

## TABLE DES MATIÈRES

<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>iii</b>
<b>AVANT-PROPOS .....</b>	<b>v</b>
<b>RÉSUMÉ.....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>x</b>
<b>CHAPITRE I</b>	
<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE .....</b>	<b>1</b>
1.1 Mise en contexte.....	1
1.2 Problématique.....	2
1.3 Arbustes à petits fruits .....	3
1.3.1 Stratégies de reproduction .....	3
1.3.2 Floraison et fructification.....	5
1.3.3 Pollinisation .....	7
1.3.3.1 Structure des fleurs et leurs visiteurs.....	7
1.3.3.2 Disponibilité du pollen et présence suffisante de pollinisateurs.....	9
1.3.4 Saison de croissance .....	10
1.3.5 Objectifs.....	12
1.3.6 Espèce arbustive à l'étude.....	12
1.4 Techniques expérimentales.....	13
1.4.1 Filets d'exclusions .....	13
1.4.2 Pose des senseurs de température .....	14
1.4.3 Pollinisation manuelle.....	15
1.4.4 Atteinte des objectifs .....	16
<b>CHAPITRE II</b>	
<b>POLLINISATION ET PRODUCTION DE FRUITS DU BLEUET, VACCINIUM ULIGINOSUM L. À BAKER LAKE, NUNAVUT.....</b>	<b>17</b>
Résumé.....	17
Introduction .....	18

Matériel et méthodes .....	22
Région à l'étude et sélection des sites .....	22
Conditions climatiques et phénologie de floraison.....	23
Design expérimental .....	24
Pollinisation manuelle .....	25
Échantillonnage et prise de données.....	26
Analyses statistiques.....	27
Résultats .....	28
Phénologie de floraison et productivité .....	28
Résultats intra-annuels.....	31
Discussion .....	32
Exclusion des insectes avec filets et ramets témoins.....	33
Ajout manuel de pollen.....	34
Conclusion générale.....	36
Remerciements .....	37
Références .....	38
<b>CHAPITRE III</b>	
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>43</b>
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>48</b>
<b>ANNEXE A</b>	
<b>IMPACT DES PIÈGES BOLS SUR LA PRODUCTIVITÉ DU BLEUET.....</b>	<b>57</b>
Matériel et méthodes .....	57
Protocole d'échantillonnage 2010 .....	61
Protocole d'échantillonnage 2011 .....	61
Analyses statistiques.....	61
Résultats .....	62
Saison 2010.....	62
Saison 2011.....	62
Discussion et conclusion .....	63

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
2.1	Variabilité du nombre de grains de pollen prélevés par la technique de pollinisation manuelle en juillet 2011 sur des fleurs de <i>Vaccinium uliginosum</i> , Baker Lake, Nunavut .....	26
2.2	Total de bourgeons floraux, de fruits, et productivité par ramet de <i>Vaccinium uliginosum</i> ayant reçu d'une à quatre pollinisations manuelles, Baker Lake, Nunavut, été 2011 .....	32
A.1	Nombre total de fleurs, moyenne du nombre de fleurs par ramet ( $\pm$ ET), nombre total de fruits, nombre total de ramets ayant été productifs, nombre moyen de fruits par ramet ( $\pm$ ET), et productivité par ramet (% de fleurs ayant produit un fruit $\pm$ ET) pour les traitements piège et témoin en 2010 et 2011 à Baker Lake, Nunavut.....	63

