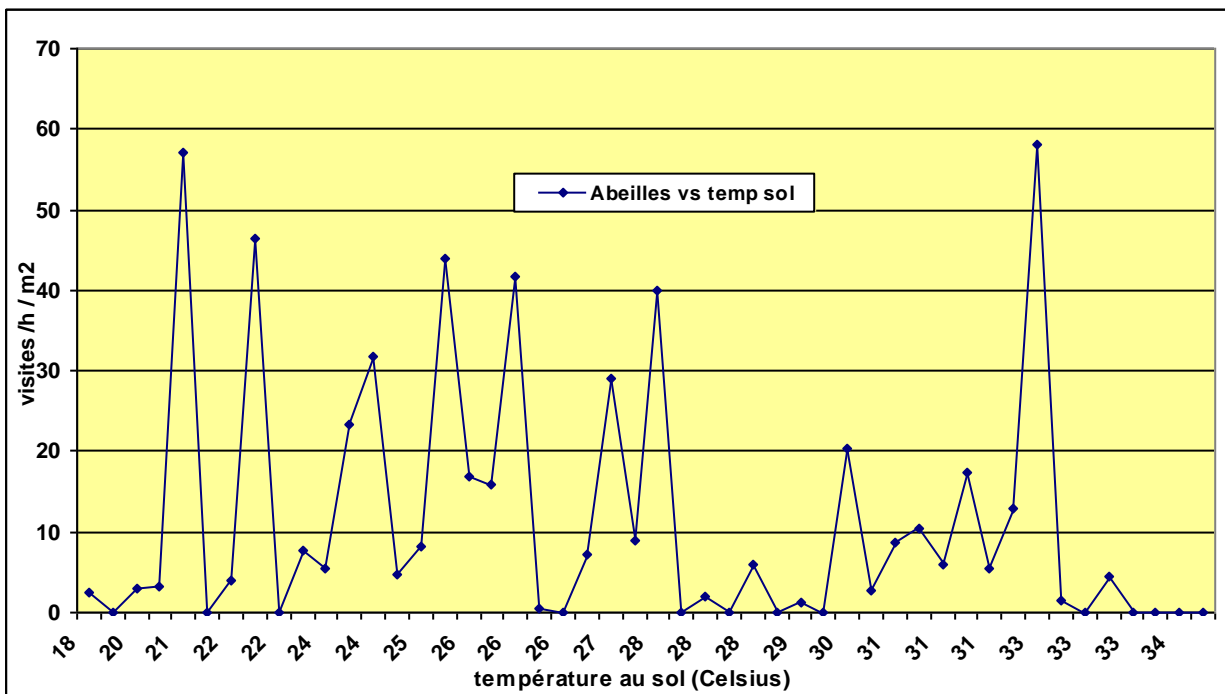


Figure 16. Nombre de visites par heure et par mètre carré d'Abeilles domestiques en fonction de la température du sol en 2006.

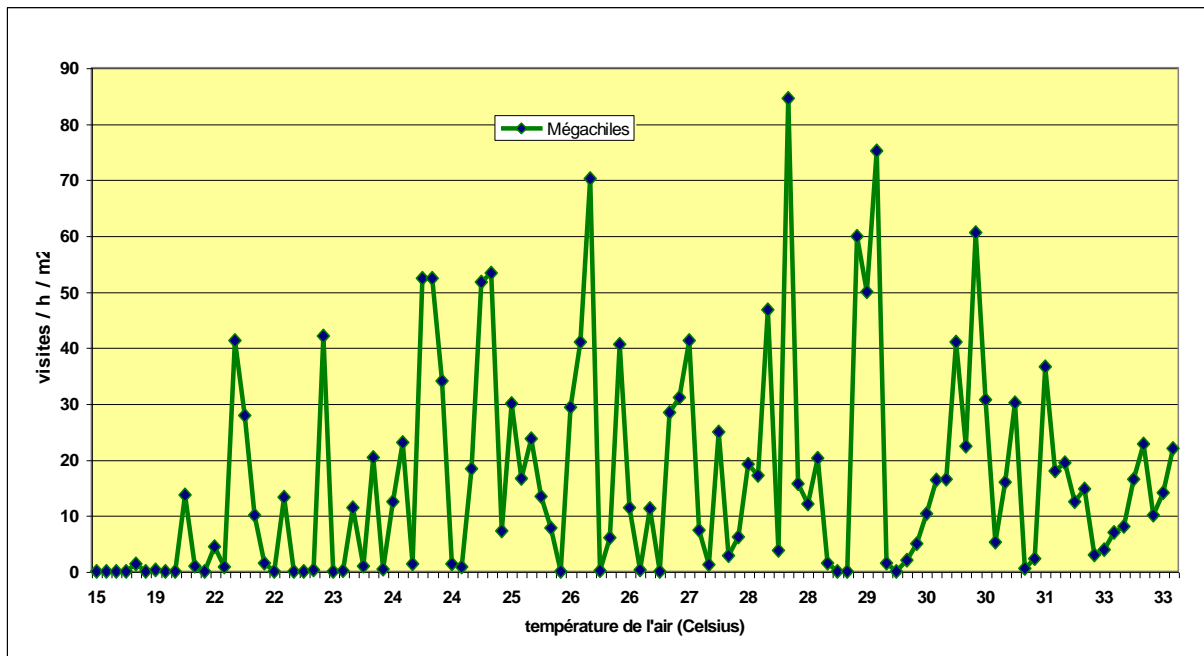


Figure 17 Nombre de visites par heure et par mètre carré de Mégachiles de la Luzerne en fonction de la température de l'air en 2005.

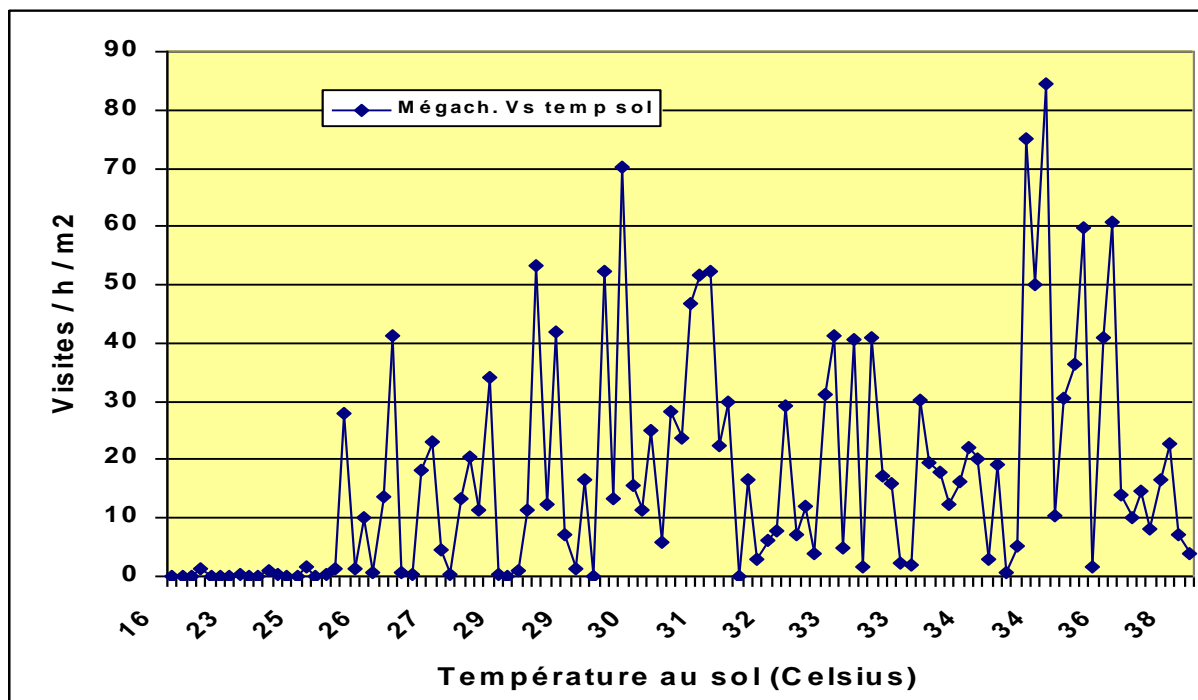


Figure 18. Nombre de visites par heure et par mètre carré de Mégachiles de la Luzerne en fonction de la température du sol en 2005.

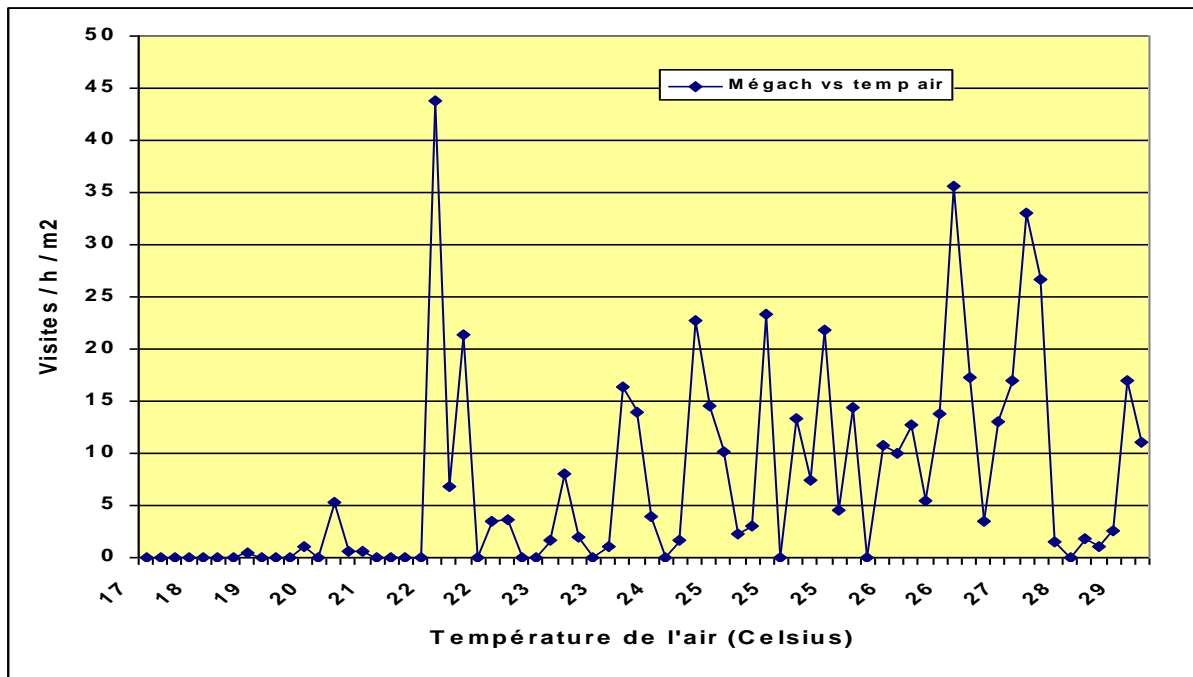


Figure 19. Nombre de visites par heure et par mètre carré de Mégachiles de la Luzerne en fonction de la température de l'air en 2006.

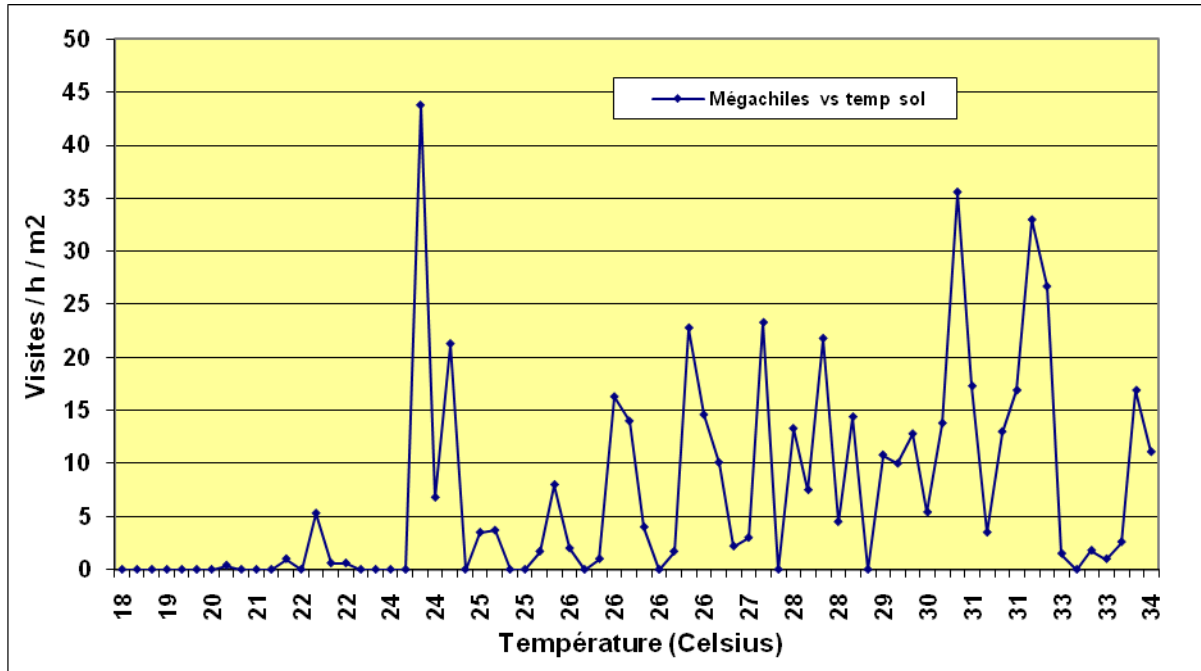


Figure 20. Nombre de visites par heure et par mètre carré de Mégachiles de la Luzerne en fonction de la température du sol en 2006.

Q1. 3. Radiation solaire.

Q1.3.1. Mégachiles

En 2005, la plage de radiation solaire enregistrée pendant les observations de visites (visites / heure / m²) de mégachiles était comprise entre 68,5 W / m² et 928 W / m². Il n'y a eu aucune visites sous 244 W / m² (figure 21). L'analyse de régression linéaire simple effectuée montre de façon significative que le nombre de visites des mégachiles augmente en fonction de l'augmentation de la radiation solaire (P < 0,0001 ; R² de 0,37 N=104).

En 2006, la plage de radiation solaire enregistrée pendant les observations de visites (visites / heure / m²) de mégachiles était comprise entre 58 W / m² et 928 W / m². Il n'y a eu aucune visite sous 305 W / m² (figure 22). L'analyse de régression linéaire simple effectuée montre de façon significative que le nombre de visites des mégachiles augmente en fonction de l'augmentation de la radiation solaire (P < 0,0001 ; R² de 0,35 N=70).

Q1.3.2 Autres pollinisateurs

En 2005, seules les visites d'abeilles ont été analysées en fonction de la radiation et rien ne nous permet de déceler un patron d'activité particulier.

En 2006, Les visites d'abeilles, de Bourdons fébriles et de bourdons indigènes ont été analysées en fonction de la radiation et rien ne nous permet de déceler un patron d'activité particulier.

Q1.4. Vent

Q1.4.1 Tous les pollinisateurs

En 2005, la plage de vent enregistrée pendant les observations de visites (visites / heure / m²) des pollinisateurs était comprise entre 1 et 23 km/h. L'analyse des graphiques ne nous permet pas de déceler de patron d'activité particulier pour aucun pollinisateur.

En 2006, la plage de vent enregistrée pendant les observations de visites (visites / heure / m²) des pollinisateurs était comprise entre 3 et 17 km/h (à 30 cm au sol). L'analyse des graphiques ne nous permet pas de déceler de patron d'activité particulier pour aucun pollinisateur.

Q1.5. Humidité

5.1 Tous les pollinisateurs

En 2005, la plage d'humidité enregistrée pendant les observations de visites (visites / heure / m²) des pollinisateurs était comprise entre 24% et 96 %. L'analyse des graphiques ne nous permet pas de déceler de patron d'activité particulier pour aucun pollinisateur.

En 2006, la plage d'humidité enregistrée pendant les observations de visites (visites / heure / m²) des pollinisateurs était comprise entre 37% et 94 %. L'analyse des graphiques ne nous permet pas de déceler de patron d'activité particulier pour aucun pollinisateur.

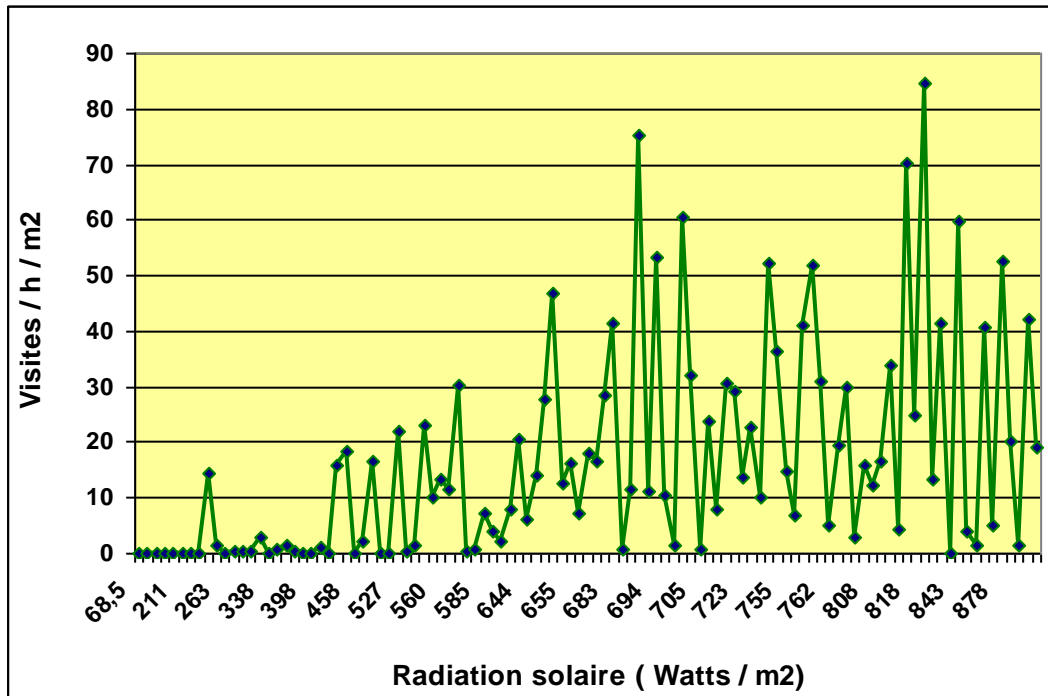


Figure 21 Nombre de visites par heure et par mètre carré de Mégachiles de la Luzerne en fonction de la radiation solaire en 2005.

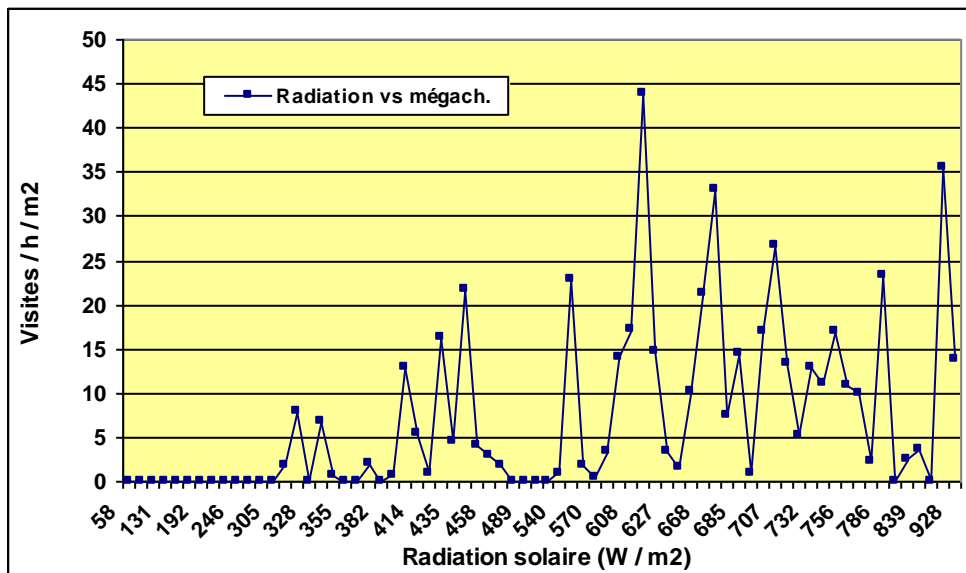


Figure 22. Nombre de visites par heure et par mètre carré de Mégachiles de la Luzerne fonction de la radiation solaire en 2006.

Question 1. Éléments de discussion :

1- Pourcentage de visites de chaque pollinisateur :

Les abeilles ont été présentes sur les fleurs de canneberges pendant les deux étés. Nos observations visuelles journalières ont pu déceler une activité normale aux ruches quand les conditions étaient favorables, ce qui est arrivé chaque jour en 2005 et presque chaque jour en 2006. La baisse notée en 2006 ne peut pas être expliquée par l'arrivée des abeilles à la mi-floraison, car les visites ont été calculées en visites par heure et par mètre carré. Cependant, en 2006, le site était plus petit et il y avait beaucoup de fleurs indigènes à proximité dans la tourbière naturelle et de fleurs cultivées dans une prairie tout près (trèfle blanc). La grande autonomie de vol de l'abeille et la présence de ces ressources, probablement plus riches en nectar, à proximité explique en partie la baisse du nombre de visites des abeilles (Evans et Spivak, 2006). On doit aussi prendre en considération la forte augmentation du nombre de visites des bourdons et autres pollinisateurs qui fait baisser le pourcentage de visites des abeilles. Les conditions climatiques moins chaudes en 2006 peuvent, en partie, expliquer le plus grand nombre de visites des Bourdons fébriles. La forte présence des bourdons indigènes est due à la proximité d'un milieu propice à leur survie : la tourbière naturelle (Evans et Spivak, 2006). La diminution des visites de mégachiles en 2006 s'explique par leur densité moindre. Celle-ci est due à la mortalité élevée causée par la présence de parasites, ainsi qu'aux fortes pluies ayant inondé les récipients contenant les cocons, pendant leur émergence dans les dômes.

2- Température (air et sol):

2.1 Abeilles

Les Abeilles domestiques sont utilisées couramment pour la pollinisation des canneberges, mais plusieurs producteurs ont observé qu'elles ne sont pas toujours très présentes sur les fleurs. Plusieurs raisons expliquent ce comportement : la grande autonomie de vol de l'abeille, son système de repérage en vol, ainsi que la transmission évoluée des informations (danse des abeilles) par les éclaireuses sur la disponibilité de ressources plus intéressantes (Winston, 1993).

Nos observations montrent qu'une seule abeille peut visiter presque 200 fleurs de canneberges de suite en dix minutes. Cette information en fait un pollinisateur très intéressant, mais peu fidèle à cette ressource (Cane et Schiffhauer, 2003).

Les analyses de température n'ont pas été poursuivies pour deux raisons : la plage de température pendant la floraison correspondait à celle permettant aux abeilles de butiner et bien qu'il y ait eu une grande activité aux ruches chaque jour, dans les champs de canneberges, il n'y avait pas toujours de visites (surtout dans la première moitié de la floraison en 2005). Clairement les abeilles butinaient sur d'autres ressources et donc l'absence de visites ne peut donc pas être justifiée par une température inadéquate. Ceci aurait donc occasionné des biais dans les analyses. D'un autre côté, les abeilles sont toujours moins actives en début de journée (avant 10h) et que la température soit fraîche ou plus chaude, les visites sont moins nombreuses. Il y a donc un biais possible pour les visites avant 10h.

2.2 Mégachiles

Les mégachiles ont été inactives les deux années sous 18°C dans l'air et 20 °C au sol, ce qui correspond aux données de la littérature (Lerer *et al.*, 1982). Le fait qu'elles puissent possiblement être actives à des températures plus fraîches avec le temps (Payette, 1999) nécessiterait que les producteurs ramassent les cocons et les conservent chaque année pour avoir des générations successives qui pourraient s'acclimater.

Mais pour le moment, la température pendant la floraison lors de ces deux années a permis de constater une activité plutôt constante et souvent limitée par la radiation solaire plutôt que par la température. Elles deviennent, par le fait même, des pollinisateurs très intéressants car leur rayon d'action est limité à 100-150 mètre autour du dôme, ce qui rend les mégachiles captifs des bassins de canneberges. Il faudrait cependant trouver une solution aux problèmes de parasitisme.

2.3 Bourdons fébriles, indigènes (espèces confondues) et autres pollinisateurs.

Les Bourdons fébriles n'ont pas montré de patron d'activité particulier lié à la température et ils ont été présents à toutes les températures observées (en 2006). Il est curieux de ne pas retrouver les Bourdons indigènes à des températures fraîches. Comme nous n'avons pas discriminé les espèces de Bourdons indigènes, il est difficile d'établir qu'ils seront systématiquement absents aux températures fraîches. La littérature établit pourtant clairement la grande résistance des bourdons aux conditions adverses (Stubbs et Drummond, 2001).

3. Radiation solaire.

3.1. Mégachiles

Les observations de 2005 et 2006 établissent clairement le lien très fort liant l'activité des mégachiles à la radiation solaire. Ceci correspond aux données de la littérature qui dit que leur activité cesse sous 200 W/m^2 (Lerer *et al.*, 1982). Nous n'avons pas observé de mégachiles butinant sous 244 W / m^2 lors de ces deux étés. Souvent les mégachiles butinant au champ s'arrêtent lors du passage d'un gros nuage pour reprendre l'activité après. Il devient évident que le principal facteur limitant à l'activité de butinage des mégachiles, les années où la température est dans les normales saisonnières, est la force de la radiation solaire. Ainsi, les années très nuageuses et pluvieuses, le butinage des mégachiles sera réduit et cette constatation devient très importante dans le choix des pollinisateurs à utiliser. Il faudrait donc prévoir au moins un autre pollinisateur pour compléter le travail des mégachiles.

3.2 Autres pollinisateurs

Les Abeilles domestiques pourraient être légèrement perturbées par la diminution de la radiation solaire, car elles se servent des rayons ultraviolets pour se diriger lors des vols, mais la couche nuageuse se doit d'être très épaisse et même sans rayons U.V., les abeilles utilisent aussi de nombreux repères visuels pour retenir leur route (Winston, 1993). En 2006, nous avons eu de nombreuses journées nuageuses et l'activité aux ruches était quand même très grande, même si les abeilles allaient surtout butiner ailleurs.

4. Vent

4.1 Tous les pollinisateurs

Le bourdon est connu pour bien résister aux intempéries : forts vents, froids, pluie (Stubbs et Drummond, 2001). L'abeille domestique est connue pour ne pas butiner quand les vents dépassent environ 20 km/h .

Lors de nos deux étés d'observations, les vents ont été généralement assez faibles. En 2006, nous avons pensé comparer le vent à 2 m du sol et celui à 30 cm du sol. Ces données étaient prises dans un bassin de canneberge. Malheureusement l'anémomètre placé à 2m du sol n'a pas bien fonctionné. Les bassins de cultures de la canneberge sont entourés de digues qui peuvent avoir des hauteurs variant de 1 à 2 mètres. Nous pensons que les digues agissent comme brise-vent et que le butinage dans les bassins pourrait aller au-delà d'une force de vent de 20 km/h (à 2m) pour l'abeille puisque qu'avec cet effet brise-vent, le vent serait en fait plus faible dans les bassins. Nous ne connaissons pas la résistance de la mégachile aux forts

vents, mais le fait que le dôme soit placé dans le bassin peut sûrement aider celles-ci à butiner malgré de forts vents. Comme la mégachile a un rayon d'action limité au bassin, cet effet de brise-vent peut être assez intéressant. Lors de nos expériences, les mégachiles butinaient à des vents allant jusqu'à 23 km/h. De plus les mégachiles volent assez bas ce qui peut aussi aider.

5. Humidité

5.1 Tous les pollinisateurs

Lors de nos observations, le pourcentage d'humidité ne semblait pas avoir un impact sur l'activité de butinage des pollinisateurs. Tout au plus est-il souvent lié à des épisodes de pluie (fort % d'humidité) où les pollinisateurs sont, de toute façon, soit moins actifs (à part les bourdons), soit inactifs. Pour les mégachiles, ceci correspond bien aux données de la littérature (Bailey *et al.*, 1982).

6. Précipitations

En 2006, il aurait été intéressant de vérifier l'activité des bourdons, beaucoup plus présents qu'en 2005, lors des nombreux épisodes de pluies. Nous avons pu observer visuellement leur présence au champ au début des épisodes de pluie et très tôt après une pluie. Cette résistance bien connue des bourdons peut devenir très intéressante les années pluvieuses et permettre quand même une pollinisation minimale. Malheureusement, l'absence de pluie en 2005 et des données incomplètes en 2006 ne nous a pas permis d'effectuer ces analyses.

7. Conclusion

- Les trois pollinisateurs utilisés peuvent très bien butiner dans les conditions climatiques observées pendant ces deux étés. L'utilisation de la mégachile seule n'est cependant pas conseillée puisqu'on ne peut prévoir les années avec des saisons de floraisons plus fraîches, nuageuses et pluvieuses. Il serait judicieux d'utiliser au moins deux pollinisateurs. Dans les fermes de petites dimensions, entourées d'habitats propices aux pollinisateurs indigènes, l'utilisation d'un seul pollinisateur introduit pourrait être envisagée.

Question 2 : Compétition et/ou complémentarité

La présence au champ de trois pollinisateurs introduits va-t-elle donner lieu à de la compétition, soit par interférence ou par exploitation ? Ou encore donner lieu à de la complémentarité ? Peut-être n'y aura-t-il aucune interaction entre les espèces ?

2005 :

Compétition : L'expérience de compétition n'a pas pu être effectuée car les abeilles étaient présentes pendant toute la floraison.

Visites :

Le graphique du nombre de visites de chaque pollinisateur selon la date (figures 23), montre qu'il y a eu peu de visites d'Abeilles domestique avant la mi-floraison et que celles-ci ont été concentrées sur une période de huit jours dans la deuxième partie de la floraison. Pour la Mégachile de la luzerne, les visites

ont été plus constantes à partir d'un pourcentage de fleurs ouvertes de 17% et ce, pour le reste de la floraison (figure 23). Les Bourdons fébriles et les autres pollinisateurs ont été rarement vus dans les parcelles tout le long de la floraison. Il y avait cependant de l'activité aux ruchettes à chaque jour, mais les bourdons allaient butiner ailleurs (figure 23).

Au niveau du pourcentage des visites totales effectuées par chaque pollinisateur, on observe que les abeilles ont fait 52% des visites, les mégachiles 40% et tous les autres réunis seulement 8% (Figure 25).

2006 :

Le graphique du nombre de visites de chaque pollinisateur selon la date (figure 24), montre qu'il y a eu peu de visites des pollinisateurs en première moitié de floraison. Les fleurs se sont ouvertes plus vite cette année et les conditions climatiques ont été plus pluvieuses pendant cette période. En deuxième partie de floraison, on observe deux pics de visites. Le premier principalement dû aux abeilles et le second principalement dû aux bourdons indigènes. La majorité des visites ont eu lieu pendant cette deuxième partie de floraison.

Les abeilles allaient beaucoup butiner ailleurs, mais ont tout de même effectuées 33% des visites totales de la floraison, même si elles n'ont été présentes sur le site qu'à partir de la mi-floraison (figures 24 et 25). Pour la Mégachile de la luzerne, les visites ont été plus nombreuses à partir de la mi-floraison et elles ont effectuées 22% de toutes les visites (figures 24 et 25).

Tous les autres pollinisateurs ont également été plus présents en deuxième partie de floraison. Ils ont effectués 45% des visites totales qui se répartissent comme suit : 12% pour les Bourdons fébriles, 24% pour les bourdons indigènes et 9% pour tous les autres pollinisateurs confondus (figures 23 et 24).

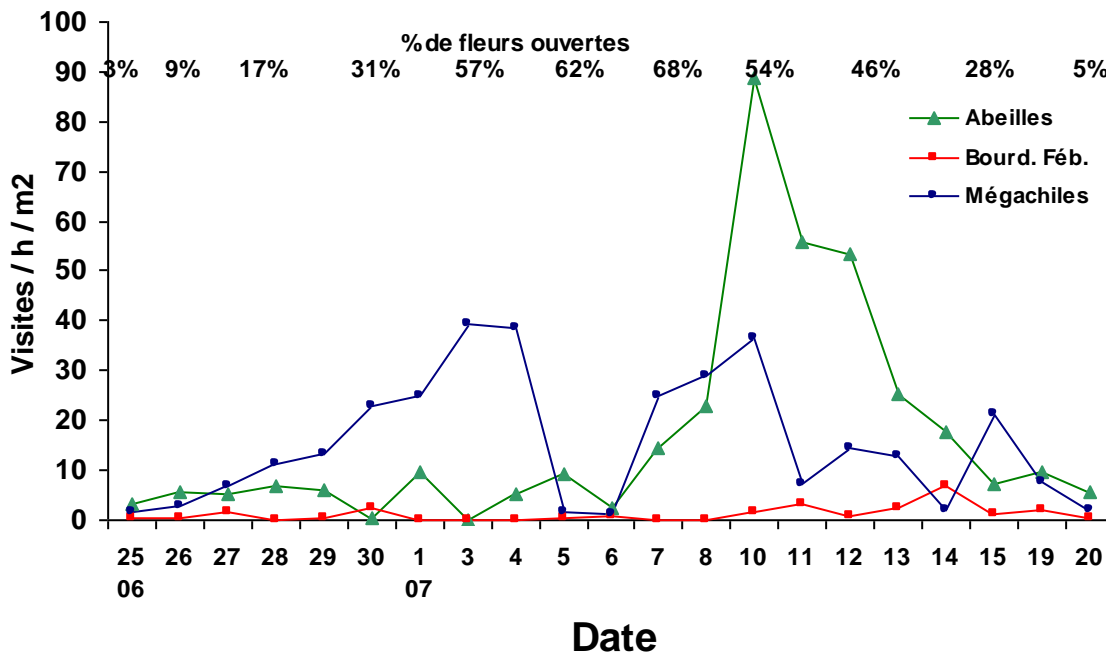


Figure 23 : Nombre de visites des pollinisateurs selon la date (2005)

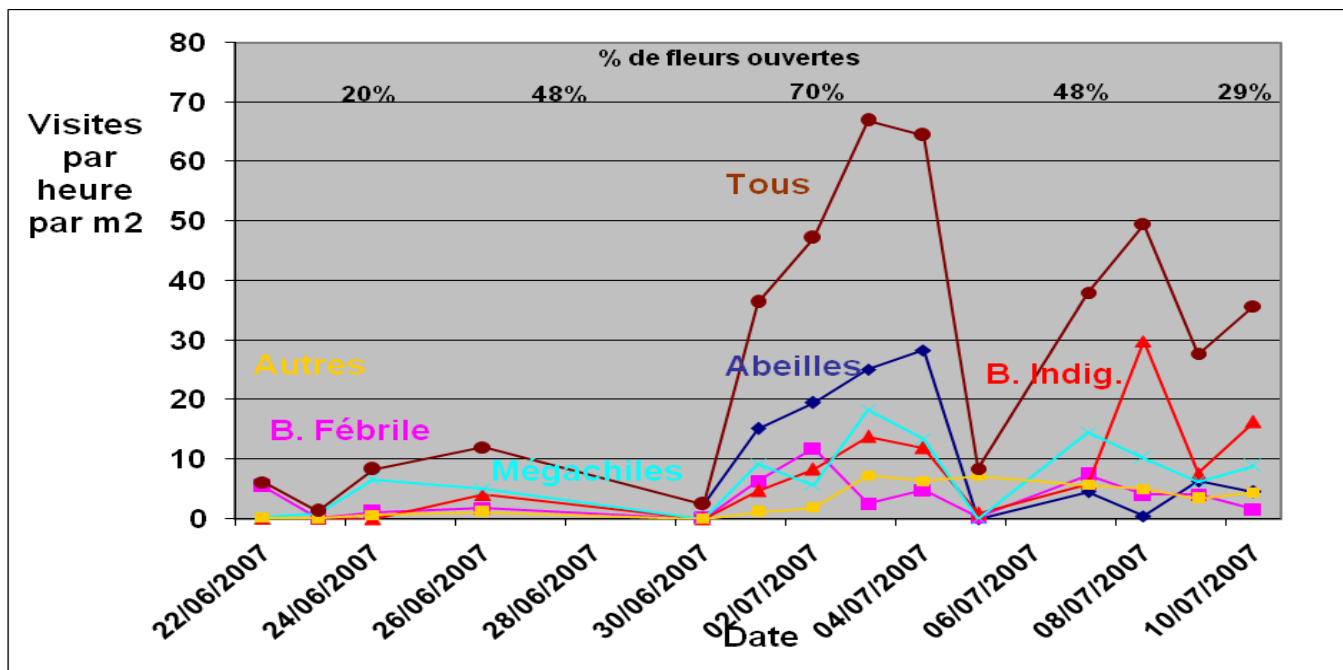


Figure 24 : Nombre de visites de pollinisateurs selon la date (2006)

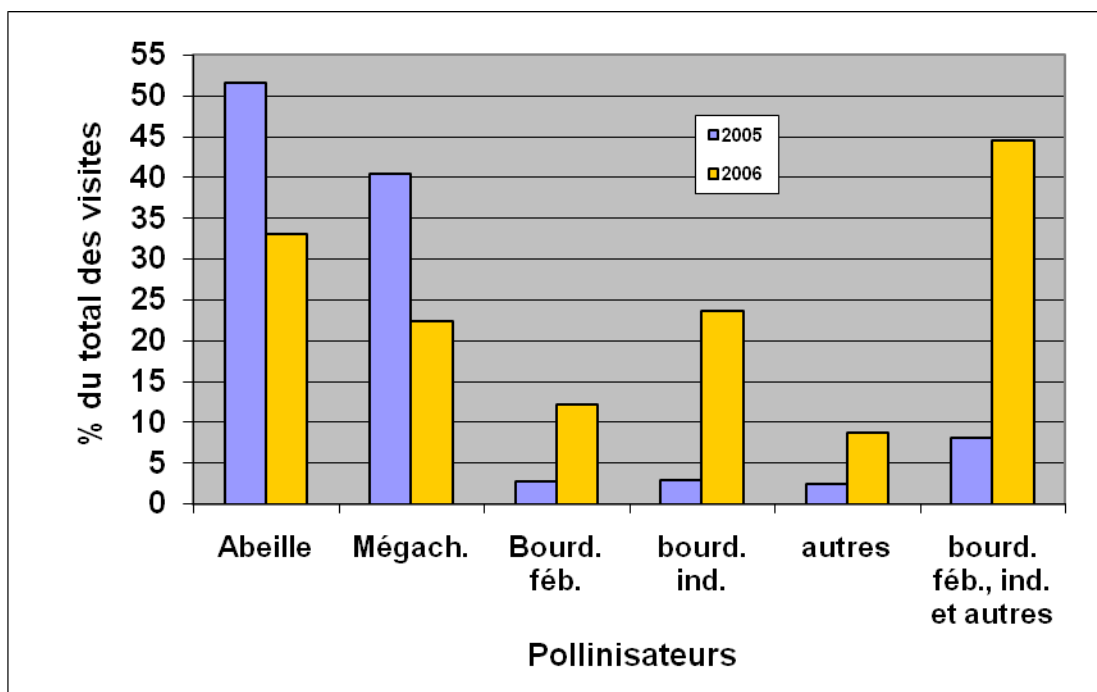


Figure 25 : Répartition du nombre de visites totales, selon le type de pollinisateurs en 2005 et 2006.

Analyse de la Compétition

Un test de t apparié nous montre que les visites de mégachiles sont significativement différentes après la mi-floraison ($\text{prob} > [t] = 0,0140$) comparativement à la première moitié de la floraison. Les analyses visuelles montrent une augmentation de la quantité de visites après la mi-floraison dans 13 des 15 parcelles observées.

Un test de t apparié nous montre que les visites des Bourdons fébriles ne sont pas significativement différentes après la mi-floraison ($\text{prob} > [t] = 0,0894$) comparativement à la première moitié de la floraison. Les analyses visuelles montrent cependant une augmentation de la quantité de visites après la mi-floraison dans 12 des 15 parcelles observées.

Question 2. Éléments de discussion :

Le nombre de visites augmente pour les deux années après la mi-floraison. Une diminution significative des visites des deux autres pollinisateurs (Mégachiles de la luzerne et Bourdons fébriles) après l'arrivée des abeilles aurait pu suggérer un effet de compétition de la part des abeilles. On peut donc penser que cette augmentation peut être simplement dû à une augmentation du nombre de fleurs disponibles sur le site, mais on ne peut pas exclure un effet d'attraction, de complémentarité dû à la présence de nombreuses butineuses sur la ressource, ce qui attireraient les autres espèces. La 2^e année, alors que les abeilles sont arrivées à la mi-floraison, on voit une augmentation des visites pour les autres pollinisateurs dans presque toutes les parcelles. En 2005, alors que les abeilles étaient déjà sur le site on a constaté la même chose avec les abeilles et les mégachiles. Il y a donc très probablement un effet de l'augmentation de la ressource disponible. On ne peut donc pas vraiment conclure qu'il n'y a pas de compétition ou qu'il y a de la complémentarité... D'ailleurs, Evans et Spivak (2006), ont noté que les Abeilles domestique déposaient plus de pollen sur les fleurs de canneberges à partir de la mi-floraison comparé au début de floraison. On voit ici probablement l'effet attractif de la grande disponibilité de la ressource. Il faut noter aussi que la saison 2005 a été exceptionnellement chaude et qu'il n'a pratiquement pas plu. Les abeilles étaient donc actives chaque jour, mais elles allaient butiner ailleurs, surtout avant la mi-floraison, mais aussi après. Peut-être y a-t-il, dans les sites étudiés, une ressource importante en première moitié de floraison, qui attire énormément les abeilles ?

Question 3 : Quels seront les impacts des visites des pollinisateurs sur la mise à fruit, le poids, le volume, le taux de pollinisation le total des ovules fécondés? Quels seront les relations de certaines de ces variables entre elles (excluant les visites des pollinisateurs) ?

A- Analyses de corrélation et de régression pour les variables poids, volume, taux de pollinisation et total des ovules fécondés.

Résultats statistiques :

Q3. 1-Volume :

2005 :

Les analyses avec le volume des fruits n'ont été faites qu'en 2005.

Volume vs poids :

Le coefficient de corrélation pour cette paire de variables est très élevé ($P=0$; $r = 0,9643$; $n=546$). La force de cette relation est donc très élevée. L'analyse est hautement significative.

L'analyse de régression linéaire simple effectuée pour cette paire de variables est hautement significative ($P=0$; $R^2= 0,96$; $n=926$), quelque que soit la variable dépendante utilisée. Le coefficient de détermination est très élevé. 96% de la variation du volume est expliqué par la variation du poids et vice-versa. La puissance prédictive de cette analyse est donc très forte.

Volume vs taux de pollinisation :

Le coefficient de corrélation pour cette paire de variables est moyennement élevé ($P=0$; $r= 0,4802$; $n=546$). La force de cette relation est donc moyenne.

L'analyse de régression linéaire simple effectuée pour cette paire de variables est hautement significative ($P<0.0001$; $R^2= 0,26$; $n=542$). Le taux de pollinisation est la variable indépendante. Le coefficient de détermination est très faible. La puissance prédictive de cette analyse est donc faible.

Q3. 2-Poids :

2005 et 2006:

Poids vs taux de pollinisation :

Les analyses de régression linéaire simple effectuées pour cette paire de variables (le taux de pollinisation est la variable indépendante) sont hautement significatives. (2005 : $P<0.0001$; $R^2= 0,26$; $n=549$; 2006 : $P<0.0001$; $R^2= 0,29$; $n=502$). Les coefficients de détermination sont faibles. La puissance prédictive de ces analyses est donc faible.

Poids vs total des ovules fécondés :

Les analyses de régression linéaire simple effectuées pour cette paire de variables (Le total des ovules fécondés est la variable indépendante) sont hautement significatives. (2005 : $P<0.0001$; $R^2= 0,42$; $n=658$; 2006 : $P<0.0001$; $R^2= 0,46$; $n=507$). Les coefficients de détermination sont moyennement élevés. La puissance prédictive de ces deux analyses est donc moyenne (Figures 27 et 28).

Tableau 6 :Analyses de corrélations et de régressions pour le poids, le volume des fruits, le taux de pollinisation et le total des ovules fécondés pour les parcelles ouvertes et fermées en 2005 et 2006.

Analyse	année	r ou R2	P (significativité)	n	Linéarité	postulats
Corrélation Poids- volume	2005	0,96	0	546	Oui	ok
Corrélation Volume- taux de pollin.	2005	0,48	0	546	Oui	ok
Régression Poids- volume	2005	0.96	0	926	Oui	ok
Régression Volume- taux de pollin.	2005	0.26	<0.0001	542	Oui	ok
Régression poids- taux de pollin.	2005	0.26	<0.0001	549	Oui	ok
Régression poids- total ovules fécondés	2005	0.42	<0.0001	658	Oui	ok
Régression poids- taux de pollin.	2006	0.29	<0.0001	502	oui	ok
Régression poids- total ovules fécondés.	2006	0.46	<0.0001	507	oui	ok. transform. log10

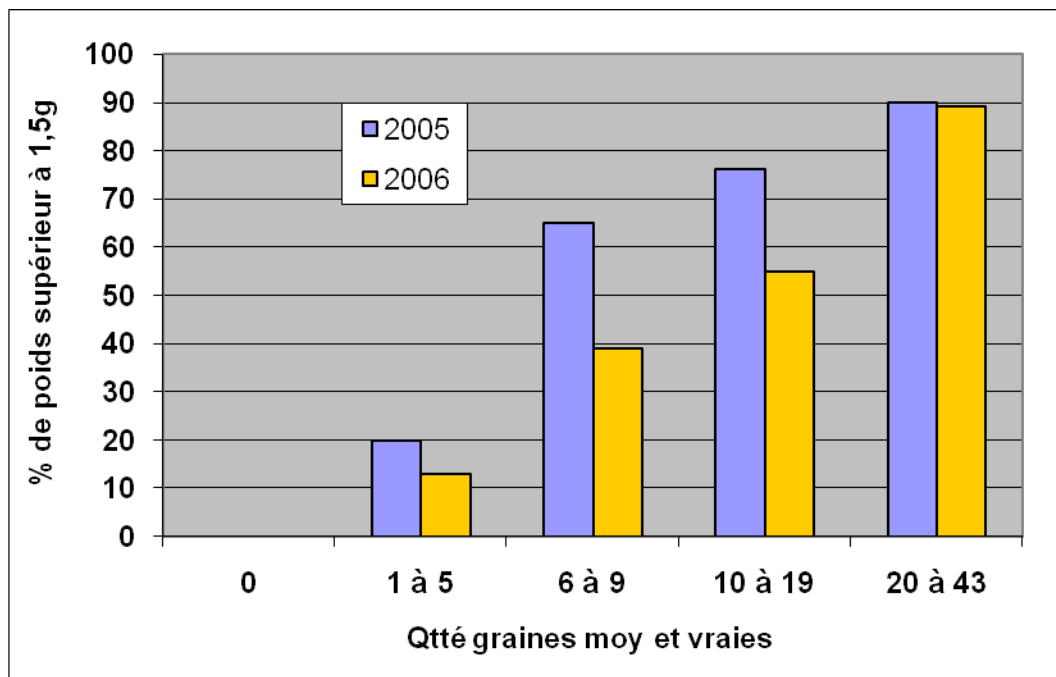


Figure 26. Pourcentage de fruits ayant un poids égal ou supérieur à 1,5g selon la quantité d'ovules fécondés qu'ils contiennent.