## LISTE DES FIGURES

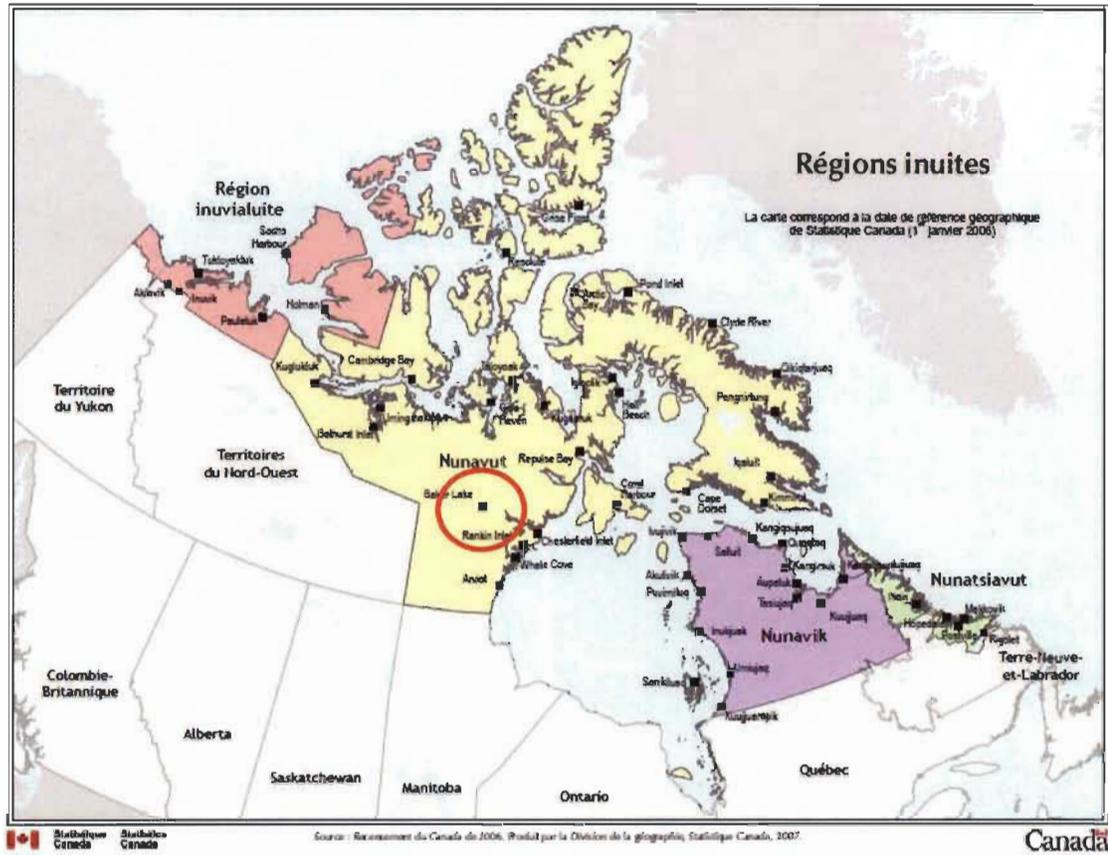
Figure		Page
1.1	Carte du Nunavut et du Nunavik, tiré de Statistique Canada (EAPA, 2008).....	2
1.2	Couvert arbustif moyen cumulé, illustrant les arbustes à petits fruits et les autres arbustes par zone de végétation, tiré de Spiech 2014.....	4
1.3	Pose d'un filet sur un ramet de <i>Vaccinium uliginosum</i> .....	13
1.4	Filet sur un ramet de <i>Vaccinium uliginosum</i> , Baker Lake, été 2010 .....	14
1.5	Senseurs de température avec entonnoir, sous filet d'exclusion pour un ramet de <i>V. uliginosum</i> à l'été 2011, Baker Lake, Nunavut .....	15
1.6	Prélèvement de pollen sur une fleur de <i>V. uliginosum</i> pour pollinisation manuelle, été 2011, Baker Lake Nunavut.....	16
2.1	Localisation des sites à l'étude autour de la communauté de Baker Lake.....	23
2.2	Variabilité saisonnière de la floraison de <i>Vaccinium uliginosum</i> (étés 2010 et 2011), et cumul des degrés-jour sans gel (zone ombragée), Baker Lake, Nunavut .....	29
2.3	Nombre de bourgeons floraux, de fruits, le poids moyen par fruit (g), ainsi que la productivité par ramet (nb de fruits × 100/nb de fleurs), de <i>Vaccinium uliginosum</i> , pour les traitements d'exclusion par filet (filet), d'ajout manuel de pollen (+ pollen), et témoin, étés 2010 et 2011, Baker Lake, Nunavut.....	30
A.1	Localisation des sites pour captures d'insectes avec des pièges bols en 2010 (A, B et C) et en 2011 (D), près de Baker Lake, Nunavut.....	58

# CHAPITRE I

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

### 1.1 Mise en contexte

Dans l'Arctique, la forte production de petits fruits est utilisée par les gens des communautés (Holloway et Alexandre, 1990; Mannik, 1990; Zutter, 2009) et est également un maillon important de la chaîne trophique (Danks, 1992; Masayuki *et al.*, 1994; Wolf *et al.*, 2008). À quel point les arbustes producteurs de petits fruits nordiques dépendent-ils des insectes pour la pollinisation? Quels sont les insectes pollinisateurs? Nous concentrons nos recherches autour de la communauté de Baker Lake, ou *Qamani'tuuq*, au Nunavut à environ 160km de la limite forestière (64°19'05''N, 96°01'03''O). Le village est à l'extrémité nord-ouest du lac Baker, près du centre géographique du Canada (Figure 1.1). La grande quantité d'insectes, leurs rôles essentiels dans la chaîne trophique (par exemple les pollinisateurs, décomposeurs, proies, vecteurs de maladies) et surtout la dépendance de leur cycle vital à la température leur confèrent un rôle de bioindicateur, dont il serait d'intérêt de faire un suivi pour mieux comprendre les modifications pouvant survenir dans un contexte de changements climatiques (Chagnon, 2008; Danks, 1992; Toullec, 2008). La productivité des arbustes à petits fruits peut-elle être perturbée par d'éventuels changements chez les populations d'insectes?



**Figure 1.1** Carte du Nunavut et du Nunavik, tiré de Statistique Canada (EAPA, 2008).  
Baker Lake est situé au centre géographique du Canada, ici encerclé.

## 1.2 Problématique

Malgré les incertitudes quant à l'amplitude des changements climatiques attendus, une chose est certaine, les régions arctiques sont parmi celles qui seront exposées au plus grand réchauffement (Høye *et al.*, 2007), et les impacts de ces changements y sont de mieux en mieux documentés (ACIA, 2005; Hinzman *et al.*, 2005; Walker *et al.*, 2005; Wolf *et al.*, 2008). Un des signaux les plus clairs et rapides des réponses biologiques à la hausse de températures à travers les biomes est le décalage et le changement dans la phénologie des espèces tant végétales qu'animales (Bégin, 2006; Stone *et al.*, 2002). Des modifications très rapides dans l'avancement de la floraison des végétaux et de l'émergence d'un large éventail d'espèces d'arthropodes ont été documentées sur

différents sites à Zackenberg, dans les écosystèmes du Haut-Arctique du Groenland, sur une période s'étendant de 1996 à 2005 (Høye et Forchhammer, 2008; Høye *et al.*, 2007). Les décalages phénologiques, ainsi que la large variabilité des réponses face aux changements de climat au sein d'une même espèce soulignent la sensibilité des interactions biologiques aux perturbations par des forces abiotiques. Les changements climatiques peuvent avoir des conséquences bouleversantes pour les écosystèmes arctiques (Aerts *et al.*, 2006; Høye *et al.*, 2007) et la structure trophique (Callaghan *et al.*, 2004). Si la production de fruits est dépendante de la pollinisation croisée, un manque de synchronie entre l'émergence des insectes pollinisateurs et la floraison pourrait limiter la pollinisation pour des arbustes à petits fruits comme *Vaccinium uliginosum* L. (bleuet ou airelle des marécages). D'autre part, une augmentation du nombre et de la diversité des pollinisateurs pourrait avoir un impact positif sur la production de fruits (Masayuki *et al.*, 2005).