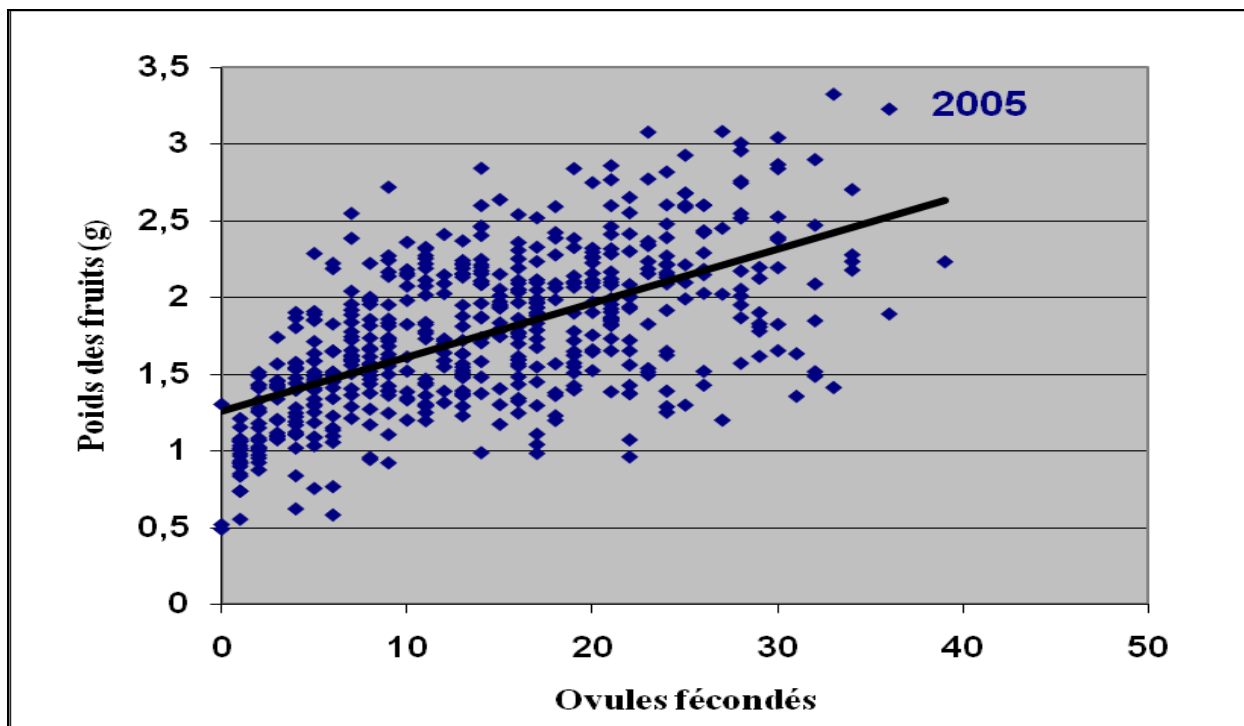


Figure 27. Régression linéaire simple pour le poids des fruits en fonction de la quantité d'ovules fécondés en 2005.

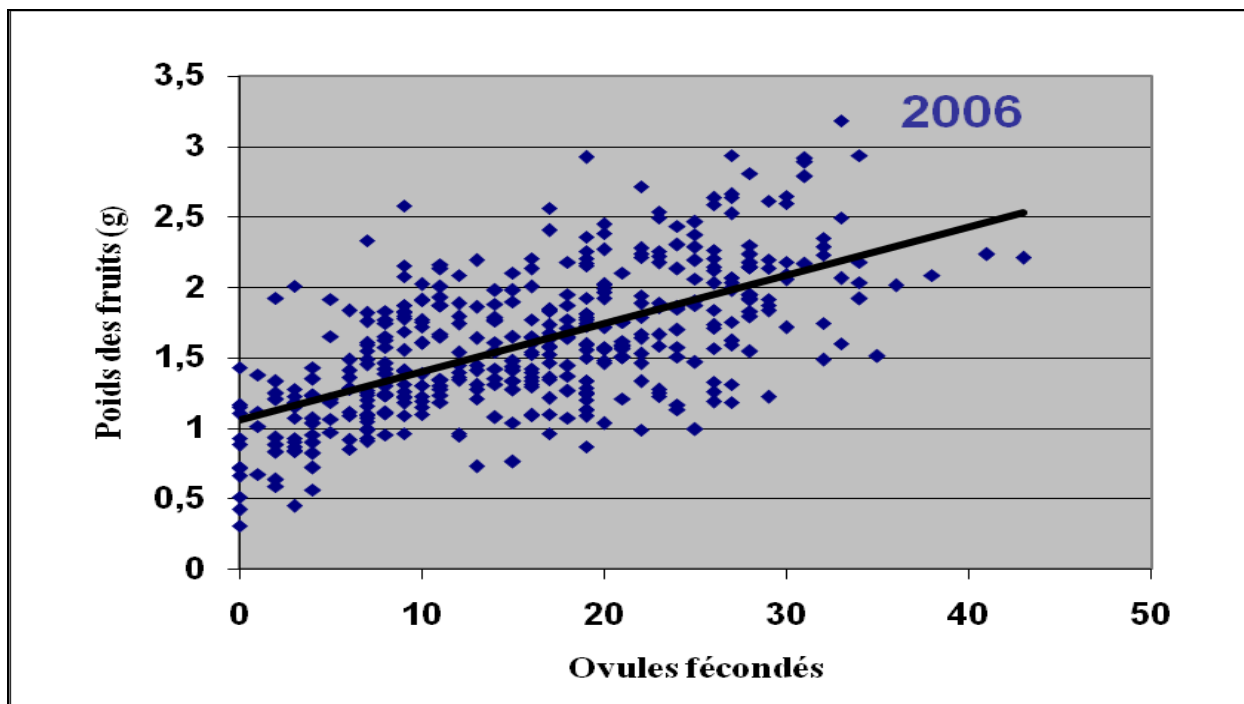


Figure 28. Régression linéaire simple pour le poids des fruits en fonction de la quantité d'ovules fécondés en 2006.

Q3A. Éléments de discussion : Analyses de corrélation et de régression pour les variables poids, volume, taux de pollinisation et total des ovules fécondés.

Q3.1-volume :

Les analyses de corrélation et de régression effectuées en 2005 entre les variables poids et volume indiquent un fort lien significatif entre ces deux variables. En effet 96% de la variation de l'une est expliquée par la variation de l'autre. Avec un lien si fort, les analyses avec le volume n'ont pas été refaites en 2006. Nous avons préféré concentrer les analyses sur la variable poids, puisque les canneberges sont vendues au poids.

En 2005, la force de la corrélation entre le volume et le taux de pollinisation est moyenne avec un r de 0,48. En régression, le coefficient de détermination nous indique que seulement 26% de la variation du volume est expliqué par la variation du taux. L'utilisation du taux de pollinisation fausse l'analyse. Nous en reparlerons en détail dans la section suivante sur le poids.

Q3. 2-Poids :

Les résultats des analyses utilisant le taux de pollinisation sont très décevants. Ainsi, la force des corrélations est moyenne et les coefficients de détermination des régressions sont faibles à chaque année, autant pour le poids que pour le volume (2005). Clairement l'utilisation du taux de pollinisation n'est pas la méthode d'analyse optimale.

Il est probable que le taux de pollinisation fausse l'analyse, car il s'agit d'un rapport (quantité de graines matures/ total des graines*100) qui est différent pour chaque fruit. Par exemple, deux fruits ayant 10 graines matures, mais 20 et 30 graines au total (total des ovules non fécondés, des graines avortées et des graines matures) auront respectivement des taux de pollinisation de 50% et de 33%. Si les analyses étaient faites avec le total des ovules fécondés seulement (Les ovules fécondés, mais avortés et les graines matures), celles qui participent au développement des fruits, notre exemple précédent verrait les deux fruits presque sur un pied d'égalité dans les analyses avec 10 graines matures chacun, plus quelques ovules avortés (toujours en petites quantité lors des analyses).

Nous avons vérifié cette hypothèse en refaisant les analyses avec le total des graines matures, dans un premier temps, puis en y ajoutant ensuite le total des graines avortées. Le raisonnement est le suivant : Si chaque graine mature contribue à l'augmentation du poids pour X% et chaque graines avortée pour yX%, alors plus il y a de graines avortées et matures dans un fruit, plus le poids du fruit augmentera .

Les résultats des nouvelles analyses de corrélation et de régression donnent les r et R² les plus élevés avec le total des ovules fécondés (comprenant donc les graines avortées et les graines matures).

Ainsi, les coefficients de détermination des régressions passent respectivement pour 2005 et 2006 de 0,26 et 0,29 avec la paire poids/ taux, à 0,42 et 0,46 avec la paire poids/ ovules fécondés (Tableau 7). Donc, plus de 40% de la variation du poids du fruit est expliqué par l'augmentation de la quantité d'ovules fécondés, en lien direct avec une bonne pollinisation des fleurs.

Pour les analyses subséquentes, les ovules fécondés ont donc été utilisés au lieu du taux de pollinisation.

Q3B- Éléments de discussion : Quel est l'impact des différentes densité de pollinisateurs sur la mise à fruit, le poids, le volume et le nombre de graines?

2005 :

Tableau 7 Analyses de régressions pour différentes variables en fonction du nombre de visites des pollinisateurs en 2005.

Variables analysées	% Flo-raison				Type d'analyse utilisée	Résultats de l'analyse			
		Variable indép.	Pollinisateur :	Effectif		R2	Prob > F	Sig nif.	pos tu-lats
Visites totales vs distance dôme	100 %	distance	Abeilles	22	Régression simple	0.38	0.0024	oui	ok
Visites vs taux	100 %	visites	Mégachiles	32*	Régression simple	0.14	0.0327	oui	ok
Visites vs taux	100 %	visites	Mégachiles et abeilles	22	Régression multiple	R ² ajusté 0.36	0.0151	oui	ok
Visites vs Moyenne des ovules fécondés	100 %	visites	Mégachiles et abeilles	22	Régression multiple	R ² ajusté 0.38	0.0041	oui	ok
Visites. vs poids total pi2	100 %	visites	Abeilles	22	Régression simple	0.40	0.0015	oui	ok
Visites. vs poids total pi2	100 %	visites	Mégachiles et abeilles	22	Régression multiple	R ² ajusté 0.34	0.0072	oui	ok
Visites vs taux	> 50%	visites	Mégachiles	33	Régression simple	0.16	0.0198	oui	ok

*** données aberrantes enlevées selon la distance de Cook.**

Note : Les des analyses de variance comparant les trois réplicats pour ces variables (voir tableau 15 en annexe) montrent que, pour les visites d'abeilles, le réplicat 3 appartient à une autre population. Ce réplicat a donc été retiré des analyses de régressions, mais uniquement pour les analyses avec visites d'abeilles.

Résultats de 2005 :

Les résultats des analyses de variance comparant les trois réplicats pour les variables suivantes : taux de pollinisation, poids individuels moyens des fruits étiquetés, poids total des fruits dans un pied carré, nombres de visites d'abeilles (visites/h/m2) et nombres de visites de mégachiles (visites/h/m2) (Tableau 15- annexe) montrent que, pour les visites d'abeilles, le réplicat 3 appartient à une autre population. Ce réplicat a donc été retiré des analyses de régressions, mais uniquement pour les analyses avec visites d'abeilles (comprenant donc aussi les régressions multiples avec les Mégachiles) (Tableaux 14 et 15- annexes)

Visites de pollinisateurs selon la distance au dôme ou aux ruches

Au niveau du nombre de visites des différents pollinisateurs en fonction de la distance au dôme ou aux ruches, seule l'analyse de régression simple avec les visites d'abeilles est significative (P= 0.0024) avec

un coefficient de détermination moyennement élevé de 0,38. Plus les parcelles sont près des ruches, plus il y a de visites d'abeilles (Tableau 14 -annexe).

Taux de pollinisation en fonction des visites :

Pour ce qui est du taux de pollinisation moyen par parcelle en fonction du nombre de visites des différents pollinisateurs, seule l'analyse de régression simple avec les mégachiles est significative ($P= 0.0327$) avec un coefficient de détermination faible de 0,14. 14% de l'augmentation du taux de pollinisation des fruits est expliqué par l'augmentation du nombre de visites des mégachiles (Tableau 14 -annexe). L'analyse de régression multiple comprenant les visites d'abeilles et de mégachiles est également significative ($P= 0.0151$) avec un coefficient de détermination ajusté moyennement élevé de 0,36 (Tableau 14 -annexe). 36% de l'augmentation du taux de pollinisation des fruits est expliqué par l'augmentation du nombre de visites des abeilles et des mégachiles combinées.

Ovules fécondés en fonction des visites :

Nous avons fait ces analyses pour 2005 et seule l'analyse de régression multiples pour les visites d'abeilles combinées à celles des mégachiles est significative ($P= 0,0041$; R^2 ajusté: 0,38 ; $n=22$). Le coefficient de détermination ajusté est moyennement élevé.

Poids en fonction des visites :

Pour le poids individuel moyen par parcelle des fruits étiquetés en fonction du nombre de visites des différents pollinisateurs, aucune analyse n'est significative (Tableau 14-annexe).

Pour le poids individuel moyen par parcelle des fruits provenant de la récolte des pieds carrés en fonction du nombre de visites des différents pollinisateurs, aucune analyse n'est significative (Tableau 14-annexe).

Pour le poids total par parcelle des fruits provenant de la récolte des pieds carrés en fonction du nombre de visites des différents pollinisateurs, seule l'analyse de régression simple avec les visites d'abeilles est significative ($P= 0.0015$) avec un coefficient de détermination moyennement élevé de 0,40. 40% de l'augmentation du poids total par parcelle des fruits est expliqué par l'augmentation du nombre de visites d'abeilles (Tableau 14-annexe). L'analyse de régression multiple pour le poids total par parcelle des fruits provenant de la récolte des pieds carrés en fonction du nombre de visites d'abeilles et de mégachiles est également significative ($P= 0.0072$) avec un coefficient de détermination ajusté moyennement élevé de 0,34. 34% de l'augmentation du poids total par parcelle des fruits est expliqué par l'augmentation du nombre de visites d'abeilles et de mégachiles combinée (Tableau 14 -annexe).

MAF en fonction des visites :

Pour le pourcentage de mise à fruit (MAF) par parcelle en fonction du nombre de visites des différents pollinisateurs, aucune analyse n'est significative (Tableau 14 -annexe).

Floraison divisée en deux blocs :

Pour les dernières analyses de cette section, la floraison a été divisée en deux blocs qui correspondent approximativement aux périodes avant et après la mi-floraison (25 juin au 7 juillet, puis 8 juillet au 20 juillet 2005) (Figure 1). Le nombre de visites (visites/h/m²) de chaque pollinisateur a été recalculé et les analyses de régression refaites pour deux variables, soit le taux de pollinisation et la MAF (Tableau 14 -annexe).

Pour le taux de pollinisation moyen par parcelle en fonction du nombre de visites des différents pollinisateurs, pour les deux blocs, les deux analyses avec les abeilles sont non-significatives (Tableau 14 -annexe). Pour les mégachiles, seule l'analyse de régression simple pour le bloc de la 2^e partie de floraison (8 au 20 juillet 2005) est significative ($P= 0.0198$) avec un coefficient de détermination faible de 0,16. 16% de l'augmentation du taux de pollinisation des fruits est expliqué par l'augmentation du nombre de visites des mégachiles en 2^e partie de floraison (Tableau 14 -annexe).

Pour le pourcentage de mise à fruit (MAF) par parcelle en fonction du nombre de visites des pollinisateurs, aucune analyse n'est significative, ni pour l'abeille, ni pour la mégachile (Tableau 14 -annexe).

Résultats de 2006

Visites des pollinisateurs selon la distance au dôme :

Au niveau du nombre de visites des différents pollinisateurs en fonction de la distance au dôme, seule l'analyse de régression simple avec les visites de mégachiles est significative ($P= 0.0007$; $n=15$) avec un coefficient de détermination élevé de 0,60. Plus les parcelles sont près du dôme, plus il y a de visites de mégachiles (Figure29 ; Tableau 8). Les analyses ont été refaites pour les mégachiles seulement pour les deux blocs : avant et après la mi-floraison. Les analyses sont significatives (avant mi-floraison : $P= 0.0142$; $R^2 : 0,41$; $n=14$. Après mi-floraison : $P= 0.0015$; $R^2 : 0,55$; $n=15$) et les coefficients de détermination moyennement élevés.

Total des ovules fécondés en fonction des visites :

En 2006, le taux de pollinisation a été remplacé par la moyenne du total des ovules fécondés, plus précis.

Pour la moyenne du total des ovules fécondés, par parcelle, en fonction du nombre de visites des différents pollinisateurs, seule l'analyse de régression simple avec la somme des visites de tous les pollinisateurs est significative ($P= 0.0271$) avec un coefficient de détermination moyen de 0,32. 32% de l'augmentation du total des ovules fécondés des fruits est expliqué par l'augmentation du nombre de visites de tous les pollinisateurs (Tableau 8).

Poids en fonction des visites :

Pour le poids individuel moyen par parcelle des fruits étiquetés en fonction du nombre de visites des différents pollinisateurs, aucune analyse n'est significative (Tableau 8).

Pour le poids individuel moyen par parcelle des fruits provenant de la récolte des pieds carrés en fonction du nombre de visites des différents pollinisateurs, aucune analyse n'est significative (Tableau 8).

Pour le poids total par parcelle des fruits provenant de la récolte des pieds carrés en fonction du nombre de visites des différents pollinisateurs, seule l'analyse de régression simple avec les visites d'abeilles est significative ($P= 0.0306$) avec un coefficient de détermination moyen de 0,31. 31% de l'augmentation du poids total par parcelle des fruits est expliqué par l'augmentation du nombre de visites d'abeilles (Tableau 8).

MAF en fonction des visites :

Pour le pourcentage de mise à fruit (MAF) par parcelle en fonction du nombre de visites des différents pollinisateurs, l'analyse de régression simple avec les visites de mégachiles est significative ($P= 0.0213$; $n=14$) avec un coefficient de détermination moyen de 0,37. 37% de l'augmentation du pourcentage de MAF par parcelle est expliqué par l'augmentation du nombre de visites des mégachiles.

L'analyse de régression simple avec les visites de Bourdons fébriles est également significative ($P= 0.0210$; $n=9$) avec un coefficient de détermination élevé de 0,56. 56% de l'augmentation du pourcentage de MAF par parcelle est expliqué par l'augmentation du nombre de visites des Bourdons fébriles (Tableau 8).

L'analyse de régression multiple avec les visites de chaque pollinisateur pour les parcelles situées entre 0 et 70m du dôme est également significative ($P= 0.0467$; $n=9$) avec un coefficient de détermination ajusté très élevé de 0,84. 84% de l'augmentation du pourcentage de MAF par parcelle est expliqué par l'augmentation du nombre de visites combinées de chaque pollinisateur (Tableau 8).

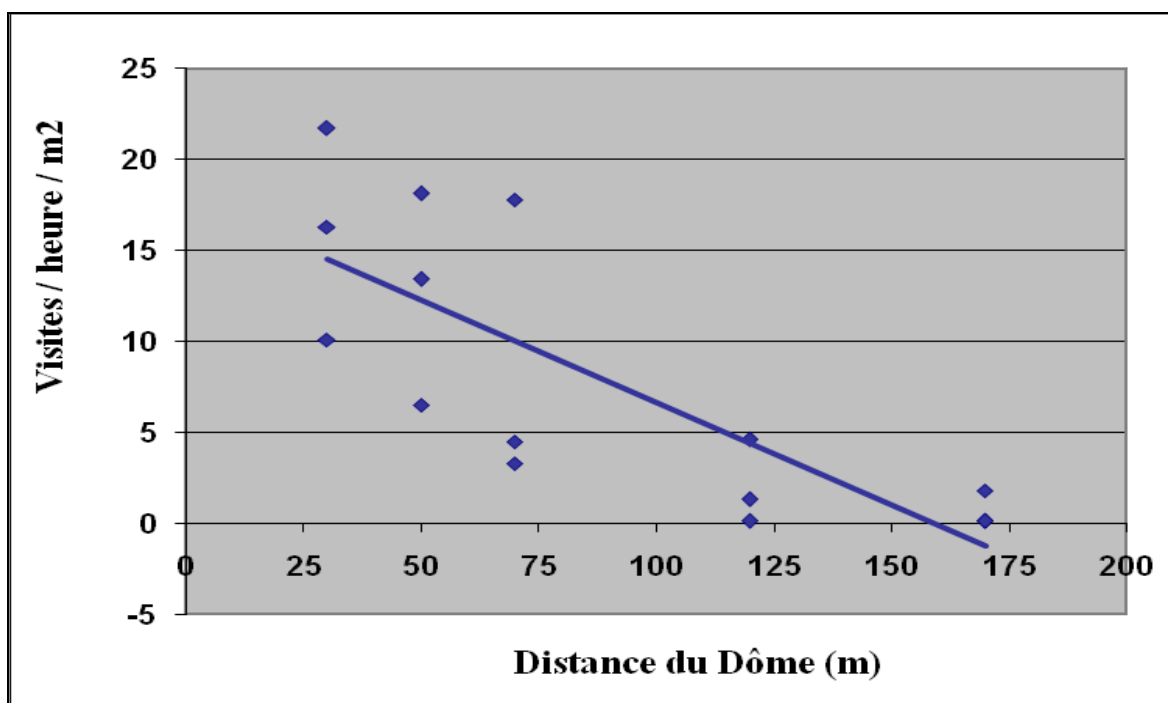


Figure 29 Analyse de régression linéaire simple pour les visites de Mégachiles de la luzerne selon la distance au dôme en 2006 ($P= 0.0007$; $R^2 : 0,60$ $n=15$).

Tableau 8. Analyses de régressions pour différentes variables en fonction du nombre de visites des pollinisateurs en 2006.

Variables analysées	% Floraison				Type d'analyse utilisée	Résultats de l'analyse			
		Var. indép.	Pollinisateur :	Effectif		R2	Prob > F	Sig. nif.	postulats
Visites tot. vs dist. dôme.	100 %	distance	Mégachile	15 (rel. nég)	Régr. sim	0.60	0.0007	oui	ok
Visites tot. vs dist. dôme. Mi-flor 1	< 50 %	distance	Mégachile	14* (rel. nég)	Régr. sim	0.41	0.0142	oui	ok
Visites tot. vs dist. dôme. Mi-flor. 2	> 50 %	distance	Mégachile	15 (rel. nég)	Régr. sim	0.55	0.0015	oui	ok
Visites vs Poids total pi2	100 %	visites	Abeilles	15	Régr. sim	0.31	0.0306	oui	ok
Visites vs MAF&	100 %	visites	Mégachile	14*	Régr. sim	0.37	0.0213	oui	ok
Visites vs MAF&	100 %	visites	Bourdons fébriles	9**	Régr. sim	0.56	0.0210	oui	ok
Visites vs MAF&	100 %	visites	Tous les pollinis.	15	Régr. sim	0.03	0.5270	non	ok
Visites vs MAF&	100 %	visites	Chaque pollinis.	9**	Régr. multiple	R2 aj. 0,84	0.0467	oui	ok
Visites vs Moyenne des ovules fécondés	100 %	visites	Tous les pollinis.	15***	Régr. sim	0.32	0.0271	oui	ok

* données aberrantes enlevées selon distance de Cook et résidus studentisés.

** 70 à 270m des dômes : voir tableau comparaison des 3R.

*** voir tableau des anovas pour les visites de tous les poll.

& : Pour la MAF, l'anova sort non-sign (pour les 15 parcelles), mais la variance est hétéroscédaste.

Q3C. Éléments de discussion : Différence entre les deux années de terrain

Les résultats de 2005 et de 2006 sont très différents. Un seul résultat se répète pour les deux années, soit les visites d'abeilles en fonction du poids total de la récolte des pieds carrés avec des coefficients de détermination moyennement élevés et assez similaires.

Visites des pollinisateurs selon la distance au dôme :

Pour les analyses des visites en fonction de la distance, en 2005, seul l'analyse avec les abeilles est significative : plus les parcelles sont près des ruches, plus il y a de visites d'abeilles. Pour les mégachiles, rien n'est significatif en 2005, alors que l'analyse est très significative en 2006 avec un coefficient de détermination assez élevé de 0,60. Une explication plausible est qu'en 2005, le site était rempli de dômes de mégachiles à chaque deux bassins. Ainsi, nos bassins expérimentaux étaient situés à des distances

assez rapprochées d'autres dômes et on observait plus de mégachiles dans les parcelles les plus éloignées du dôme expérimental qu'en 2006. En 2006, les seuls mégachiles présents sur le site étaient les nôtres et en plus comme la densité était plus faible due au parasitisme et à la pluie, les visites étaient plus nombreuses aux parcelles rapprochées. En 2006, nous avons également analysé les visites de mégachiles selon la distance au dôme pour les deux blocs de floraison : avant et après la mi-floraison. Ces analyses sont significatives, mais les coefficients de détermination sont plus faibles que pour l'analyse de la floraison totale.