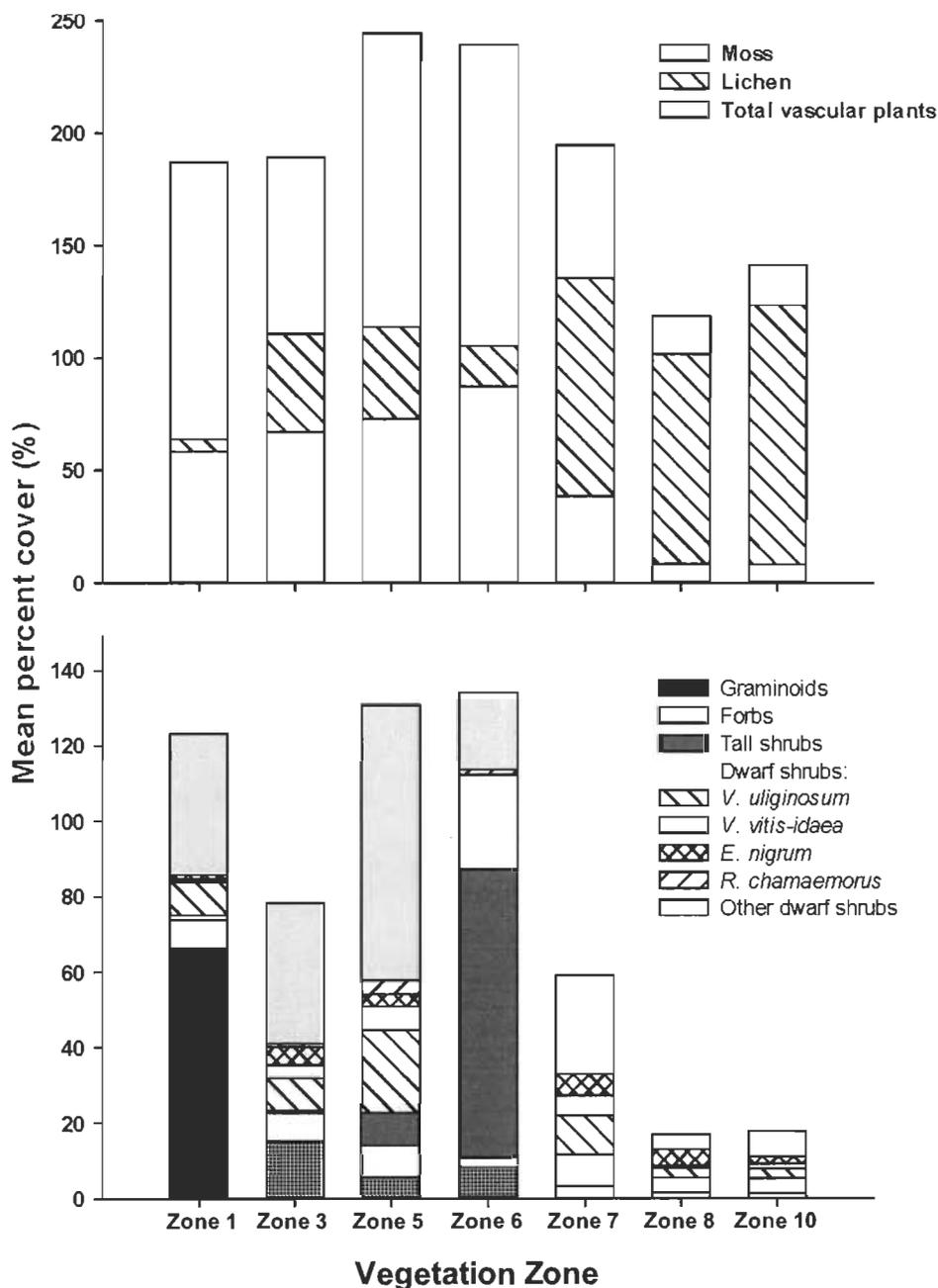
### 1.3 Arbustes à petits fruits

#### 1.3.1 Stratégies de reproduction

Les arbustes à petits fruits sont très abondants dans l'Arctique, particulièrement dans la région de Baker Lake où ils représentent un pourcentage élevé du recouvrement arbustif (de 20 à 65 %) de la majorité des secteurs de toundra arbustive (Spiech, 2014) (Figure 1.2). Ils réussissent à maintenir et étendre leurs populations, tout en assurant une diversité à l'intérieur de ces populations en utilisant trois stratégies de reproduction :

- investir dans la production de graines (reproduction sexuée);
- investir dans la propagation végétative (reproduction asexuée);
- s'approprier et utiliser l'espace « space holder » en se maintenant à long terme sur des sites (Goetz, 2006; Jaquemart, 1996).

Ces stratégies peuvent être combinées en différentes variations, et les arbustes peuvent utiliser alternativement ou simultanément ces stratégies (Goetz, 2006).



**Figure 1.2** Couvert arbustif moyen cumulé, illustrant les arbustes à petits fruits et les autres arbustes par zone de végétation, tiré de Spiech 2014.