Taux de pollinisation en fonction des visites : 2005

Ces analyses ont été faites uniquement en 2005. Le taux de pollinisation a été remplacé par le total des ovules fécondés en 2006.

Les visites de mégachiles seules n'expliquent que faiblement l'augmentation du taux de pollinisation, tandis que lorsque combinées avec celles des abeilles, le pourcentage d'explication augmente sensiblement (36%) tout en restant peu élevé.

Total des ovules fécondés en fonction des visites :

En 2005, seule l'analyse de régression multiple abeilles-mégachiles est significative et son coefficient de détermination n'est que sensiblement plus élevé que l'analyse avec le taux de pollinisation, soit 0,38 au lieu de 0,36. Donc, plus il y a de visites d'abeilles et de mégachiles, plus il y a d'ovules fécondés dans les fruits. 38% de cette augmentation est expliqué par l'augmentation des visites.

Nous avons montré, dans la section précédente, que le poids du fruit augmente significativement avec l'augmentation de la quantité d'ovules fécondés. Dans la situation de 2005, les visites combinées abeilles-mégachiles ont donc fait augmenter le poids des fruits.

En 2006, les analyses sont toutes non significatives avec les pollinisateurs pris individuellement, mais l'analyse devient significative si on additionne les visites de tous les pollinisateurs, pour toute la période de floraison. Donc, plus il y a de visites de pollinisateurs, plus il y a d'ovules fécondés dans les fruits. 32% de cette augmentation est expliqué par l'augmentation des visites.

Nous avons montré, dans la section précédente, que le poids du fruit augmente significativement avec l'augmentation de la quantité d'ovules fécondés. Dans la situation de 2006, les visites combinées de tous les pollinisateurs ont donc fait augmenter le poids des fruits.

Poids en fonction des visites :

Pour les deux années, toutes les analyses faites avec le poids individuel moyen par parcelle des fruits étiquetés et le poids individuel moyen par parcelle des fruits provenant de la récolte des pieds carrés, en fonction du nombre de visites des différents pollinisateurs, sont non-significatives. Il n'est donc pas possible de lier directement les visites des pollinisateurs à l'augmentation individuelle du poids des fruits.

Pour les analyses faites avec poids total, par parcelle, des fruits provenant de la récolte des pieds carrés, en fonction du nombre de visites des différents pollinisateurs, seules les visites avec les abeilles augmentent significativement le poids total d'une parcelle et ce pour les deux années. L'analyse de régression multiple faite en 2005 avec les abeilles et les mégachiles est également significative, mais n'a pu ressortir en 2006.

MAF en fonction des visites :

En 2005, aucune analyse avec la mise à fruit n'était significative, tandis qu'en 2006, plusieurs le sont. Celles avec les mégachiles et les Bourdons fébriles individuellement ont des coefficients de détermination moyennement élevé et l'analyse avec les visites de tous les pollinisateurs confondus est non-significative. Cependant, l'analyse de régression multiple comprenant les visites de chaque pollinisateur en fonction de la mise à fruit est significative et donne un pourcentage d'explication très élevé de 84%. Il faut noter que puisque cette analyse incluse les Bourdons fébriles, nous avons dû limiter l'analyse aux parcelles situées entre 0 et 70 mètre des dômes (l'analyse comparative des réplicats pour les Bourdons fébriles montre des problèmes de respects des postulats statistiques lorsque toutes les parcelles sont incluses, ce qui se règle quand on ne prend que les parcelles entre 0 et 70m).

Question 5 : Potentiel producteur du plant :

Résultats statistiques

Q5A- Impact des pollinisateurs : parcelles ouvertes et fermées.

Tableau 9. Analyses de variance comparant les parcelles ouvertes et d'exclusions pour le poids, la mise à fruit, le taux de pollinisation et le total des ovules fécondés en 2005 et 2006.

	2005				2006			
	P	n	Ouverte	fermée	P	n	Ouverte	fermée
Poids	<0,0001	1122	1,73g	1,28g	<0,0001	507	1,61	1,13
% mise à fruit	<0,0001	42	43,7%	24,8%	0,0002	21	49,2%	23,8%
Taux de pollinisation	<0,0001	658	34,6%	8,1%	<0,0001	505	42,8%	7,7%
Total des ovules fécondés *	<0,0001	658	14,1	3,1	<0,0001	505	16	2,7

* Postulat d'homoscédasticité non respecté.

Mise à fruit :

2005 :

Il y a une différence significative de % de MAF entre les tiges des parcelles ouvertes et fermées (anova : $P < 0,0001$; $n=42$). La moyenne est plus élevée en parcelle ouverte (43,7% contre 24,8%).

2006 :

Il y a une différence significative de % de MAF entre les tiges des parcelles ouvertes et fermées (anova : $P = 0,0002$; $n=21$). La moyenne est plus élevée en parcelle ouverte (49,2% contre 23,8%).

Poids :

2005 :

Il y a une différence significative de poids moyen entre les fruits des parcelles ouvertes et fermées (anova : $P < 0,0001$; $n=1122$). Le poids moyen est plus élevé en parcelle ouverte (1,73g contre 1,28g).

2006 :

Il y a une différence significative de poids moyen entre les fruits des parcelles ouvertes et fermées (anova : $P < 0,0001$; $n=507$). Le poids moyen est plus élevé en parcelle ouverte (1,61g contre 1,13g).

Taux de pollinisation :

2005 :

Il y a une différence significative de taux de pollinisation moyen entre les fruits des parcelles ouvertes et fermées (anova : $P < 0,0001$; $n=658$). Le taux de pollinisation moyen est plus élevé en parcelle ouverte (34,6% contre 8,1%).

2006 :

Il y a une différence significative de taux de pollinisation moyen entre les fruits des parcelles ouvertes et fermées (anova : $P < 0,0001$; $n=505$). Le taux de pollinisation moyen est plus élevé en parcelle ouverte (42,8% contre 7,7%).

Total des ovules fécondés:

2005 :

Il y a une différence significative dans la moyenne du total des ovules fécondés, entre les fruits des parcelles ouvertes et fermées (anova : $P < 0,0001$; $n=658$). Le taux de pollinisation moyen est plus élevé en parcelle ouverte (14,1 contre 3,1).

2006 :

Il y a une différence significative dans la moyenne du total des graines ovules fécondés, entre les fruits des parcelles ouvertes et fermées (anova : $P < 0,0001$; $n=505$). Le taux de pollinisation moyen est plus élevé en parcelle ouverte (16,0 contre 2,7).

Q5B- Pollinisation manuelles (2005 seulement):

Tableau 10 : Résumé général des résultats de 2005:

Variable	Moyenne	Erreur-type (+/-)	médiane	1er quartile
% MAF	48,8%	+/- 4,4%	50%	36,7%
Poids moyen	1,54g (0,44g-2,47g)	+/- 0,06g	1,49g	1,24g
Qtté vraies graines	11,2 (0-32)	+/- 1	10	5
Total graines	36,2 (0-51)	+/- 0,8	36,5	34
Taux poll.	30,2 (0%-82,4%)	+/- 2,6%	28%	15,8%
moyenne fruits par tige	2.33 fruits / tige			

n = 63 fruits

Tableau 11 : Niveaux hiérarchiques de fruits expérimentaux de 2005 :

niveau hiérarchique du fruit	# fruits	% des fruits totaux	Poids moyen (g)	Erreur-type sur poids moyen	Tuckey	Taux poll moyen (%)	erreur-type sur taux moyen	Tuckey
1	11	17.5	1.41	+/- 0.15	A	22	+/- 5.5	B* &
2	17	27	1.64	+/- 0.1	A	23.6	+/- 4.4	B* &
3	17	27	1.42	+/- 0.12	A	32.4	+/- 4.4	AB &
4	11	17.5	1.52	+/- 0.18	A	28.3	+/- 5.5	AB &
5	5	8	1.87	+/- 0.18	A	53.5	+/- 8.2	A*
6	2	3	1.59	+/- 0.2	A	64.7	+/- 13	A*
7	0	0	----	----	---	----	----	---
Total	63	100	----	----	---	----	----	---

* Différence significative entre les paires de lettres différentes.

& : Analyse de variance refaite en enlevant les niveaux 5 et 6 qui ont des n petits : Pas de différence significative entre les niveaux 1 à 4.

Tableau 12 Nombre de fruits par tige dans les parcelles expérimentales en 2005:

# fruits/tige	# tiges	# fruits	% tiges totales	Poids moyen (g)	Erreur-type sur poids moyen	Tuckey	Taux poll moyen (%)	erreur-type sur taux moyen	Tuckey
0	2	0	6.9	----	---	----	---	---	---
1	4	4	13.8	1.51	+/- 0.22	AB	40.6	+/- 10.8	A
2	12	24	41.4	1.29	+/- 0.09	B*	28.9	+/- 4.2	A
3	9	27	31	1.75	+/- 0.09	A*	30.8	+/- 4	A
4	2	8	6.9	1.60	+/- 0.16	AB	27.1	+/- 7.3	A
total	29	63	100						

* Différence significative entre les paires de lettres différentes.

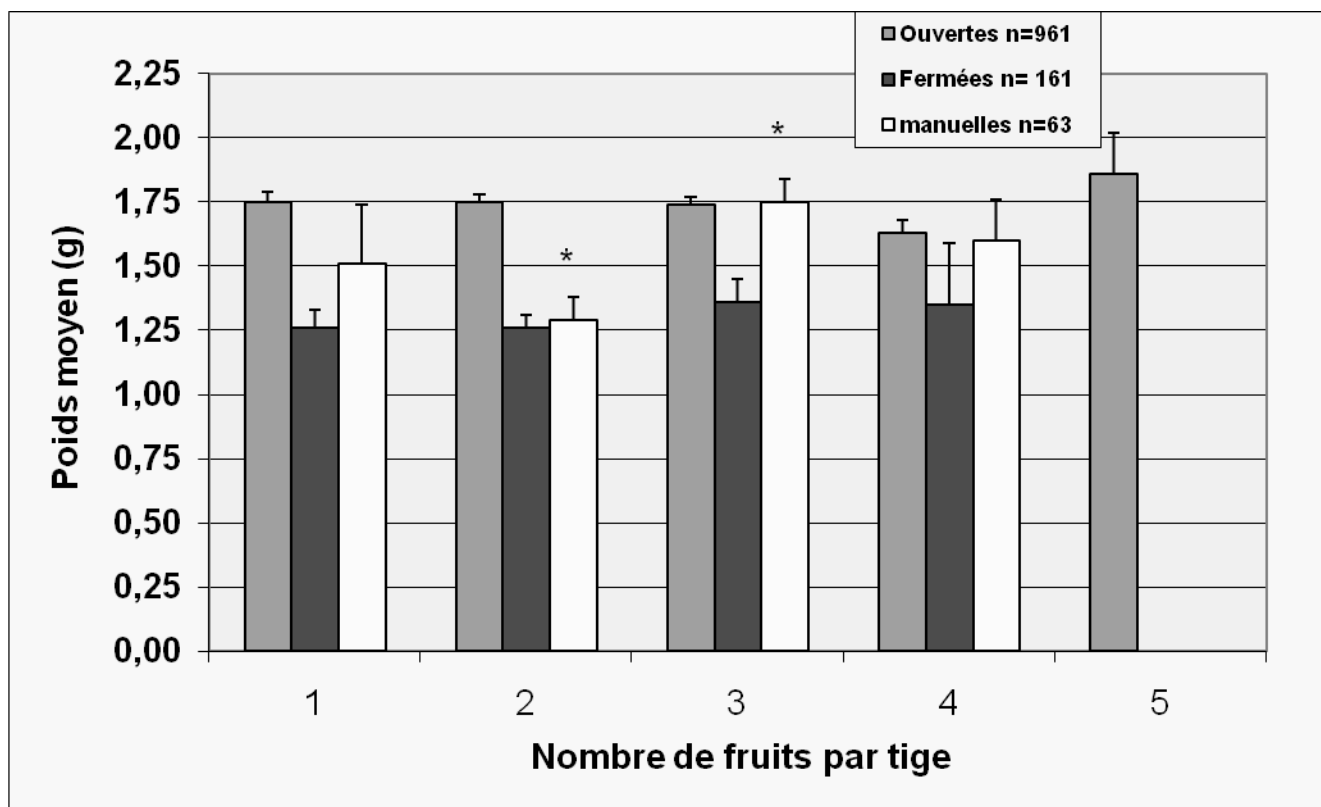


Figure 30 : Poids moyen du fruit (et erreur-type) selon le nombre de fruits par tige pour les parcelles ouvertes, fermées et pollinisées manuellement en 2005.

Q5C- Nombre de fruits par tige : Allocation des ressources.

1-poids :

2005 :

L'anova est hautement non significative ($P= 0,1410$; $n=1059$; postulats : ok).

Aucune différence significative de poids moyen entre les différentes paires selon le test de Tuckey (Figure 31).

2006 :

L'anova est faiblement non significative ($P= 0,0535$; $n=429$; postulats : ok).

Aucune différence significative de poids moyen entre les différentes paires selon le test de Tuckey, sauf entre les tiges ayant 1 et 5 fruits. Le poids moyen des tiges ayant 5 fruits ($n=70$) est plus élevé que celui des tiges à un fruit ($n=46$)(1,69g comparé à 1,43g.) (Figure 31).

2-Taux :

2005 :

L'anova est hautement significative ($P < 0,0001$; $n=549$; postulats : ok).

Il existe des différences significatives de taux de pollinisation moyen entre les différentes paires suivantes selon le test de Tuckey : 1-4 ; 2-4 ; 3-4 (figure 32)

2006 :

L'anova est faiblement significative ($P= 0,0434$; $n=427$; postulats : ok).

Il n'existe aucune différence significative de taux de pollinisation moyen entre les différentes paires selon le test de Tuckey (figure 32).

3- Total des ovules fécondés :

2005 :

L'anova est hautement significative ($P=0,0007$; $n=549$; postulats : ok).

Il existe des différences significatives entre la moyenne du total des graines moyennes et des vraies graines, entre les différentes paires suivantes, selon le test de Tuckey : 1-5 ; 2-5 ; 4-5.(figure 33)

2006 :

L'anova est significative ($P=0,0145$; $n=549$; postulats : ok).

Il existe des différences significatives entre la moyenne du total des graines moyennes et des vraies graines uniquement pour les tiges ayant 1 et 5 fruits, selon le test de Tuckey.(figure 33)

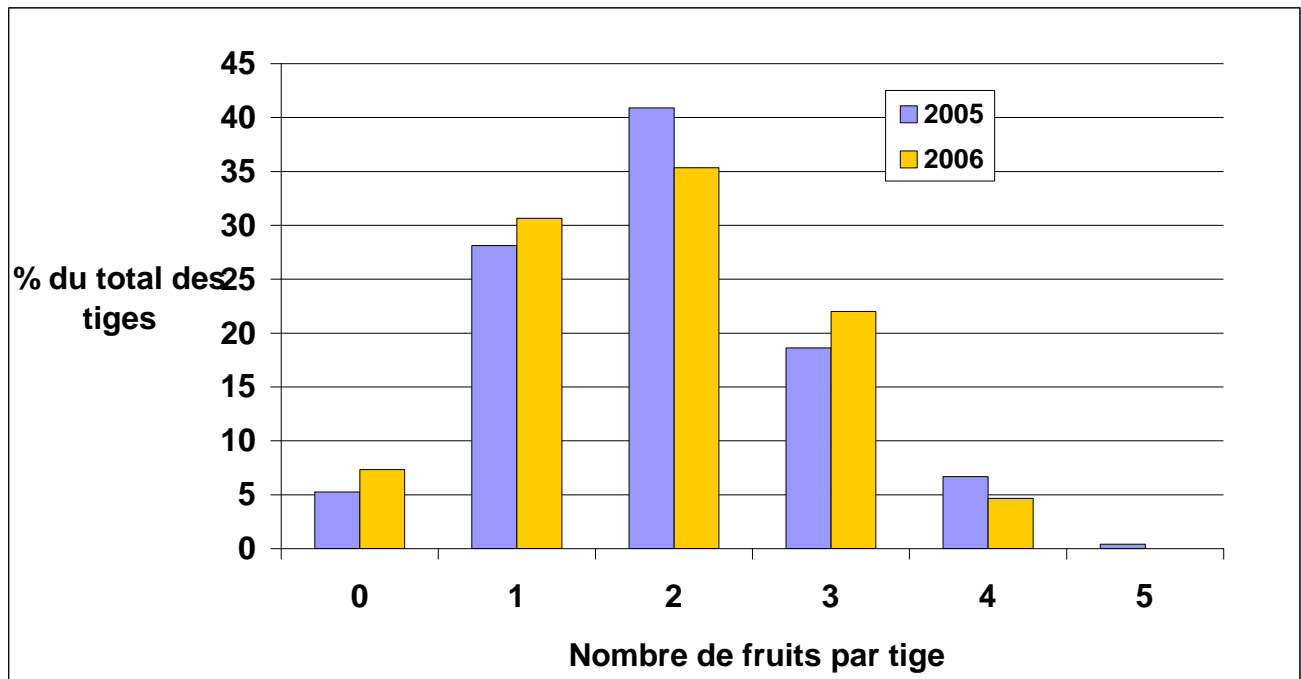


Figure 31. Répartition en pourcentage du total des tiges selon le nombre de fruits par tige, en 2005 et 2006 dans les parcelles ouvertes.

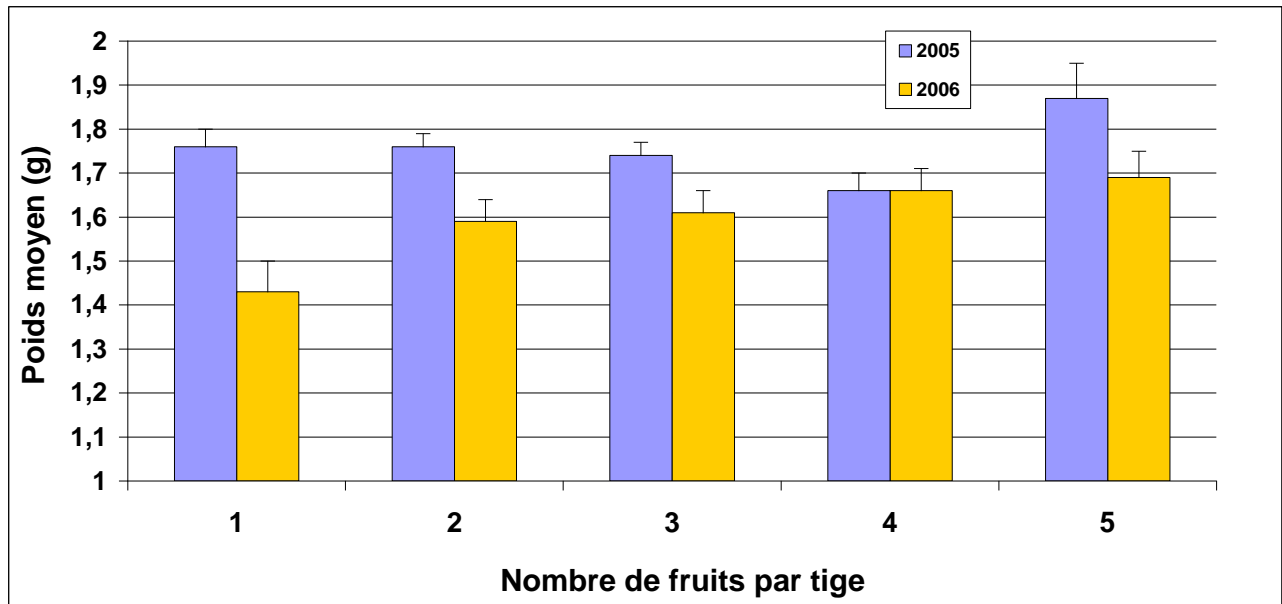


Figure 32 Poids moyen des fruits selon le nombre de fruits que portent les tiges en 2005 et 2006 dans les parcelles ouvertes.

*Différence significative.

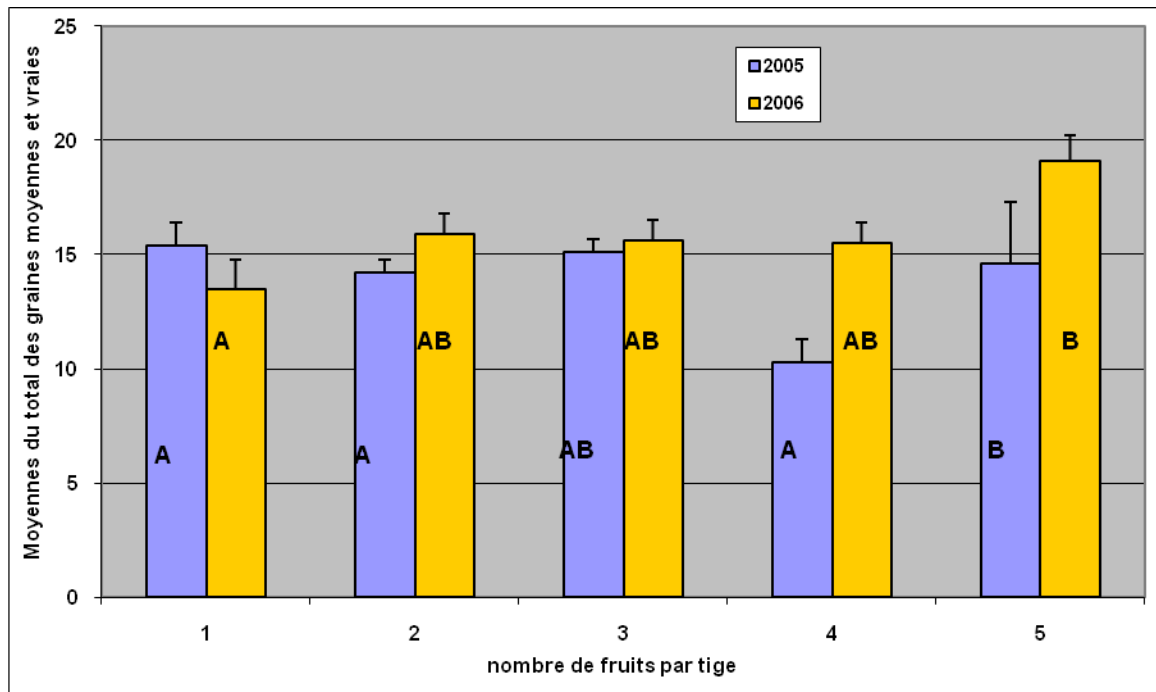


Figure 33. Moyennes du total des ovules fécondés des fruits selon le nombre de fruits que portent les tiges en 2005 et 2006 dans les parcelles ouvertes.

* Les histogrammes qui ne sont pas reliés par une même lettre, pour une même année, montrent une différence significative.

Q5D- Impact du niveau hiérarchique des fruits (sur les tiges) sur le poids, le taux de pollinisation et sur le total ovules fécondés par fruit.

Résultats statistiques :

1-poids :

2005 :

L'anova est hautement significative ($P > 0,0001$; $n=979$; postulats : hétéroscédaste).

Il y a des différences significatives de poids moyen entre les différents niveaux suivants selon le test de Tuckey : 1-3 ; 1-4 ; 1-5 ; 1-6 ; 1-7 ; 2-4 ; 2-6. (figure 35).

2006 :

L'anova est non significative ($P = 0,6107$; $n=429$; postulats : ok).

Aucune différence significative de poids moyen entre les différents niveaux selon le test de Tuckey. (figure 35)

2-Taux de pollinisation:

2005 :

L'anova est hautement significative ($P = 0,0006$; $n=511$; postulats : ok).

Il existe des différences significatives de taux de pollinisation moyen entre les différents niveaux suivants selon le test de Tuckey : 1-5 ; 2-5. (figure 36)

2006 :

L'anova est non significative ($P = 0,3602$; $n=427$; postulats : ok).