Les espèces de *Vaccinium* dans les sites arctiques ont tendance à se propager principalement par reproduction végétative (Jaquemart, 1996), mais la majorité de ces arbustes à croissance clonale produisent également des fruits et des graines, ce qui

entraîne un compromis d'investissement des ressources entre les deux modes de reproduction (Jaquemart, 1996). Par rapport à la reproduction par semences, la production d'une descendance végétative est plus rentable énergétiquement pour la plante mère, en grande partie parce que les ramets contribuent à la production d'énergie (Fenner et Thompson, 2005). Un autre avantage est le taux de survie relativement élevé des ramets en comparaison avec les semis (Fenner et Thompson, 2005). D'autre part, la reproduction sexuée sera toujours utilisée à un moment ou l'autre, particulièrement pendant la phase de colonisation (Körner, 1999), et les arbustes produisent annuellement quantité de fruits.

En combinant les avantages des deux formes de reproduction, cela maximise le succès de reproduction avec une réponse phénotypique adaptée aux conditions du domaine climacique (Fenner et Thompson, 2005; Goetz, 2006). La reproduction végétative facilite la dominance locale d'un site par l'expansion latérale rapide, et de nombreuses espèces clonales forment des peuplements extensifs monospécifiques pouvant supplanter d'autres espèces (Fenner et Thompson, 2005). La stratégie des plantes du Bas-Arctique est d'investir dans la croissance végétative parce qu'elles se situent dans un milieu où la compétition est forte pour la lumière, les nutriments et l'eau (Aerts *et al.*, 2006). Les espèces formant des clones ont des mécanismes pour éviter la « consanguinité »; ainsi même un faible succès d'établissement de semis peut être suffisant pour éviter la dérive génétique, la domination d'un ou de quelques clones, et pour maintenir la variabilité génétique des populations de plantes clonales comme *Vaccinium uliginosum* (Albert *et al.*, 2005).

### 1.3.2 Floraison et fructification

La saison de floraison est relativement courte dans les régions arctiques. On peut tout de même distinguer trois types de régimes de floraison (Körner, 1999) :

- floraison hâtive (lors de la fonte des neiges ou juste après);
- floraison de mi-saison (au pic de la saison végétative);

- floraison tardive (après la saison de croissance maximale, ou parfois seulement une floraison prolongée).

La préformation florale est commune chez les espèces à floraison hâtive et presque toutes les espèces à floraison mi-saison. Ces plantes initient leurs inflorescences et la division cellulaire lors de la saison antérieure et parfois même deux années avant la floraison, ce qui signifie que les inflorescences sont prêtes à se développer, et la division cellulaire est presque complétée lors de la saison antérieure (Jaquemart, 1996; Körner, 1999). Les fleurs de *Vaccinium uliginosum*, entre autres, sont préformées et, lors d'expériences de réchauffement contrôlé, cet arbuste à feuillage décidu a augmenté sa production de fleurs à court terme (Suzuki et Kudo, 2000) et à moyen terme (cinq ans sous réchauffement contrôlé) (Kudo et Suzuki, 2003). Ces résultats suggèrent que l'augmentation de production de fleurs peut se maintenir sur au moins cinq ans. D'autre part, Jaquemart (1996) a documenté que suite à une bonne année de production et d'une plus grande utilisation des ressources des arbustes, on peut observer un moins grand nombre de fleurs avec la présence d'un plus grand nombre de fleurs stériles les années suivantes.

Plusieurs facteurs peuvent influencer le développement des fleurs jusqu'à maturité. La prédation (broutage), les ressources, les conditions climatiques telles que le froid, ainsi que les périodes de gel et dégel après le début de la floraison sont toutes des facteurs déterminants au développement des fleurs et peuvent provoquer l'avortement (Masayuki *et al.*, 2005). La fructification dépend aussi de la croissance des plantes et de la pollinisation des fleurs. Ce sont des processus complexes qui peuvent être affectés par une variété de facteurs environnementaux. En premier lieu, la compétition entre espèces arbustives influence la croissance et la reproduction des arbustes à petits fruits, particulièrement les espèces prostrées ou à stature réduite comme *V. uliginosum* (Jaquemart, 1996). Shevstova *et al.* (1995) ont démontré par expérimentation contrôlée que la croissance de *V. uliginosum* est en corrélation négative avec le pourcentage de couvert de *Ledum palustre*. Les plantes voisines peuvent aider ou nuire à la croissance et à la reproduction des arbustes à petits fruits (Jaquemart, 1996; Thompson *et al.*, 2004),

de même que la compétition entre les plantes pour les ressources (Gerdol *et al.*, 2000; Graglia *et al.*, 2001).