Il n'existe aucune différence significative de taux de pollinisation moyen entre les différents niveaux selon le test de Tuckey. (figure 36)

3- Total des graines ovules fécondés

2005 :

L'anova est non significative ($P = 0,1449$; $n=511$; postulats : ok).

Il n'existe aucune différence significative entre la moyenne du total des graines moyennes et des vraies graines, entre les différents niveaux. (figure 37)

2006 :

L'anova est significative ($P = 0,0573$; $n=427$; postulats : ok).

Il n'existe aucune différence significative entre la moyenne du total des graines moyennes et des vraies graines, entre les différents niveaux. (figure 37).

Q5E- Comparaison du rang d'un fruit sur la tige (selon l'ordre croissant de la quantité d'ovules fécondés) en fonction de son niveau hiérarchique ou de sa position relative sur la tige.

Q5E.1 Niveau hiérarchique :

2005 :

Nous avons analysé les rangs 1 à 5 et les niveaux hiérarchiques 1 à 9. L'analyse de corrélation non-paramétrique de Spearman est significative ($P > 0,0001$; rho de Spearman: 0,25; n=478).(figure 34)

2006 :

Nous avons analysé les rangs 1 à 5 et les niveaux hiérarchiques 1 à 6. L'analyse de corrélation non-paramétrique de Spearman est significative ($P > 0,0001$; rho de Spearman: 0,24; n=381).(figure 34)

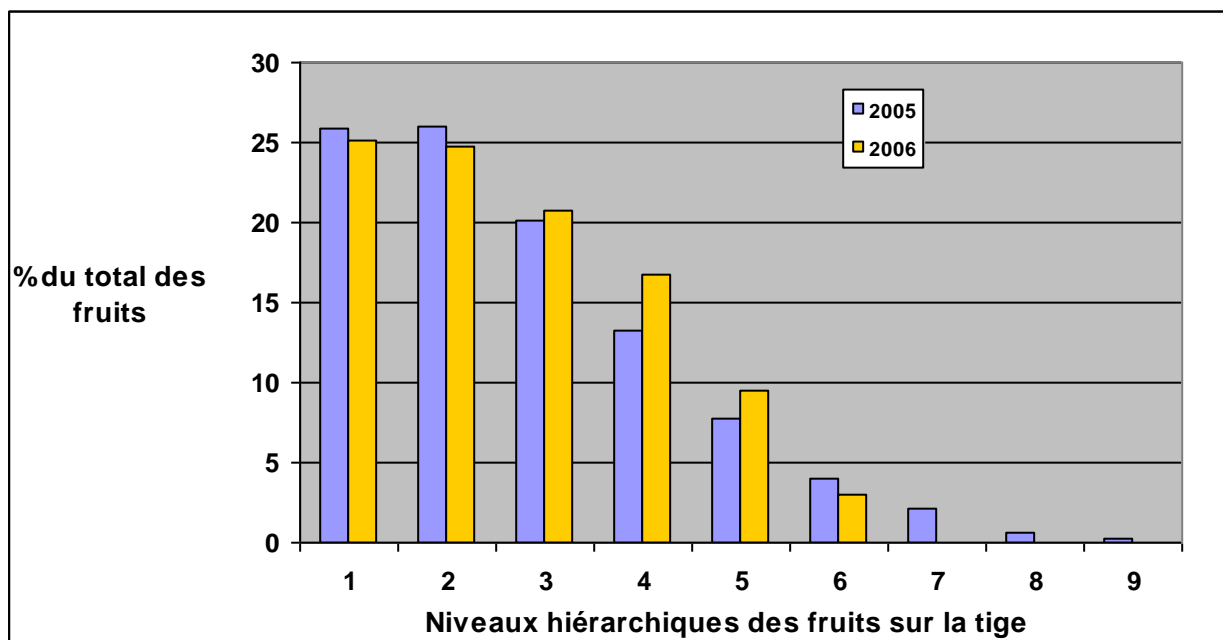


Figure 34. Répartition en pourcentage du total des fruits selon leur niveau hiérarchique sur la tige, en 2005 et 2006 dans les parcelles ouvertes.

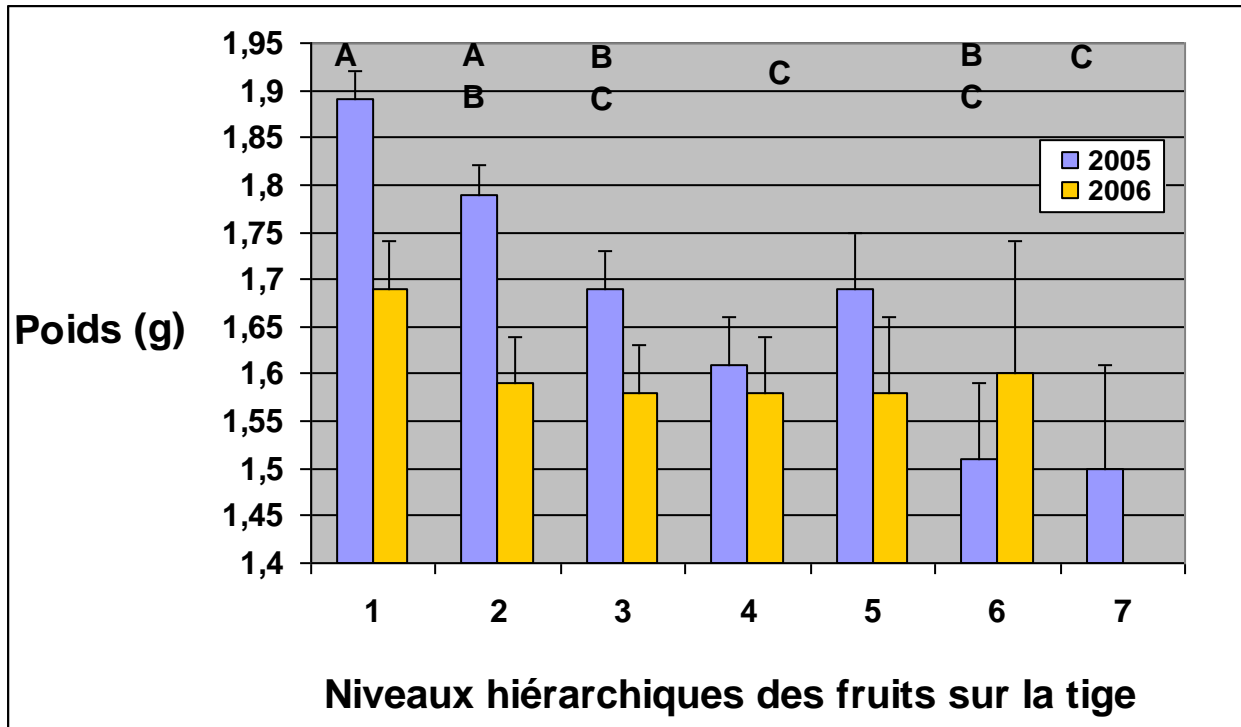


Figure 35 Poids moyen des fruits selon leur niveau hiérarchique sur la tige en 2005 et 2006 dans les parcelles ouvertes. Les histogrammes qui ne sont pas reliés par une même lettre, pour une même année, montrent une différence significative.

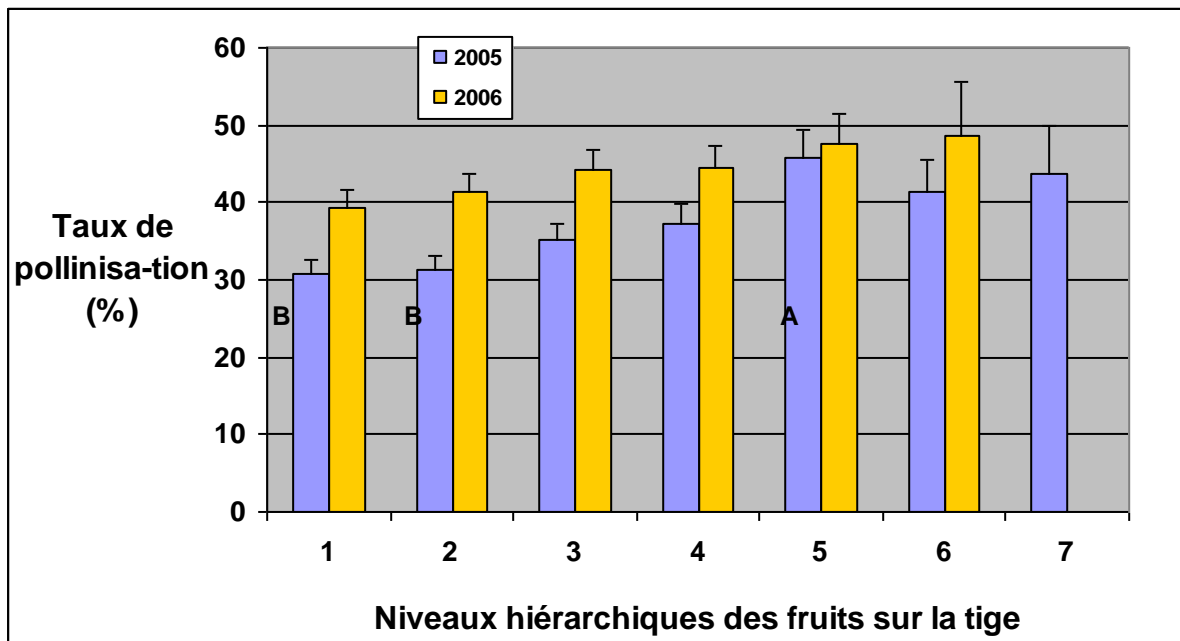


Figure 36. Taux de pollinisation moyen des fruits selon leur niveau hiérarchique sur la tige en 2005 et 2006 dans les parcelles ouvertes.

* Les histogrammes qui ne sont pas reliés par une même lettre, pour une même année, montrent une différence significative.

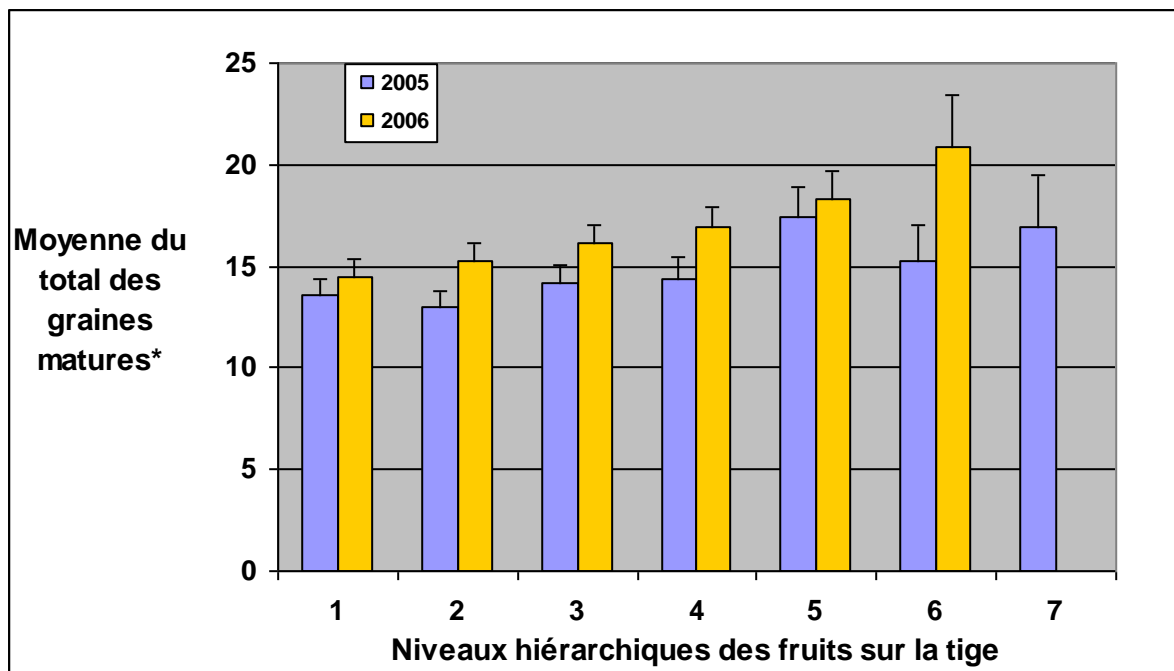


Figure 37. Moyenne du total des ovules fécondés des fruits selon leur niveau hiérarchique sur la tige en 2005 et 2006 dans les parcelles ouvertes.

* Les ovules fécondés sont les graines moyennes et les vraies graines.

Q5E.2 Position relative :

2005 :

Nous avons analysé les rangs 1 à 5 et les positions relatives 1 à 5. L'analyse de corrélation non-paramétrique de Spearman est significative ($P > 0,0001$; rho de Spearman: 0,33; n=478).

2006 :

Nous avons analysé les rangs 1 à 5 et les positions relatives 1 à 5. L'analyse de corrélation non-paramétrique de Spearman est significative ($P > 0,0001$; rho de Spearman: 0,38; n=381).

Discussion :

Q5A-Discussion : Impact des pollinisateurs : parcelles ouvertes et fermées

Au niveau du potentiel producteur des plants de canneberges, les analyses comparant les parcelles d'observation et d'exclusion montrent toutes l'apport significatif des pollinisateurs à l'augmentation de la mise à fruit, du poids des fruits, du nombre de fruits par tiges, du taux de pollinisation et de la quantité de graines matures dans chaque fruit (total des graines moyennes et des vraies graines). Bien qu'en parcelles d'exclusion il y ait quand même environ 24% de mise à fruit, dû probablement en partie à l'introduction de pollinisateurs dans les cages et dû aussi à la pollinisation des fleurs plus basses par celles plus hautes sur les tiges, on voit bien que la quantité de fruits par tiges est nettement inférieure (un fruit au lieu de deux) ainsi que le poids des fruits, le taux de pollinisation et la quantité d'ovules fécondés. Brown et McNeil (2006) ont également montré que les parcelles d'exclusion causaient une diminution significative de la mise à fruit, du poids des fruits et de la quantité de graines par fruit en comparaison avec la pollinisation manuelle et naturelle.

L'estimation des rendements, à partir de ces données, donne une production plus de cinq fois supérieure en parcelles visitées par les pollinisateurs. On peut penser qu'une ferme où l'on n'introduirait aucun pollinisateur aurait un rendement situé entre les deux valeurs ci-haut, dépendant de la superficie de la ferme et de la végétation environnante.

Q5B- Pollinisation manuelles (2005 seulement):

En 2005, la pollinisation manuelle de 60 tiges a donné des résultats mitigés. Les 30 premières tiges ont été très peu pollinisées, dû à une technique défaillante et les 30 dernières ont été assez bien pollinisées, dû à une technique améliorée. 63 fruits seulement ont pu être récoltés. Cependant, les résultats obtenus en parcelles ouvertes ont presque tous été soit semblables, soit meilleurs qu'avec la pollinisation manuelle (mis à part le % de mise à fruit et la moyenne de fruits par tige) et donc, en 2006, celle-ci a été abandonnée. Nous estimons que les résultats des tiges ayant reçues la visite des pollinisateurs nous donnent une meilleure estimation de l'étendue du potentiel producteur du plant. Brown et McNeil (2006) ont d'ailleurs trouvé que la pollinisation manuelle ne résultait pas en l'augmentation de la mise à fruit, ni du poids des fruits en comparaison avec la pollinisation naturelle. En plus, il y avait plus de graines par fruit sur les tiges en pollinisation naturelle que sur celles provenant des pollinisations manuelles (Brown et McNeil, 2006).

Q5C- Nombre de fruits par tige : Allocation des ressources.

La répartition de la quantité de fruits par tige en parcelles ouvertes est semblable pour les deux années. La moyenne demeure autour de 2 fruits par tige et la majorité des tiges portent entre 1 et 3 fruits (près de 90%). Ceci correspond également aux données de la littérature (Brown et McNeil, 2006 ; voir intro de cet article pour autres réf.). Les tiges ayant zéro, quatre et cinq fruits sont marginales (près de 10%), mais elles sont quand même présentes.

Pour le poids moyen, en 2005, l'analyse de variance est très hautement non-significative. Il n'y a donc aucune différence dans le poids moyen des fruits quand la tige porte entre un et cinq fruits.

En 2006, l'analyse de variance n'est que très faiblement non-significative, probablement expliquée par la différence significative entre le poids moyen des tiges ayant un et cinq fruits, révélé par le test de Tuckey. On voit cependant qu'en 2006, le poids moyen augmente avec la quantité de fruits que porte les tiges, contrairement à 2005 où la tendance n'était pas claire. Ceci est plutôt surprenant. On aurait cru que l'allocation des ressources serait un facteur limitant le poids moyen des fruits sur les tiges portant plus de fruits. Il semble que la plante peut donc parfaitement développer au moins jusqu'à cinq fruits viables de poids équivalents, même si la moyenne tourne plus autour de 2 fruits par tige. Il reste à voir si tout un champ pourrait supporter des tiges portant quatre ou cinq fruits.

Ceci contredit l'étude de Brown et McNeil (2006) qui suggère que les tiges de canneberges ne portent que 1 à 3 fruits et que la production de fruits aux positions hiérarchiques supérieures serait limitée, entre autres, par l'accès aux ressources. On note aussi un poids moyen plus élevé en 2005 comparé à 2006. L'expérience a été effectuée avec le même cultivar les deux années, mais pas dans la même cannebergère. Les conditions climatiques ont été aussi très différentes.

Pour le taux de pollinisation ainsi que pour le total d'ovules fécondés, les résultats diffèrent entre 2005 et 2006.

En 2005, il existe des différences significatives entre les tiges pour ces deux facteurs (??), tandis qu'en 2006, les analyses de variance ne sont que faiblement significatives. Les tests de Tuckey ne montrent aucune différence de taux de pollinisation en 2006 entre les tiges et seulement une différence entre les tiges ayant un et cinq fruits pour le total des ovules fécondés. Ce dernier résultat concordant avec celui du poids des fruits.

On perçoit ici la tendance des fruits à avoir un poids supérieur, dans certains cas, même avec peu de graines matures. En revanche, plusieurs fruits ont des poids très bas même avec une grande quantité de graines matures. Il doit exister un ou des phénomène(s) complémentaire(s) à la quantité d'ovules fécondés pour expliquer l'augmentation de poids d'un fruit. D'ailleurs, les analyses de régression simple faites avec le poids comme variable dépendante et les ovules fécondés comme variables indépendantes donnent des R^2 de 0,42 en 2005 et 0,46 en 2006. Plus de 50% de la variation du poids du fruit serait donc expliqué par une ou plusieurs autres variables. On peut ici penser aux facteurs hydriques, de fertilisations et génétiques.

Peut-être existe-t-il une régie des pollinisateurs qui serait plus efficace et permettrait d'augmenter le nombre de fruit par tige ?

Q5D- Impact du niveau hiérarchique des fruits (sur les tiges) sur le poids, le taux de pollinisation et sur le total des graines moyennes et vraies par fruit.

La répartition de la quantité de fruits récoltés selon son niveau hiérarchique sur la tige est très semblable pour les deux années. Les fruits au niveau 1 et 2 (à partir du bas de la tige) sont représentés à environ 25% chacun. Le niveau 3 à 20%. Le niveau 4 autour de 15%. Le niveau 5 autour de 8% et les autres niveaux (6 à 9) à moins de 5% chacun.

Pour le poids, en 2005 les fruits des premiers niveaux ont des poids significativement supérieurs à ceux des derniers niveaux, mais cette tendance n'est pas observée en 2006 où il n'y a pas de différence significative de poids entre les niveaux.

Pour le taux de pollinisation ainsi que pour le total des ovules fécondés, les résultats sont assez semblables pour les deux années. Il y a une tendance très claire à l'augmentation du taux de pollinisation et de la quantité d'ovules fécondés des fruits, plus le niveau hiérarchique est élevé sur la tige, même s'il n'y a pas de différence significative statistiquement.

Notre hypothèse pour expliquer ce phénomène est qu'une fleur pollinisée à un niveau inférieur (et donc la plupart du temps en premier, puisque ces fleurs ouvrent les premières) crée un seuil de pollinisation pour les fleurs pollinisées subséquentement. Ainsi, chaque fleur de niveau supérieur devrait recevoir plus de tétrades de pollen que celles de niveau inférieur, ou bien que les fleurs pollinisées en premier, quel que soit leur niveau. Il deviendrait donc de plus en plus difficile pour une fleur d'être pollinisée suffisamment, et donc fécondée, à mesure qu'on monte de niveau sur la tige. Cette hypothèse expliquerait ainsi la moyenne de fruit par tige plus basse (près de deux fruits par tige) observée lors des deux années d'expérimentation, mais aussi la présence non négligeable d'un certain pourcentage de tige ayant 3, 4 et même 5 fruits de poids similaire (environ 25% des tiges).

Une fleur de niveau supérieur aurait donc besoin, toujours selon cette hypothèse, de la visite d'un pollinisateur plus efficace qui laisserait plus de tétrades (les bourdons par exemple) ou bien encore de plus d'une visite (d'un pollinisateur moins efficace : abeilles, mégachiles) pour être effectivement fécondée et donner un fruit. Ceci viendrait encore une fois en contradiction partielle avec l'étude de Brown et McNeil (2006), qui suggère que les tiges de canneberges ne portent que 1 à 3 fruits et que la production de fruits aux positions hiérarchiques supérieures serait limitée, entre autres, par l'accès aux ressources, mais aussi par des stratégies génétiques évolutives.

La section suivante (E) tente d'aller plus loin avec cette hypothèse.

On expliquerait alors également un poids moyen égal ou plus élevée pour les tiges portant plus de fruits, car ayant plus d'ovules fécondés, le poids de ces fruits serait supérieur, quoique possiblement limité, pour les derniers fruits fécondés, par un nombre de jour de développement plus petit.

Peut-être serait-il intéressant de repenser la régie des pollinisateurs en fonction de notre hypothèse. On pourrait introduire un pollinisateur moins efficace en première moitié de floraison dans les fermes de grande superficie ou encore n'en introduire aucun dans les fermes de superficie plus petite, mais entouré d'une végétation propice aux pollinisateurs naturels. À partir de la mi-floraison, on introduirait des pollinisateurs soit plus efficaces (en quantité moyenne (Bourdon fébrile par exemple) ou encore un pollinisateur moins efficace en grande quantité (Abeilles domestiques et /ou Mégachiles de la luzerne par exemple).

Les résultats de notre étude et de celle d'Evans et Spivak (2006) montrent que, de toute façon, les pollinisateurs ne font la majorité de leurs visites qu'à partir de la mi-floraison.

Une autre explication possible, et même complémentaire, nous vient de l'article de Sarracino et Vorsa (1991). Ceux-ci expliquent que l'auto-pollinisation (pollinisation par le pollen du même cultivar) fait diminuer de façon significative le pourcentage de graines bien développées pour toutes les variétés de canneberges testées (la moyenne de diminution de graines bien développées par fruit est de 25%). Le mécanisme serait un avortement post-zygotique de la graine en développement, plutôt qu'une fécondité réduite. Cette conclusion est supportée par le fait que le nombre total de graines (peu et bien développées) est presque équivalent entre la pollinisation croisée et l'auto-pollinisation (Sarracino et Vorsa, 1991). La pollinisation croisée (entre des cultivars différents) peut aussi faire augmenter la mise à fruit. Ainsi, la pollinisation croisée entre le cultivar Stevens et les cultivars : Cropper, Early Black, Franklyn et Pilgrim a donné des différences significatives de graines matures par fruit quand on la compare à l'auto-

pollinisation (Stevens x Stevens). La pollinisation croisée entre le cultivar Stevens et tous les autres cultivars : Cropper, Crowley, Early Black, Howes, Franklyn, Pilgrim et Wilcox, a donné des différences significatives de pourcentage de graines matures par fruit, quand on la compare à l'auto-pollinisation (Sarracino et Vorsa, 1991).

Dans les fermes où nous avons effectué notre étude, le cultivar Stevens est utilisé en très grande proportion. Nos bassins expérimentaux étaient composés à 100% du cultivar Stevens.

En regard de ce que nous avons mentionné précédemment, peut-être qu'une régie de pollinisation repensée, ainsi que l'utilisation de deux cultivars compatibles, sur les fermes du Québec, aiderait à la pollinisation croisée et donc à ce que les fruits aient plus de graines matures ce qui pourrait assurer une plus grande mise à fruit et un poids des fruits plus élevé?

Q5E- Comparaison du rang d'un fruit sur la tige (selon l'ordre croissant de la quantité d'ovules fécondés) en fonction de son niveau hiérarchique ou de sa position relative sur la tige.

Dans le but de démontrer l'hypothèse de la section précédente (D), nous avons attribué un rang à chaque fruit sur sa tige selon la quantité croissante d'ovules fécondés. Nous avons fait les analyses avec les positions réelles des fruits sur les tiges, soit leur niveau hiérarchique et aussi selon leur position relative sur la tige, soit la position un : le premier fruit sur la tige, position deux : le deuxième, etc.

Les analyses de corrélation non-paramétrique sont toutes très significatives. Pour les analyses avec les niveaux hiérarchiques, les coefficients r sont assez bas (entre 0,20 à 0,25), tandis que pour les analyses avec la position relative, les coefficients sont plus élevés (entre 0,30 et 0,38). Ces analyses tendent à démontrer qu'il y a effectivement un lien entre les rangs et les positions relatives des fruits sur la tige. Le tableau de contingence montre que les positions correspondent généralement aux rangs. Ainsi un fruit qui a le rang un, donc la plus faible quantité d'ovules fécondés se retrouvent le plus souvent aux positions relatives un et deux. Un fruit qui est au rang quatre (plus d'ovules fécondés) se retrouvent le plus souvent à la position relative quatre. Ceci tend donc à démontrer que l'hypothèse se tient et qu'il existe effectivement un mécanisme de seuil pour que le fruit suivant sur la tige puisse effectivement se développer.

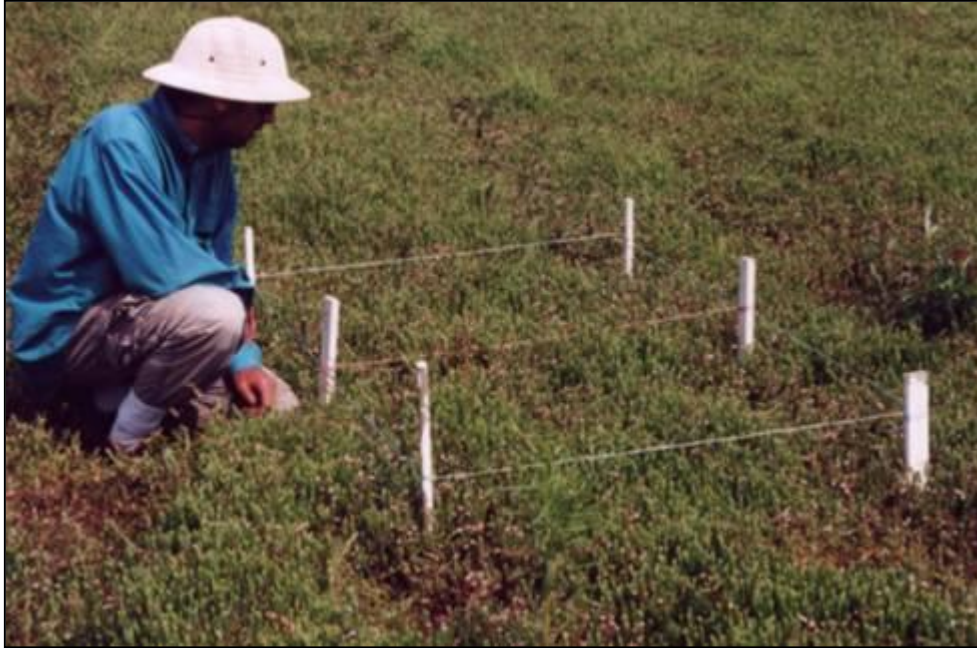


Figure 38 : Observation des visites de pollinisateurs dans les parcelles expérimentales



Figure 39 : Comparaison de la récolte provenant d'une parcelle ouverte (pollinisateurs) et fermée (sans pollinisateurs)

2.1.3.3 Résumé des résultats du volet III

Le tableau 13 résume certaines différences importantes entre les trois pollinisateurs introduits de la canneberge.

Le bourdon est plus résistant aux basses températures ainsi qu'aux conditions pluvieuses et venteuses alors que le mégachile est sensible à ces conditions. Une radiation solaire de faible intensité ($< 200\text{W/m}^2$) a aussi un impact négatif sur l'activité de la mégachile de la luzerne. D'autre part, l'avantage de la mégachile de la luzerne est que son rayon de déplacement est de courte distance (200m) et qu'elle ne peut donc pas se déplacer vers des plantes compétitrices, telle que l'abeille domestique qui peut aller butiner jusqu'à 2 kilomètre de la ressource visée. L'efficacité pollinisatrice du bourdon est supérieure aux deux autres pollinisateurs, mais le nombre d'individus par ruchettes est beaucoup moindre. Le mégachile est sensible au parasitisme lors de son incubation et une mauvaise gestion de ce problème peut entraîner des pertes considérables. Finalement, le pollinisateur le moins dispendieux demeurerait l'abeille. Toutefois, tel que mentionné au volet II du présent rapport, il est important de vérifier la force d'une ruche en butineuses avant de présumer que sa location est avantageuse. Il ne faut pas oublier qu'on ne loue pas de ruches, mais des colonies d'abeilles.

Tableau 13 : Comparaison des pollinisateurs selon différentes variables

	Abeille domestique	Bourdon fébrile	Mégachile de la Luzerne
Température minimale de butinage	14°C (races)	10°C (pluie, vent)	18°C
Radiation solaire	Repérage en vol	S/O	Arrête ses activités sous 200 W / m² (Lerer et al., 1982).
Rayon d'action	1-2 km	400m	100 à 200m (captive)
Fidélité à la fleur de canneberge	Communication, orientation et ressources alternatives (Kevan et al., 1983) .	Butine presque uniquement sur la fleur de canneberge (MacKenzie, 1994).	Demeure dans les bassins
Efficacité pollinisatrice (Cane et Schiffhauer, 2003).	Faible	Forte	Moyenne
Quantité de butineuses	15 000 à 30 000	30 à 100	4000 femelles par gallon
Parasitisme	Sensible	peu sensible	incubation
Coût d'achat ou de location	Location: 100 à 125\$/ ruche	Achat: 200\$/ ruchette	Achat: 40\$/ gallon de cocons

3.1.4 VOLET IV : IMPACTS DES TRAITEMENTS PHYTOSANITAIRES (extrait du rapport d'étape)

Cette étape a été réalisée du 11 au 19 juillet 2005. Il y a eu quatre jours de prises de données avant les arrosages (11, 12, 13, 14 juillet) au Dianizon et deux jours de prises de données après ceux-ci (18 et 19 juillet). La première entrée post-traitement dans le bassin expérimental a été réalisée 15 heures environ suite à l'épandage. Les observatrices étaient munies de masques à gaz afin d'assurer leur sécurité. Douze points d'observation ont été déterminés systématiquement dans tout le bassin. À chacun de ces points, les observations ont duré 10 minutes. On y notait l'heure, les conditions météorologiques et le nombre de pollinisateurs de diverses catégories observés sur les fleurs de canneberge. Les catégories étaient : abeilles domestiques, bourdons, mégachiles de la luzerne, pollinisateurs indigènes, pollinisateurs non identifiables. Durant cette période d'observation, la présence d'un « bruit de fond » de bourdonnements d'insectes était également notée.

Suite aux épandages, la présence des pollinisateurs a également été notée dans un bassin non-traité, comportant des caractéristiques similaires au bassin traité (emplacement dans la cannebergière; absence de ruchettes de bourdons ou de dômes de mégachile dans le bassin). Le bassin traité était le bassin numéro 43 alors que le bassin non-traité était le bassin numéro 45.

Afin d'effectuer le traitement des données d'observations de pollinisateurs dans le bassin, certains des résultats des observations de bourdons fébriles et de bourdons sauvages ont été fusionnées et se retrouvent maintenant sous l'étiquette « Bourdons ». La raison justifiant cette compilation est que ces deux types de pollinisateurs sont parfois difficiles à distinguer à l'œil et leur niveau de différenciation peut varier selon les observateurs. La Figure 39 résume les observations dans le bassin durant la période pré-traitement (11-14 juillet) et post-traitement (18-19 juillet). Nous observons que la densité de tous les pollinisateurs a déjà diminuée le 14 juillet, soit avant même que les traitements au Diazinon ne soient effectués. La raison pouvant expliquer ceci est que la floraison dans les bassins était déjà très avancée et que de forts vents avaient fait tomber les pétales restants des fleurs, diminuant ainsi l'attractivité de ces dernières envers les pollinisateurs. D'autre part, la Figure 39 révèle également que le nombre de bourdons est en hausse durant la période d'observation et que les traitements ne semblent pas avoir affecté la présence de ces derniers. Sauf pour ce groupe d'insectes, tous les autres pollinisateurs ont vu leur nombre baisser suite aux traitements insecticides, révélant donc un effet répulsif du produit épandu.

L'observation parallèle d'un bassin témoin (bassin # 45) durant la période post-traitement permet de démontrer que, malgré la fin de la période de floraison, marquée par une baisse du nombre de fleurs ouvertes, le traitement insecticide a vraiment eu un impact sur le nombre de pollinisateurs présents dans le bassin. Ainsi, en combinant l'ensemble des données pré et post traitement (Figure 40), nous observons que le nombre d'individus pré traitement présents dans le bassin arrosé au Diazinon est similaire au nombre d'individus observés dans le bassin témoin (#45) qui n'a pas reçu de pesticide. Cependant, même dans le bassin témoin, et sauf pour les bourdons encore une fois, la présence des pollinisateurs en période post-traitement étaient toujours légèrement plus faibles qu'en période pré traitement. Cette réduction pourrait cette fois être réellement attribuée à la décroissance du nombre de fleurs ouvertes en fin de saison.

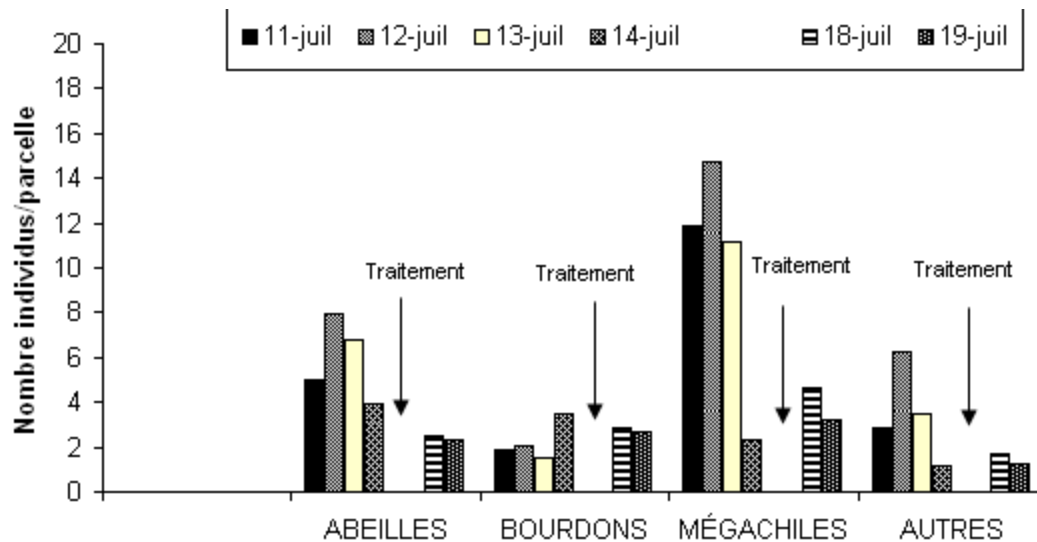


Figure 40 : Nombre moyen d'abeilles, de bourdons, de mégachiles et d'autres pollinisateurs non identifiés sur les fleurs de la canneberge du bassin # 43, avant et après le traitement au Diazinon.

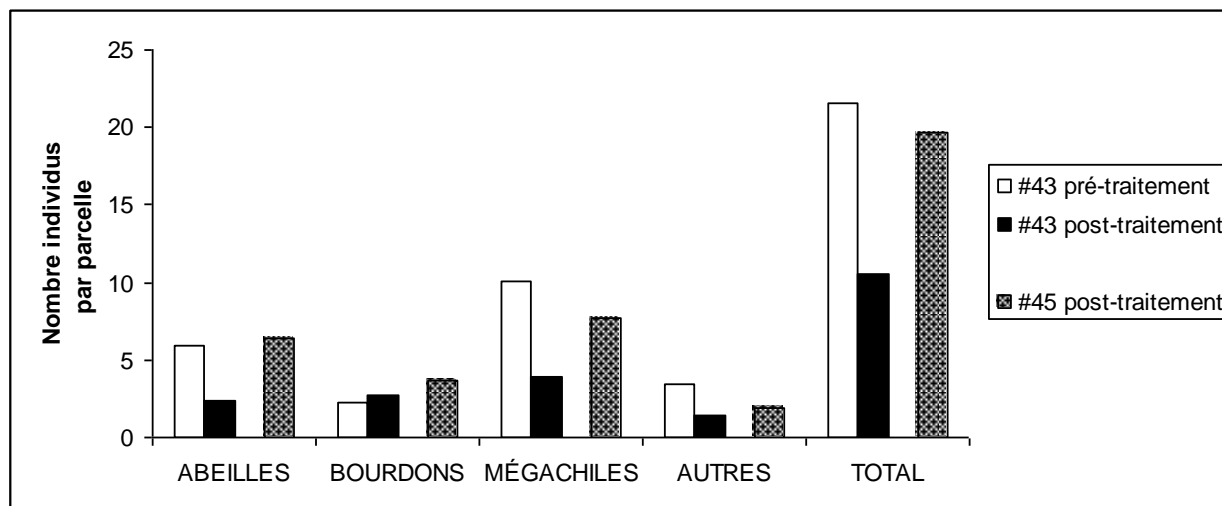


Figure 41 : Nombre moyen d'abeilles, de bourdons, de mégachiles et d'autres pollinisateurs non identifiés sur les fleurs de la canneberge du bassin # 43 avant et après le traitement au Diazinon et du bassin témoin # 45, non traité.

Ces résultats semblent démontrer un effet répulsif du Diazinon, pesticide épandu pour lutter contre la Pyrale de l'atoca. Cependant, puisque ces traitements ont toujours lieu vers la troisième semaine de floraison de la canneberge, il faudrait prendre en considération le pourcentage de fleurs ouvertes au moment des épandages afin de vérifier l'impact réel de l'effet répulsif du Diazinon envers les pollinisateurs sur la production de canneberges.

2.2 Impacts sur le secteur et pérennité

2.2.1 Volet : aménagement des plantes attractives

IMPACTS

L'impact à court terme de ce volet de l'étude est que les producteurs de canneberges disposent maintenant des outils nécessaires pour augmenter les effectifs des populations de pollinisateurs indigènes dans leur culture. Une liste de plantes indigènes à protéger ou à aménager leur est maintenant disponible. Ils ont aussi en main une liste de plantes horticoles idéales pour attirer et garder les pollinisateurs naturels dans le milieu.

La présence de ressources florales autres que la canneberge favorisera à long terme, et de façon durable, l'établissement des pollinisateurs indigènes dans le milieu. Tel qu'il est discuté plus en détails dans le volet III du présent rapport, la présence des pollinisateurs naturels est particulièrement importante pour assurer la pollinisation des premières fleurs de la cannebergère, et donc une bonne récolte des premiers fruits. Bien que la location d'une certaine quantité de pollinisateurs demeure inévitable, une augmentation des populations de pollinisateurs indigènes offre aux producteurs une forme d'assurance que les fleurs de la cannebergère recevront toujours un minimum de visites et le rendement ne pourra qu'être amélioré. Par ailleurs, les pollinisateurs indigènes (bourdons et autres) possèdent un comportement de butinage complémentaire à celui des abeilles domestiques pour ce qui est des heures et des températures d'activité. Une augmentation de leur présence ne pourrait qu'être bénéfique à la pollinisation. Cette pratique devient également avantageuse considérant qu'il est de plus en plus difficile et de plus en plus onéreux de louer des ruches d'abeilles domestiques, notamment en raison des problèmes de parasites que connaissent les apiculteurs du Québec.

PÉRENNITÉ

Puisqu'il s'agit d'établissement de plantes vivaces, la réussite d'un plan d'aménagement adéquat permettra d'augmenter les populations locales d'abeilles indigènes. Avec des recommandations adéquates qui assureront la persistance des plantes dans le milieu, la pérennité des populations de pollinisateurs naturels sera ainsi assurée.

BIEN LIVRABLES

Les bien livrables étaient les suivants, ils ont tous été produits dans le cadre du présent projet et présentés dans ce rapport :

- 1) Liste plantes indigènes facilement relocalisables soit par transplantation ou par transfert de semences
- 2) Liste de plantes horticoles idéales pour attirer et garder les pollinisateurs naturels dans le milieu, le prix de ces plantes, et les espèces particulièrement recommandées

2.2.2 La force des ruches

IMPACTS

Quoiqu'il existe des normes en ce qui a trait au nombre de cadres d'abeilles et de couvain insérés dans une ruche lors de sa location, elles ne sont pas obligatoires. Pour le moment, la force de la ruche procurant le nombre de butineuses qui assure une pollinisation optimale, et donc le meilleur rapport qualité-prix pour le producteur de canneberges, est inconnue. Par l'acquisition de données réelles sur l'impact de la force des ruches sur le nombre de butineuses dans la cannebergère, et la détermination du minimum acceptable de cette force, les producteurs seraient plus en mesure d'offrir aux apiculteurs les arguments qui justifieraient une demande de colonies contenant une force avantageuse en abeilles adultes et en couvain.

Grâce à la tenue de cette expérience, il est maintenant possible pour les producteurs d'estimer la force des ruches qu'ils louent pour la pollinisation, par une méthode simple et reproductible. L'avantage de ce type d'évaluation est qu'il épargne au producteur le besoin d'ouvrir une ruche pour constater la présence d'activité de la colonie à l'intérieur. Cette dernière initiative n'est d'ailleurs pas recommandée puisqu'elle implique la manipulation de bien privé de l'apiculteur, et constitue un risque pour la colonie et pour le manipulateur.

PÉRENNITÉ

Les résultats ont déjà été présentés aux producteurs de canneberge dans le cadre de la rencontre sectorielle annuelle. Cependant nous espérons déposer nos résultats sur Agri-réseau et inclure nos résultats dans un guide sur la pollinisation de la canneberge qui sera produit en 2008.

Nous espérons qu'ayant cet outil en main, les producteurs de canneberge seront plus judicieux de la qualité des ruches obtenus de leur pourvoyeurs, leur assurant ainsi un meilleur rendement qualité /prix pour la locateur de leur abeilles pour la pollinisation.

Il faut cependant être prudent quant à la transférabilité des résultats obtenus dans la canneberge pour d'autres cultures. Les courbes reliés à la force du couvain ont été construites durant la période couvrant la pollinisation de la canneberge, c'est-à-dire la dernière semaine de juin et les deux ou trois premières semaine de juin. Il est prévisible et normal que les ruches qui serviront à la pollinisation du pommier ou du bleuet seront légèrement plus faibles que celles étudiées dans le cadre du présent projet. De la même façon les ruches qui seront introduites dans des cultures tel que le cornichon, la citrouille ou la courge, au mois d'août, seront en général plus fortes. Dans ce dernier cas, les normes décrites dans ce projet (54 à 60 abeilles/30 secondes) seront d'autant plus sévères.

BIEN LIVRABLES

Les bien livrables étaient les suivants, ils ont tous été produits dans le cadre du présent projet et présentés dans ce rapport

- 3) Établissement de la force minimale qu'une ruche doit avoir pour être profitable à la culture de la canneberge
- 4) Méthode d'estimation de la force des ruches facilement réalisable par les producteurs de canneberge.

2.2.3 Les trois pollinisateurs

IMPACTS

Le volet III de notre projet de recherche tentait de répondre à plusieurs questions concernant l'efficacité des trois pollinisateurs de la canneberge. Premièrement plusieurs informations nous ont été révélées concernant la tolérance de l'abeille, du bourdon et du mégachile de la luzerne face à différentes variables climatiques. Ces informations permettront de mieux éclairer le producteur lors du choix du ou des pollinisateurs idéaux à introduire dans une cannebergière selon les conditions bioclimatiques régionale ou locale qui sévissent.

Le taux de fréquentation de chacun des pollinisateurs selon le pourcentage de fleurs ouvertes est aussi très important à connaître. Ainsi, on sait maintenant que les abeilles domestiques ne travaillent pas beaucoup la fleur de la canneberge avant la mi-floraison. Ce type de renseignement pourrait soutenir une prise de décision concernant la date à laquelle les ruches seraient introduites dans les bassins. Un temps de location plus court pourrait même être considéré. La mégachile par contre est constante, travaille dès l'ouverture des fleurs, mais est sensible aux basses températures.

Ainsi, contrairement à ce que nous avons souhaité au début de notre projet, il n'est pas possible en conclusion de ce volet de l'étude, de donner la recette miracle ou la combinaison idéale de pollinisateurs pour la canneberge. Nous avons cependant clarifié beaucoup de points concernant la présence de chacun des pollinisateurs sur les fleurs, selon le climat et les ressources florales avoisinantes. Il est important maintenant de bien diffuser les informations acquises pour que chaque producteur puisse prendre ses propres décisions éclairées, selon le microclimat qui sévit dans sa localité (température, vents) et la densité des plantes dans l'environnement immédiat.

Les travaux sur la qualité des fruits issus d'une pollinisation accrue sont d'une grande utilité pour celui (ou celle) qui cherche à comprendre le mécanisme de développement des fruits sur le plant. Les résultats issus de cette partie de l'étude démontrent que les derniers fruits peuvent être aussi gros que les premiers. Une négligence au niveau de la pollinisation des dernières fleurs de la saison pourrait donc entraîner un manque à gagner insoupçonné. La pollinisation assure une maturation plus rapide du fruit et permet aux dernières fleurs du plant de produire des fruits de qualité au moment de la récolte.

Quoique les différents de cet étude aient été traités séparément tout au long du rapport, il est clair que les informations qui en ressortent sont indissociables. Les impacts sur le secteur se feront ressentir au moment où le producteur de canneberges aura à faire ses commandes de pollinisateurs pour la saison. Selon son choix personnel, basé sur les prix et les disponibilités des différents pollinisateurs, le producteur pourra faire la location de ses pollinisateurs de façon éclairée, en maximisant le potentiel de pollinisation des fleurs ouvertes au moment déterminant pour l'obtention d'une récolte rentable et de plus grande qualité (maturation plus uniforme des fruits).

PÉRENNITÉ

Ces résultats seront transmis aux producteurs par des voies telles que Agri-Réseau, s'assurant ainsi que l'ensemble du secteur soit informé. Trois présentations de résultats ont déjà donné aux producteurs de canneberge dans le cadre de journées d'information et de formation pour ce secteur. Toutefois, il serait

important d'offrir une dernière session d'information concernant plus particulièrement le potentiel producteur du plant.

Les informations qui ressortent de ce volet, ainsi que de l'ensemble de l'étude seront résumés dans un guide de pollinisation de la canneberge qui sera produit en 2008.

Les membres du Club conseil technique atocas Québec (CTAQ) recevront une copie du présent rapport et seront ainsi informés sur les questions qui concernent les pollinisateurs étudiés. Le support technique qui en découlera assurera la pérennité des résultats de nos efforts de recherche.

A long terme, les impacts seront une augmentation des bénéfices engendrés par une pollinisation plus adéquate de la cannebergère.

BIEN LIVRABLES

Les bien livrables étaient les suivants. Les points 5 et 6 ont bien été répondus. Pour le point 7, nous n'avons pas pu déceler un seuil de saturation de pollinisation. Il semblerait même qu'un nombre encore plus grand de fruits pourraient se développer sur chaque plant, suite à une meilleure pollinisation. Les mécanismes physiologiques qui expliquent les contraintes à cette production idéal du plant restent encore à être élucidés.

5) L'efficacité relative de chacun des trois pollinisateurs de la canneberge, soit abeilles domestiques, bourdons et mégachiles, et ce, selon différentes conditions environnementales, particulièrement selon la température, la luminosité et le vent

6) Importance de l'effet compétitif des pollinisateurs entre eux

7) le seuil de saturation de pollinisateurs; seuil auquel l'ajout de pollinisateurs supplémentaires est inutile selon les capacités physiologiques de la fleur de la canneberge

2.2.4 Impact des traitements phytosanitaires

IMPACT ET PÉRENNITÉ

Les connaissances acquises par les résultats issus de ce volet pourraient aider le producteur à mieux gérer les pertes de rendement en fin de période de production, vers la troisième semaine de juillet. En effet, il est intéressant pour les producteurs de savoir que le Diazinon a un effet répulsif sur les pollinisateurs. Ce renseignement pourrait les inciter à prendre en considération le pourcentage de fleurs ouvertes au moment des épandages afin de ne pas nuire à la pollinisation des dernières fleurs ouvertes de la saison. Ainsi, il faudra s'assurer le traitement insecticide est bien justifié (seuil de tolérance de la culture) et que la perte due à une manque de pollinisation n'est pas plus grand que la perte due aux ravages produits par la Pyrale de l'Atocas).

2.3 Diffusion des résultats

<i>Activités prévues</i>	<i>Activités réalisées</i>	<i>Description</i>	<i>Date de réalisation</i>	<i>Nombre de personnes rejointes</i>	<i>Visibilité accordée au CDAQ et à AAC)</i>
Journée d'information sur la canneberge (2005)	Journée d'information sur la canneberge (2005)	Journée annuelle d'information au producteurs de canneberge	21 janvier 2005	41 (100% des producteurs du Québec)	Logo sur Power point
Journée d'information sur la canneberge (2006)	Journée d'information sur la canneberge (2006);		7 février 2006		Mention de financement
Journée d'information sur la canneberge (2007)	Journée d'information sur la canneberge (2007)		25 janvier 2007		et remerciements à la fin de présentation
Présentation à l'Association des entomologistes du Québec (2006)	Réunion conjointe Journée annuelle Société d'entomologie du Québec et Société d'entomologie du Canada	Ces réunions offrent l'opportunité aux chercheurs, étudiants gradués, et à tous les autres intervenants des secteurs public et privé, de partager le fruit de leur recherches avec leurs collègues entomologistes.	20 Novembre 2006	300	Logo sur Power Point et remerciements à la fin de présentation
Journée horticole du Centre du Québec (MAPAQ); (2006);	Journée horticole du Centre du Québec (MAPAQ); (2006);	Journée annuelle d'information pour les producteurs organisée par le MAPAQ du centre du Québec	Drummondville Février 2006	Environ 50-60	Logo sur Power Point et remerciements à la fin de présentation

<i>Activités prévues</i>	<i>Activités réalisées</i>	<i>Description</i>	<i>Date de réalisation</i>	<i>Nombre de personnes rejointes</i>	<i>Visibilité accordée au CDAQ et à AAC)</i>
Article dans : Journal of economical entomology	Article dans : Journal of economical entomology	Article traduit en anglais à partir de la thèse de M.Girard et soumis dans une revue scientifique avec revue par les pairs	En traduction pour soumettre durant l'été 2007	inconnu	Remerciements pour financement
Dépôt des résultats sur Agri-réseau	Dépôt des résultats sur Agri-réseau	Dépôt sur le site Web d'information du CRAAQ	Après dépôt au CDAQ En juin ou début juillet	41 (100% des producteurs du Québec) plus un nombre inconnu	Page couverture du rapport
Mémoire de maîtrise de Michel Girard.	Mémoire de maîtrise de Michel Girard.	Document de référence è la bibliothèque. Accessible par Biological abstracts	Dépôt en juin 2007	inconnu	Remerciements pour financement
Reportage à La semaine verte	Non réalisé		Tentative fait mais sans retour d'appel	Non réalisé	

IL EST À NOTER QUE LES OCCASIONS DE DIFFUSION DES RÉSULTATS SE POURSUIVERONT SUITE AU DÉPÔT DE CE RAPPORT

3. PLAN DE FINANCEMENT ET CONCILIATION DES DÉPENSES

4. RÉFÉRENCES :

- ARAS, P., DE OLIVEIRA, D., SAVOIE, L. 1996. Effect of a Honey Bee (Hymenoptera: Apidae) Gradient on the Pollination and Yield of Lowbush Blueberry. *J. Econ. Entomol.* 89(5): 1080-1083.
- ASSELIN, R. 2005. Bref portrait économique de la production de canneberges au Québec. MAPAQ-Direction régionale du Centre-du-Québec. Nicolet.
- BAILEY, W.G., LERER, H., MILLS, P.F. 1982. Humidity and the pollination activity of *Megachile rotundata*. *Environ. Entomol.* 11: 1063-1066.
- BARRETTE, É. 2001. Biologie des visiteurs des fleurs dans la culture de la canneberge *Vaccinium macrocarpon* Aiton, région des Bois-Francs, Québec. Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en biologie. Éditeur: Université Laval. Québec.
- CAMPAN, R., LEHRER, M. 2002. Discrimination of closed shapes by two species of bee, *Apis mellifera* and *Megachile rotundata*. *The Journal of Experimental Biology.* 205: 559-572.
- CANE, J.H., SCHIFFHAUER, D., KERVIN, L.J. 1996. Pollination, foraging, and nesting ecology of the leafcutting bee *Megachile (Delomegachile) addenda* (Hymenoptera: Megachilidae) on cranberry beds. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 89(3): 361-367.
- CANE, J.H., SCHIFFHAUER, D. 1997. Nectar production of cranberries: genotypic differences and insensitivity to soil fertility. *Journal of the American Society for Horticultural Science.* 122: 665-667.
- CANE, J.H., SCHIFFHAUER, D. 2001. Pollinator genetics and pollination: do honey bee colonies selected for pollen-hoarding field better pollinators of cranberry *Vaccinium macrocarpon*? *Ecological Entomology.* 26: 117-123.
- CANE, J.H., SCHIFFHAUER, D. 2003. Dose-response relationships between pollination and fruiting refine pollinator comparisons for cranberry (*Vaccinium macrocarpon* [Ericaceae]). *American Journal of Botany.* 90(10): 1425-1432.
- CANE, J. H., TEPEDINO, V.J. 2001. Causes and extent of declines among native North American invertebrate pollinators: detection, evidence, and consequences. *Conservation Ecology* 5(1): 1. [online] URL: <http://www.consecol.org/vol5/iss1/art1/>
- CHAGNON, M. 2004. Introduction de mégachiles dans une cannebergière de la région des Bois-Francs. Le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Direction régionale du Centre du Québec.
- DESJARDINS, È.-C. 2003. Bourdon fébrile domestiqué : pollinisateur efficace du bleuetier nain? Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en biologie par Ève-Catherine Desjardins. Éditeur: Montréal : Université du Québec à Montréal.
- ECK, P. 1990. *The American cranberry.* Rutgers University Press. New Brunswick, NJ.
- EVANS, E.C., SPIVAK, M. 2006. Effects of honey bee (Hymenoptera: Apidae) and bumble bee (Hymenoptera: Apidae) presense on cranberry (Ericales: Ericaceae) pollination. *J. Econ. Entomol.* 99(3) : 614-620.

GALLETTA, G.J., HIMELRICK, D.G. 1990. Small fruit crop management. Prentice Hall. New-Jersey.

GREVE FARMS : <http://www.grevefarms.com/main.html>

HALL, I.V., AALDERS, L.E. 1965. The relation between seed number and berry weight in the cranberry. *Can. J. Plant Sci.* 45: 292.

HEINRICH, B. 1979. Bumblebee Economics. Harvard University Press. Cambridge.

JAVOREK, S.K., MACKENZIE, K.E., VANDER KLOET, S.P. 2002. Comparative pollination effectiveness among bees (Hymenoptera: Apoidea) on Lowbush Blueberry (Ericaceae: *Vaccinium angustifolium*). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 95(3): 345- 351.

KEVAN, P.G., GADAWSKI, R.M., KEVAN, S.D., GADAWSKI, S.E. 1983. Pollination of cranberries, *Vaccinium macrocarpon*, on cultivated marshes in Ontario. *Proc. Ent. Soc. Ont.* 114: 45-53.

KLOSTERMEYER, E.C., STEPHEN, J.M, Jr. et RASMUSSEN, W.B. 1973. Sex and Weight of *Megachile rotundata* (Hymenoptera: Megachilidae) progeny associated with provision weights. *J. Econ. Entomol.* 46 : 536-548.

LERER, H. BAILEY, W.G., MILLS, P.F., PANKIW, P. 1982. Pollination activity of *Megachile rotundata* (Hymenoptera: Apoidea). *Environ. Entomol.* 11: 997-1000.

MACKENZIE, K.E. 1994. The foraging behaviour of honey bees (*Apis mellifera* L.) and bumble bees (*Bombus* spp.) on cranberry (*Vaccinium macrocarpon* Ait). *Apidologie.* 25: 375-383.

MACKENZIE, K.E., AVERILL, A.L. 1995. Bee (Hymenoptera: Apoidea) diversity and abundance on cranberry in Southeastern Massachusetts. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 88(3): 334-341.

MACKENZIE, K.E, WINSTON, M.L. 1984. Diversity and abundance of native bee pollinators on berry crops and natural vegetation in the lower Fraser Valley, British Columbia. *Can. Entomol.* 116: 995-974.

MAHORO, S. 2002. Individual flowering schedule, fruit set, and flower and seed predation in *Vaccinium hirtum* Thunb.(Ericaceae). *Can. J. Bot.* 80: 82–92.

McGREGOR, S.E. 1976. Insect pollination of cultivated crops plants. Agriculture handbook no. 496. Agricultural Research Service. USDA. 411p.

MILLETTE, H. 2003. Efficacité réelle de pollinisation de l'abeille domestique (*Apis mellifera*) et du bourdon fébrile (*Bombus impatiens*) sur le bleuétier nain (*Vaccinium angustifolium*) en Sagamie. Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en biologie par Hugues Millette. Éditeur: Montréal : Université du Québec à Montréal.

PAYETTE, A. 2001. Abeilles et tourbières du sud du Québec. *Quatre-temps.* 25(2): 34-35.

PAYETTE S., et L. ROCHEFORT. 2001. Écologie des tourbières du Québec-Labrador. Les presses de l'Université Laval, Québec, Québec.

PESSON, P., LOUVEAUX, J. 1984. Pollinisation et production végétale. Institut National de la Recherche Agronomique. Paris.

- PLOWRIGHT, R.C.; LAVERTY, T.M. 1987. Bumble bees and crop pollination in Ontario. Proc. Ent. Soc. Ont. 118 : 155-160.
- RIGBY, B., DANA, M. N. 1972. Flower opening, pollen shedding, stigma receptivity and pollen tube growth in the cranberry. HortScience. 7: 84-85.
- RIOUX, M-C. 2004. L'horticulture en bref... au Québec. Portrait statistique 2004. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. Direction des études économiques et d'appui aux filières.
- ROBINSON, W.S.; NOWOGRODZKI, R.; MORSE, R.A. 1989. The value of honey bees as pollinators of U.S. crops. American Bee Journal. 129: 411-423, 477-487.
- SARRACINO, J.M. et VORSA, N. 1991. Self and cross fertility in cranberry. Euphytica. 58: 129-136.
- SAS INSTITUTE Inc. 2004. JMPin version 5.1.2. Cary, NC, USA.
- SAVARD, J., SAVARD, G. 2003. La pollinisation du bleuétier nain par la *Megachila rotundata*. Projet d'innovation technologique 2002. Direction régionale Saguenay-Lac-St-Jean-Côte-Nord. MAPAQ. Québec.
- SMALL, E. 1976. Insect Pollinators of the Mer Bleue Peat Bog of Ottawa. The Canadian Field-Naturalist, 90: 22-28.
- SOUTHWICK, E.E.; SOUTHWICK, Jr. 1992. Estimating the economic value of honey bees (Hymenoptera : Apidae) as agricultural pollinators in the United States. J. Econ. Entomol. 85 : 621-633.
- STATISTIQUE CANADA. 2005. Production de fruits et légumes. No. de catalogue 22-003-XIB.
- THOM, C. T. D. SEELEY ET J. TAUTZ. 2000-. A scientific note on the dynamics of labor devoted to nectar foraging in a honey bee colony: number of foragers versus individual foraging activity^a Apidologie 31737-738
- STUBBS, C.S., DRUMMOND, F.A. 2001. *Bombus impatiens* (Hymenoptera: Apidae) : An alternative to *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) for Lowbush Blueberry pollination. J. Econ. Entomol. 94(3) : 609-616.
- WHIDDEN, T.L. 1996. The fidelity of commercially reared colonies of *Bombus impatiens* Cresson (Hymenoptera: Apidae) to Lowbush Blueberry in southern New Brunswick. The Canadian Entomologist. 128: 957-958.
- WILLMER, P.G. 1983. Thermal constraints on activity patterns in nectar-feeding insects. Econ. Entomol. 8 : 455-469.
- WINSTON, M.L. 1993. La biologie de l'abeille. Éditions Frison-Roche. Paris

ANNEXE I :
**La liste de toutes les plantes inventoriées durant la saison 2005 et
date de floraison par rapport à la canneberge**

LISTE DES VÉGÉTAUX INDIGÈNES RECENSÉS

Les végétaux ne sont pas répétés dans la liste, seuls les nouveaux végétaux sont ajoutés.

Les espèces en caractères gras sont d'intérêt pour les pollinisateurs, les espèces en caractères gras et en caractères italiques compétitionne avec la floraison de la canneberge.

1 juin 2005

Espèce	Temps de floraison	Densité/fréquence/attractivité	Caractéristiques
Tussilage farfara (<i>Tussilago farfara</i>)	fin avril à début juin	Dense, fréquent et attractif	Composée à fleurs jaunes, lieux incultes et humides
Pissenlit officinal (<i>Taraxacum officinale</i>)	Toute la saison à partir d'avril (surtout en mai et juin pour l'abondance)	Dense, fréquent et attractif	Composée à fleurs jaunes, colonise plusieurs milieux, source importante de nourriture pour les pollinisateurs
Barbarée vulgaire (<i>Barbarea vulgaris</i>)		non significatif	
Airelle à feuilles étroites ou Bleuet (<i>Vaccinium angustifolium</i>)	Mai-juin	Dense et attractif	Éricacée arbustive de floraison printanière (fleurs blanches) de terrains acides tels tourbières, attractif pour les espèces de bourdons
Amélanchier arbre ou Amélanchier du Canada (<i>Amelanchier arborea</i> ou <i>canadensis</i>)	Mai-juin	Attractif	Rosacée arbustive ou arboricole avec fleurs attractives en grappes (blanches à rosées)
Rhododendron du Canada (<i>Rhododendron canadense</i>)	Avril-juin	Attractif	Éricacée arbustive de floraison très printanière (fleurs mauves) occupant les milieux acides tels tourbières, terres acides et sous-bois sablonneux.
Fraisier de Virginie (<i>Fragaria virginiana</i>)	Mai-juillet	Dense et attractif	Rosacée à fleurs blanches peu attractive pour les bourdons, mais attractive pour les petits pollinisateurs, milieux de champs et de paturages secs
Kalmia à feuilles d'andromède (<i>Kalmia polifolia</i>)	Mai-juin	Dense et attractif	Éricacée arbustive avec fleurs d'un rose pourpre occupant les tourbières humides
Stellaire graminioïde (<i>Stellaria graminea</i>)		non significatif	
Cassandre caliculé ou Faux-bleuet (<i>Cassandra calyculata</i>)		Dense et attractif	Éricacée arbustive à fleurs blanches (semblables aux fleurs du Bleuet) occupant les tourbières (sols acides)

Saules sp. (Salix sp.)	Avril à juin	Dense, fréquent et attractif	Salicacées de forme arbrisseaux ou arbustes, fleurs en épis (chatons). Identification à l'espèce difficile
Bermudienne à feuilles étroites (Sisyrinchium angustifolium)		non significatif	

7 juin 2005

Vesce jargeau (Vicia cracca)	Toute la saison	Dense, fréquent et attractif	Légumineuse grimpante à fleurs mauves très attractives, tous les milieux
Thé du Labrador ou Lédon du Groenland (Ledum groenlandicum)	Juin	Dense, fréquent et attractif. Importante source de nourriture avant la floraison de la canneberge, mais aussi compétitrice	Éricacée arbustive à fleurs blanches attractives retrouvée dans les tourbières et les milieux acides
Trèfle blanc (Trifolium repens L.)	Début juin à mi-juillet	Dense, fréquent et attractif. Importante source de nourriture avant la floraison de la canneberge, mais aussi compétitrice	Légumineuse à capitules blancs retrouvés surtout en champs, très attractif pour les bourdons
Oxalyde dressée (Oxalis stricta)		non significatif	
Sabot de la Vierge (Cypripedium calceolus)		non significatif	
Andromède glauque (Andromeda glaucophylla)	Fin mai à début juin	Attractif	Éricacée à fleurs rosées retrouvée en tourbière

13 juin 2005

Épervière des prés (Hieracium pratense)		non-significatif même si dense et fréquent car peu attractif	
Épervière orangée (Hieracium aurantiacum)		non significatif	
Cuscute de Gronovius (Cuscuta gronovii)		non significatif	
Ronce occidentale ou Mûrier (Rubus occidentalis)	Mi-juin à fin juillet	Dense, fréquent et attractif	Rosacée à fleurs blanches de champs secs
Seneçon de Robbins (Senecio robbinsii)		non significatif	

<i>Kalmia à feuilles étroites</i> (<i>Kalmia angustifolia</i>)	Mi-juin à mi-juillet	Dense, fréquent et attractif	Éricacée à fleurs pourpres de milieux acides et sablonneux
Clintonie boréale (<i>Clintonia borealis</i>)		non significatif	
Potentille de Norvège (<i>Potentilla norvegica</i>)		non significatif même si dense et fréquent car peu attractif	
Trèfle rouge (<i>Trifolium pratense</i>)	Mi-juin à mi-juillet	Fréquent et attractif	Légumineuse à capitules purpurins de champs et de prairies
Marguerite (<i>Chrysanthemum leucanthemum</i>)		non significatif même si fréquent car peu attractif	

20 juin

Épervière sp. (<i>Hieracium</i> sp.)		non-significatif	
Trèfle agraire ou Trèfle jaune (<i>Trifolium agrarium</i>)	Mi-juin à fin juillet	Dense et attractif	Légumineuse à fleurs jaunes aimant les milieux acides
Gaillet palustre (<i>Galium palustre</i>)		non-significatif	
Trèfle hybride (<i>Trifolium hybridum</i>)	Mi-juin à mi-août	Dense, fréquent et attractif	Légumineuse à fleurs allant du rose au pourpre de prairies et de lieux incultes
Iris versicolore (<i>Iris versicolor</i>)		non-significatif	
Épervière sp. (<i>Hieracium</i> sp.)		non-significatif	
Laiterons sp. (<i>Sonchus</i> sp.)	Mi-juin à fin août	Attractif, mais peu denses et peu fréquents	Composées à gros capitules jaunes
Apocyn à feuilles d'androsème (<i>Apocynum androsaemifolium</i>)	Mi-juin à début août	Dense, fréquent et attractif Attractif mais tue les insectes en les piégeant	Apocynacée à fleurs roses de champs et de bords de chemin
Renoncule âcre (<i>Renanculus acris</i>)		non-significatif	

27 juin

Érigeron de Philadelphie (<i>Erigeron philadelphicus</i>)		non-significatif	
Liseron des haies (<i>Convolvulus sepium</i>)		non-significatif	
Molène vulgaire (<i>Verbascum thapsus</i>)		non-significatif	
Aralie hispide (<i>Aralia hispida</i>)	Fin juin à début août	Dense, fréquent et attractif	Araliacée à petites fleurs blanches de tourbières sèches
Dièreville chèvrefeuille (<i>Diervilla lonicera</i>)	Fin juin à début août	Dense et attractif	Caprifoliacée arbustive à fleurs jaunes et orangées retrouvés en talus

Millepertuis commun (Hypericum perforatum)	Fin juin à fin juillet	Dense, fréquent et attractif	Hypéricacée à fleurs jaunes de champs
Potentille dressée (Potentilla recta)		non-significatif	
Renoncule rampante (Ranunculus reptans)		non-significatif	
Utriculaire vulgaire (aquatique) (Utricularia vulgaris)		non-significatif	

4 juillet

Laitue du Canada (Lactuca canadensis)		non-significatif	
Lysimaque terrestre (Lysimachia terrestris)		non-significatif même si dense et fréquent car peu attractif	
Épilobe à feuilles étroites (Epilobium angustifolium)	Début juillet à mi-août	Fréquent et attractif, compétitionne avec la canneberge en début juillet mais source de nourriture importante par la suite	Onagracée à fleurs pourpres ou magenta de clairières
Spirée à larges feuilles (Spirea latifolia)	Début juillet à mi-août	Dense, fréquent et attractif. Compétitionne avec canneberge en début juillet, mais source de nourriture importante par la suite	Rosacée à fleurs blanches ou rosées, lieux incultes et humides
Érigéron hispide (Erigeron strigosus)		non-significatif	
Prunelle vulgaire (Prunella vulgaris)		non-significatif	
Asclépiade commune (Asclepias syriaca)	Début juillet à début août	Dense, fréquent et attractif. Attractif, mais tue les insectes en les piégeant	Asclépiadacée à fleurs pourpres, très commun
Achillée millefeuille		non-significatif	
Onagre sp. (Oenothera sp.)	Début juillet à début septembre	Dense, fréquent et attractif. Compétitionne peu avec la canneberge car floraison plus importante vers la fin juillet	Onagracée à fleurs jaunes
Renouée à feuilles de Patience (Polygonum lapathifolium)	Début juillet à début septembre	Fréquent et attractif. Compétitionne avec canneberge en début juillet, mais source de nourriture importante par la suite	Polygonacée à fleurs roses ou blanches de milieux humides

<i>Rudbeckie hérissée</i> (<i>Rudbeckia hirta</i>)	Début juillet à mi-août	Fréquent et attractif. Compétitionne avec cannerge en début juillet, mais source de nourriture importante par la suite	Composée à fleur orangée ou jaune, fréquent sur les bords de routes et lieux cultivés
--	-------------------------	--	---

11 juillet

Dalibarde rampante (<i>Dalibarda repens</i>)		non-significatif	
<i>Pigamon pubescent</i> (<i>Thalictrum pubescens</i>)	Mi-juillet à fin juillet	Attractif, mais peu dense et peu fréquent	Renonculacée à fleurs blanches réunies en un long panicule, lieux ouverts et humides
<i>Linnaire vulgaire</i> (<i>Linaria vulgaris</i>)	Juillet à novembre	Dense, fréquent et attractif	Scrophulariacée à fleurs jaunes; très mellifère.
<i>Mélilot blanc</i> (<i>Melilotus alba</i>)	Juillet et août surtout, mais peu fleurir jusqu'aux neiges	Dense et attractif, mais peu fréquent dans la cannebergière échantillonnée	Légumineuse à fleurs blanches, lieux incultes
Carotte sauvage (<i>Daucus carotta</i>)		non-significatif	

18 juillet

<i>Spirée tomenteuse</i> (<i>Spiraea tomentosa</i>)	Mi-juillet à fin août	Dense, fréquent et attractif	Rosacée arbuste à fleurs roses, lieux humides
<i>Verge d'or graminifoliée</i> (<i>Solidago graminifolia</i>)	Mi-juillet à octobre	Dense, fréquent et attractif	Composée à fleurs jaunes en corymbes aplaties, lieux humides, champs, bords de routes.
<i>Renouée persicaire</i> (<i>Polygonum persicata</i>)	Mi-juillet à octobre	Dense, fréquent et attractif	Polygonacée avec feuilles portant une tache pourpre; fleurs en grappes rosées, tous les milieux.
<i>Anaphale marguerite</i> (<i>Anaphalis margaritacea</i>)	Mi-juillet à septembre	Dense, fréquent et attractif	Composée dont la tige et les feuilles sont pubescentes, fleurs blanches, tous les milieux.
<i>Léontodon d'automne</i> (<i>Leontodon autumnalis</i>)	Mi-juillet à septembre	Fréquent et attractif, mais peu dense	Composée à capitules jaunes, plutôt clairsemé dans le Québec
Lobélie gonflée (<i>Lobelia inflata</i>)		non-significatif	
Épiaire des marais (<i>Stachys palustris</i>)		non-significatif, mais attractif	
Érigéron du Canada (<i>Erigeron canadensis</i>)		non-significatif	
<i>Aster simple</i> (<i>Aster simplex</i>)	Mi-juillet à octobre	Attractif, mais peu dense et peu fréquent	Composée à tige glabre ou presque, nombreux capitules blancs, lieux humides, fossés.

Renouée sagittée (<i>Polygonum sagittatum</i>)		non-significatif	
Alisme commun (<i>Alisma triviale</i>)		non-significatif	
Salicaire pourpre (<i>Lythrum salicaria</i>)	Mi-juillet à septembre	Attractif, mais à éviter car plante introduite et très envahissante	Lythracée à fleurs pourpres, en épis, lieux submergés au printemps.
Potentille argentée (<i>Potentilla argentea</i>)		non-significatif	
Chardon des champs (<i>Cirsium arvense</i>)	Mi-juillet à septembre	Attractif, mais peu dense et peu fréquent	Composée à capitules roses, champs cultivés ou incultes.

25 juillet

Eupatoire maculé (<i>Eupatorium maculatum</i>)	Mi-juillet à fin août	Fréquent, attractif, mais peu dense	Composée à inflorescence en corymbe aplati, fleurs pourpres, lieux ouverts, abords des tourbières.
Verge d'or du Canada (<i>Solidago canadensis</i>)	Mi-juillet à octobre	Dense, fréquent et attractif	Composée à petits capitules jaunes, tous les milieux.

1 août

Épervière sp. (<i>Hieracium</i> sp.)		non-significatif	
Aster à ombelles (<i>Aster umbellatus</i>)	Début août à octobre	Dense, fréquent et attractif	Composée à capitules nombreux, fleurs à rayons blancs, terrains frais, bords de bois, brûlés.

8 août

Clématite de Virginie (<i>Clematis virginiana</i>)		non-significatif	
Menthe du Canada (<i>Mentha canadensis</i>)		non-significatif, mais attractif	
Impatiens du Cap (<i>Impatiens capensis</i>)	Début août à début septembre	Dense et attractif, mais peu fréquent	Balsaminacée annuelle à fleurs orangées tachetées et éperon incurvé, lieux humides, ombragés ou non.
Sp. non identifiée à fleurs jaunes		non-significatif	
Potentille ansérine (<i>Potentilla anserina</i>)		non-significatif	
Aster ponceau (<i>Aster puniceus</i>)	Début août à septembre	Fréquent et attractif, mais peu dense	Composée à tige rougeâtre poilue, fleurs mauves à bleues en capitules, lieux humides, fossés, ruisseaux.

15 août

Lycoppe d'Amérique (<i>Lycopus americanus</i>)		non-significatif	
Chardon vulgaire (<i>Cirsium vulgare</i>)	Mi-août à septembre	Attractif, mais peu dense et peu fréquent	Composée bisannuelle avec feuilles épineuses, capitules mauves, lieux incultes.
Aster acuminé (<i>Aster acuminatus</i>)	Mi-août à octobre	Attractif, mais peu dense et peu fréquent	Composée à tige en zigzag à capitules blancs ou purpurins, lieux boisés.

21 août

Spiranthe de Romanzoff (<i>Spiranthes romanzoffiana</i>)		non-significatif	
Valériane officinale (<i>Valeriana officinalis</i>)		non-significatif	

2 septembre

Verge d'or des marais (<i>Solidago uliginosa</i>)	Début septembre à fin octobre	Attractif et fréquent, mais peu dense	Composée à fleurs jaunes, tourbières.
Aster sp. (<i>Aster sp.</i>)	Début septembre à fin octobre	Attractif, mais peu dense et peu fréquent	Composée à fleurs blanches.
Aster sp. (<i>Aster sp.</i>)	Début septembre à fin octobre	Attractif, mais peu dense et peu fréquent	Composée à fleurs mauves.
Bident feuillu (<i>Bidens frondosa</i>)		non-significatif	
Verge d'or sp. (<i>Solidago sp.</i>)	Début septembre à fin octobre	Attractif	Composée à fleurs jaunes.

9 septembre et 16 septembre : aucune nouvelle espèce recensée

ANNEXE II :
Guide photographique des plantes importantes à conserver dans
la cannebergières pour attirer les pollinisateurs en dehors de la
période de floraison de la canneberge

Avant la floraison



Saules (*Salix* spp.)



Saules (*Salix* spp.)



Cassandre caliculé
(*Chamaedaphne calyculata*)



Rhododendron du Canada
(*Rhododendron canadense*)



Bleuet à feuilles étroites
(*Vaccinium angustifolium*)



Bleuet en corymbe
(*Vaccinium corymbosum*)



Bleuet fausse-myrtille
(*Vaccinium myrtilloides*)



Aronie à fruits noirs
(*Aronia melanocarpa*)



Cerisier de Pennsylvanie
(*Prunus pensylvanica*)



Cerisier de Virginie
(*Prunus virginiana*)

Après la floraison



Spirée tomenteuse
(*Spiraea tomentosa*)



Aster à ombelles
(*Doellingeria umbellata*)



Verge d'or à feuilles de graminée
(*Euthamia graminifolia*)



Eupatoire maculée
(*Eupatorium maculatum*)



Verge d'or
(*Solidago* spp.)



Salicaire commune
(*Lythrum salicaria*)



Impatiente du Cap
(*Impatiens capensis*)

ANNEXE 3 :

LISTE DES VÉGÉTAUX VIVACES HORTICOLES CHOISIS ET TRANSPLANTÉS
et
Critères de tolérance bioclimatiques été pris en compte pour
faire leur sélection

A) Végétaux fleurissant avant la canneberge (d'avril à juin)

- 1) **Spirée de Garland variété 'Grefsheim'** (*Spirea x arguta 'Grefsheim'*) : Petits arbustes (Rosacée) à croissance rapide portant de petites fleurs blanches en avril et mai (les autres variétés de spirées fleurissent à l'été). Emplacements ensoleillés, s'adapte à tous les types de sol, zone 4.

Raisons du choix : offre une ressource alimentaire aux pollinisateurs très tôt en saison, soit en avril et mai, peu de soins nécessaires, les spirées indigènes (Spirée à larges feuilles et Spirée tomenteuse) observées dans la cannebergière sont très attractives.

- 2) **Bergénie** (*Bergenia cordifolia*) : Saxifragacée de croissance lente, donc peu envahissante, dont les fleurs varient du rose, blanc, rouge et pourpre durant les mois de mai et de juin. Le feuillage persiste tout l'hiver (devient rouge puis reverdit au printemps). S'adapte à tous les sols, secs ou humides, pauvres ou riches. Emplacements ensoleillés ou mi-ensoleillés, zone 4b.

Raisons du choix : attractive pour le bourdon, peu de soins, tolérante, floraison en mai.

- 3) **Primevère denticulée** (*Primula denticulata*) : Primulacée dont les fleurs en ombelles (bleues, rouges, roses ou blanches) apparaissant en mai et juin. Sol acide, humide et bien drainé, supporte très bien les hivers enneigés. Emplacements mi-ensoleillés, zone 4.

Raisons du choix : attractive, tolérante, floraison en mai et juin.

- 4) **Bruyère d'hiver** (*Erica carnea 'Kramer's Red'*) : Arbuste (Éricacée) à feuillage persistant. Floraison printanière (avril-mai) très attractives (fleurs rouges). Éricacée préférant les sols acides. Résiste aux maladies et aux insectes. Emplacements ensoleillés ou mi-ensoleillés, zone 5.

Raisons du choix : sols acides et sableux, attractive, peu de soins, floraison printanière.

B) Végétaux fleurissant après la canneberge (de juillet à octobre)

- 1) **Monarde hybride** (*Monarda x hybrida*) : Labiée de croissance rapide, couleurs des fleurs variables (violet, rouge, rose et blanc) qui apparaissent en juillet/août. Préfère les sols riches et humides. Peu devenir envahissante dans de bonnes conditions. Emplacements ensoleillés, zone 4.

Raisons du choix : très attractives (vérifié par la littérature), croissance rapide.

- 2) **Liatride à épis** (*Liatris spicata 'Kobold'*) : Asteracée à grands épis violets fleurissant de juillet et août. Plante robuste et peu exigeante, attractive. Aime les sols humides et bien drainés. Emplacements ensoleillés, zone 3.

Raisons du choix : peu de soins, fleur mauve attirant le bourdon.

- 3) **Orpin remarquable** (*Sedum spectabile*) : Crassulacée à fleurs attractives orangées, roses ou blanches apparaissant de août à octobre. Végétal peu exigeant qui supporte la sécheresse. Emplacements ensoleillés, zone 3.

Raisons du choix : peu exigeante, attractive, floraison en octobre.

- 4) **Chardon bleu** (*Echinops ritro*) : Asteracée à fleurs bleues et blanches très attractives (floraison en juillet et août). Supporte les sols secs et pauvres, bonne propagation. Emplacements ensoleillés, zone 3.

Raisons du choix : tolérante, attractive, bonne propagation.

- 5) **Lavande vraie** (*Lavandula angustifolia*) : Labiée à épis de fleurs bleues (juillet et août) dont les plants supportent bien la sécheresse. Nécessite un sol bien drainé. Emplacements ensoleillés, zone 4b.

Raisons du choix : attractive, tolérante.

- 6) **Sauge de Russie** (*Perovskia atriplicifolia*) : Labiée à minuscules fleurs bleues violacées apparaissant en août et septembre. Prospère en sols secs. Emplacements ensoleillés, zone 5.

Raisons du choix : attractive, tolérante.

- 7) **Bruyère d'automne** (*Calluna vulgaris*) : Arbuste (Éricacée) à longue période de floraison allant de juillet à septembre. Fleurs variant du violet au blanc. Préfère les sols acides. Emplacements ensoleillés ou mi-ensoleillés, zone 5.

Raisons du choix : sols acides, fleurs attractives.

- 8) **Aster de la Nouvelle-Angleterre** (*Aster novae-angliae*) : Grande Asteracée robuste et très florifère. Se referme le soir et par temps couvert. Fleurs bleues, violettes, roses ou blanches. Floraison en septembre et octobre. Emplacements ensoleillés, zone 3.

Raisons du choix : les bourdons apprécient les asters indigènes qui offrent une source de nourriture automnale lorsque les autres ressources se font rares. Floraison en octobre, peu de soins

ANNEXE 4 :
Tableaux de résultats des tests statistiques pour le volet III

Tableau 14 Analyses de régressions pour différentes variables en fonction du nombre de visites des pollinisateurs en 2005.

Variables analysées	da-te	Pollinisateur			Type d'analyse utilisée	Résultats de l'analyse			
		Variable indépendante	Abeilles (n= x)	Mégachilles (n= x)		R2	Prob > F	Sig nificatif	postulats
Visites vs dist.		dist.	x (n=22)		Régr. sim	0.376	0.0024	oui	ok
Visites vs dist.		dist.		x (n=30*)	Régr. sim	0.02	0.4470	non	ok
Visites vs taux		visites	x (n=22)		Régr. sim	0.11	0.1397	non	ok
Visites vs taux		visites		x (n=32*) A3 retiré	Régr. sim	0.143	0.0327	oui	ok
Visites vs taux		visites	x (n=22)	x (n=22)	Rég. mult	0.36	0.0151	oui	ok
Visites. vs poids ind.		visites	x (n=22)	<u>relation négative</u>	Régr. sim	0.04	0.3770	non	ok
Visites. vs poids ind.		visites		x (n=32*) A3 retiré	Régr. sim	0.06	0.1711	non	ok
Visites. vs poids ind.		visites	x (n=22)	x (n=22)	Rég. mult	0.18	0.0573	non	ok
Visites. vs poids moy. indiv. pi2		visites	x (n=22)	<u>relation négative</u>	Régr. sim	0.003	0.8139	non	ok
Visites. vs poids moy. indiv. pi2		visites		x (n=32*) A3 retiré	Régr. sim	0.02	0.4458	non	ok
Visites. vs poids moy. indiv. pi2		visites	x (n=22)	x (n=22)	Rég. mult	-0.085	0.8371	non	ok
Visites. vs poids total pi2		visites	x (n=22)		Régr. sim	0.40	0.0015	oui	ok
Visites. vs poids total pi2		visites		x (n=32*) A3 retiré	Régr. sim	0.07	0.1548	non	ok
Visites. vs poids total pi2		visites	x (n=22)	x (n=22)	Rég. mult	0.34	0.0072	oui	ok
Visites. vs Mise à fruit (MAF)		visites	x (n=22)	x (n=22)	Rég. mult	0.07	0.4843	non	ok
Visites vs taux	25-06	visites	x (n=22)		Régr. sim	0.09	0.1674	non	ok
Visites vs taux	8-07	visites	x (n=22)		Régr. sim	0.06	0.2861	non	ok
Visites vs taux	25-06	visites		x (n=32*) A3 retiré	Régr. sim	0.018	0.4622	non	ok
Visites vs taux	8-07	visites		x (n=33)	Régr. sim	0.16	0.0198	oui	ok
Visit. vs MAF	25-06	visites	x (n=22)	<u>relation négative</u>	Régr. sim	0.06	0.2826	non	ok
Visit. vs MAF	8-07	visites	x (n=22)	<u>relation négative</u>	Régr. sim	0.006	0.7426	non	ok
Visit. vs MAF	25-06	visites		x (n=32*) A3 retiré	Régr. sim	0.10	0.0720	non	ok
Visit. vs MAF	8-07	visites		x (n=33)	Régr. sim	0.004	0.7370	non	ok

* données aberrantes enlevées selon la distance de Cook.

Note : Les résultats des analyses de variance comparant les trois réplicats pour ces variables (voir tableau 12) montrent que, pour les visites d'abeilles, le réplicat 3 appartient à une autre population. Ce réplicat a donc été retiré des analyses de régressions, mais uniquement pour les analyses avec visites d'abeilles.

Tableau 15. Comparaison des populations des trois réplicats par analyse de variance pour 5 variables en 2005.

Variabl e	zone	n	R 1	R 2	R 3	Prob >F	Signi- ficatif	H0 acceptée	Postu- lats	commen- taires
Taux polli- nisation	0-100m	12				0.4223	non	oui	ok	
	100-232m	9				0.2910	non	oui	ok	
	232-307m	12				0.1584	non	oui	ok	
	0-307m	33				0.0587	non	oui	ok	
Poids indiv. fruits étiquet- és	0-100m	12				0.4503	non	oui	ok	
	100-232m	9				0.6803	non	oui	ok	
	232-307m	12				0.0587	non	oui	ok	
	0-307m	33				0.9424	non	oui	ok	
Poids total pi2	0-100m	12				0.2380	non	oui	ok	
	100-232m	9				0.6854	non	oui	ok	
	232-307m	12				0.2308	non	oui	ok	
	0-307m	33				0.9537	non	oui	ok	
Visites abeilles	0-100m	12				0.1402	non	oui	ok	
	100-232m	9	A	A	<u>B</u>	0.0018	oui	non	ok	
	232-307m	12	A	A	<u>B</u>	0.0077	oui	non	ok	
	0-307m	33	A	A	<u>B</u>	0.0001	oui	non	Non	hétéro- scédaste
Visites Méga- chiles	0-100m	12				0.1523	non	oui	ok	
	100-232m	9				0.2809	non	oui	Non	hétéro- scédaste
	232-307m	12				0.1328	non	oui	ok	
	0-307m	33				0.1167	non	oui	ok	

Tableau 16 : Analyses de régressions pour différentes variables en fonction du nombre de visites des pollinisateurs en 2006.

Variables analysées	% Floraison				Type d'analyse utilisée	Résultats de l'analyse			
		Var. indép.	Pollinisateur :	Effectif		R2	Prob > F	Sig nif.	pos tu-lats
Visites tot. vs dist. dôme	100 %	dist.	Abeilles	15	Régr. sim	0.10	0.2506	non	ok
Visites tot. vs dist. dôme.	100 %	dist.	Még.	15 (rel. nég)	Régr. sim	0.60	0.0007	oui	ok
Visites 70-270m vs dist. dôme	100 %	dist.	Bourd féb.	9**	Régr. sim	0.13	0.3412	non	non
Visites tot. vs dist. dôme.	100 %	dist.	Bourd ind	15	Régr. sim	0.02	0.6518	non	non
Visites tot. vs dist. dôme.Mi-flor 1	< 50%	dist.	Még.	14* (rel. nég)	Régr. sim	0.41	0.0142	oui	ok
Visites tot. vs dist. dôme. Mi-flor. 2	> 50%	dist.	Még.	15 (rel. nég)	Régr. sim	0.55	0.0015	oui	ok
Visites. vs poids ind.	100 %	visites	Abeilles	15	Régr. sim	0.18	0.1129	non	ok
Visites. vs poids ind.	100 %	visites	Mégach.	15	Régr. sim	0.10	0.2450	non	ok
Visites. vs poids ind.(70-270m)	100 %	visites	Bourd. féb	9**	Régr. sim	0.38	0.0783	non	ok
Visites. vs poids ind.	100 %	visites	Bourd. ind.	15	Régr. sim	0.07	0.3494	non	ok
Visites. vs poids ind.	100 %	visites	Autres	15	Régr. sim	0.002	0.8750	non	ok
Visites. vs poids ind.	100 %	visites	Tous poll.	15	Régr. sim	0.04	0.4730	non	ok
Visites vs Poids moy. indiv. pi2	100 %	visites	Abeilles	15	Régr. sim	0.03	0.5439	non	ok
Visites vs Poids moy. indiv. pi2	100 %	visites	Mégach.	15	Régr. sim	0.04	0.4856	non	ok
Visites vs Poids moy. indiv. pi2	100 %	visites	Bourd. féb	9**	Régr. sim	0.13	0.3418	non	ok
Visites vs Poids moy. indiv. pi2	100 %	visites	Bourd. ind.	15	Régr. sim	0.02	0.6657	non	ok
Visites vs Poids moy. indiv. pi2	100 %	visites	Autres	15	Régr. sim	0.16	0.1363	non	ok
Visites vs Poids moy. indiv. pi2	100 %	visites	Tous poll.	15	Régr. sim	0.0002	0.9580	non	ok
Visites vs Poids total pi2	100 %	visites	Abeilles	15	Régr. sim	0.31	0.0306	oui	ok
Visites vs Poids total pi2	100 %	visites	Mégach.	15	Régr. sim	0.05	0.4051	non	ok
Visites vs Poids total pi2	100 %	visites	Bourd. féb	9**	Régr. sim	0.19	0.2432	non	ok
Visites vs Poids total pi2	100 %	visites	Bourd. ind.	15	Régr. sim	0.001	0.7747	non	ok
Visites vs Poids total pi2	100 %	visites	Autres	15	Régr. sim	0.22	0.0761	non	ok

Visites vs Poids total pi2	100 %	visites	Tous poll.	15	Régr. sim	0.09	0.2666	non	ok
Variables analysées	%				Type d'analyse utilisée	Résultats de l'analyse			
	Floraison	Var. indép.	Pollinisateur :	Effectif		R2	Prob > F	Sig nif.	pos tu-lats
Visites vs MAF ^{&}	100 %	visites	Abeilles	15	Régr. sim	0.06	0.3919	non	ok
Visites vs MAF ^{&}	100 %	visites	Mégach.	14*	Régr. sim	0.37	0.0213	oui	ok
Visites vs MAF ^{&}	100 %	visites	Bourd. féb	9**	Régr. sim	0.56	0.0210	oui	ok
Visites vs MAF ^{&}	100 %	visites	Tous poll.	15	Régr. sim	0.03	0.5270	non	ok
Visites vs MAF ^{&}	100 %	visites	Chaque poll.	9**	Régr. multiple	R2 ajusté 0,84	0.0467	oui	ok
Visites vs Moyenne des ovules fécondés	100 %	visites	Abeilles	15	Régr. sim	0.06	0.3953	non	ok
Visites vs Moyenne des ovules fécondés	100 %	visites	Mégach.	15	Régr. sim	0.19	0.1000	non	ok
Visites vs Moyenne des ovules fécondés	100 %	visites	Bourd. féb	9**	Régr. sim	0.21	0.2157	non	ok
Visites vs Moyenne des ovules fécondés	100 %	visites	Bourd. ind.	15	Régr. sim	0.17	0.1243	non	ok
Visites vs Moyenne des ovules fécondés	100 %	visites	Autres	15	Régr. sim	0.02	0.6202	non	ok
Visites vs Moyenne des ovules fécondés	100 %	visites	tous les poll	15***	Régr. sim	0.32	0.0271	oui	ok

* données aberrantes enlevées selon distance de Cook et résidus studentisés.

** 70 à 270m des dômes : voir tableau comparaison des 3R.

*** voir tableau des anovas pour les visites de tous les poll.

& : Pour la MAF, l'anova sort non-sign (pour les 15 parcelles), mais la variance est hétéroscédaste.

Tableau 17 : Anovas : comparaison des trois réplicats-2006.

Variable	zone (0 = Dômes)	n	R1	R2	R3	Prob >F	Signi- ficatif	H0 accepté e	Postulats	commentaires
Moyenne des graines vraies et moy.	0-70m	9	A	A	A	0.5134	non	oui	ok	
	100-270m	6	A	A	A	0.2257	non	oui	Non	hétéro- scédaste
	0-270m	15	A	A	A	0.1055	non	oui	ok	
Poids moy. fruits indiv. étique-tés	0-70m	9	A	A	A	0.9109	non	oui	ok	
	100-270m	6	A	A	A	0.9768	non	oui	ok	
	0-270m	15	A	A	A	0.8925	non	oui	ok	
Poids moy. indiv. pi2	0-70m	9	A	A	A	0.7510	non	oui	ok	
	100-270m	6	A	A	A	0.7668	non	oui	Non	hétéro- scédaste**
	0-270m	15	A	A	A	0.6850	non	oui	ok	
Poids total pi2	0-70m	9	A	A	A	0.2144	non	oui	ok	
	100-270m	6	A	A	A	0.4951	non	oui	??	
	0-270m	15	A	A	A	0.0618	non	oui	ok	
Visites totales abeilles	0-70m	9	A	A	A	0.1460	non	oui	ok	
	100-270m	6	A	A	A	0.3063	non	oui	Non	hétéro- scédaste**
	0-270m	15	A	A	A	0.0650	non	oui	ok	
Visites totales Méga- chiles	0-70m	9	A	A	A	0.1085	non	oui	ok	
	100-270m	6				0.1645	non	oui	ok	
	0-270m	15	A	A	A	0.3058	non	oui	ok	
Visites totales Bourd. féb	0-70m	9	A	A	A	0.0733	non	oui	Non	hétéro- scédaste
	100-270m	6	A	A	A	0.3061	non	oui	ok	
	0-270m	15	AB	B	A	0.0199	oui	non	Non	hétéro- scédaste
Visites totales Bourd ind.	0-70m	9	A	A	A	0.3343	non	oui	ok	
	100-270m	6	A	A	A	0.6291	non	oui	ok	
	0-270m	15	A	A	A	0.2079	non	oui	ok	
Visites totales autres	0-70m	9	A	A	A	0.6968	non	oui	ok	
	100-270m	6	A	A	A	0.0644	non	oui	Non	hétéro- scédaste**
	0-270m	15	A	A	A	0.1416	non	oui	ok	
Visites totales tous les poll.	0-70m	9	B	AB	A	0.0204	oui	non	ok	
	100-270m	6	A	A	A	0.3312	non	oui	Non	hétéro- scédaste**
	0-270m	15	B	AB	A	0.0419	oui	non	ok	
% MAF	0-70m	9	A	A	A	0.4581	non	oui	ok	
	100-270m	6	A	A	A	0.6520	non	oui	??**	
	0-270m	15	A	A	A	0.2454	non	oui	Non	hétéro- scédaste

** vérifier si ce n'est pas dû au n=6...