Le processus de production de fruits est influencé par divers facteurs tels l'environnement, la structure végétale environnante, la température, et dans les prochaines sections nous verrons plus en détail la pollinisation en rapport avec la structure de la fleur, la disponibilité du pollen et la saison de croissance.

### **1.3.3 Pollinisation**

#### ***1.3.3.1 Structure des fleurs et leurs visiteurs***

Dans la nature, la pollinisation de la plupart des espèces de *Vaccinium* par les abeilles est essentielle, en raison de la forme urcéolée (en forme d'urne) et pendante des fleurs, ce qui exige que les pollinisateurs s'agrippent aux fleurs et les saisissent par le bas pour obtenir le nectar, le pollen, ou les deux (Masayuki *et al.*, 2005). La couleur des fleurs serait également déterminante pour la sélection des pollinisateurs (Milius, 1999; Pont, 1993).

Chez le bleuet nain, *Vaccinium angustifolium* Aiton, les fleurs pendantes sont ouvertes vers le bas, et possèdent un stigmate en forme de cône situé au-dessous des étamines. Cette forme particulière prévient l'autofécondation et s'appelle hercogamie. Les grains de pollen glissent sur les parois lisses de ce cône et ne peuvent pas facilement atteindre la surface du stigmate, qui fait face au sol. Cette particularité de la structure de la fleur, qui n'est pas anémophile, permet difficilement la pollinisation sans insectes (Desjardins et De Oliveira, 2006) et réduit le succès des visiteurs généralistes en faveur des pollinisateurs les plus efficaces, dont les grosses espèces de pollinisateurs comme les bourdons, *Bombus spp.* (Masayuki *et al.*, 2005).

Les bourdons se reproduisent en grand nombre dans des habitats marécageux et ont probablement coévolués avec ce type de végétation (Desjardins et De Oliveira, 2006). Par conséquent, il y a une forte probabilité que l'adaptation réciproque ait fait du

bourdon un pollinisateur idéal du bleuet. Les caractéristiques physiologiques, morphologiques et comportementales du bourdon appuient cette affirmation. Sa grande fidélité à la culture du bleuet (Desjardins et De Oliveira, 2006), les capacités de pollinisation par bourdonnement, la vitesse de recherche de nourriture (Desjardins et De Oliveira, 2006; Javorek *et al.*, 2002), et la propension à déposer de grandes charges polliniques sur les stigmates ont été démontrées (Javorek *et al.*, 2002). Le bourdon fourrage dans diverses conditions météorologiques dans les bleuetières (Desjardins et De Oliveira, 2006; Stubbs et Drummond, 2001) et dans l'Arctique (Kevan et Baker, 1983). Néanmoins, ces caractéristiques ne sont encore qu'une indication potentielle de l'efficacité de pollinisation du bourdon versus l'abeille mellifère, *Apis mellifera* (Desjardins et De Oliveira, 2006; Jacquemart, 1996). L'abeille mellifère est originaire d'Europe et a été introduite en Amérique du Nord par les premières colonies européennes. De là, des populations sauvages se sont établies; elle est aujourd'hui la variété d'abeilles la plus répandue au monde où elle a colonisé presque l'ensemble des territoires (Carneiro Vital *et al.*, 2012; Chagnon, 2008; Le Conte et Navajas, 2008). Si l'abeille mellifère n'est pas l'insecte le plus efficace dans l'environnement agricole (Toullec, 2008), les coûts d'élevage plus élevés du bourdon font en sorte qu'elle reste le pollinisateur le plus fréquemment utilisé (Desjardins et De Oliveira, 2006; Stubbs et Drummond, 2001). Les agriculteurs y ont recours dans les bleuetières, où ils utilisent aussi d'autres espèces d'apoïdes pollinisatrices ayant une bonne capacité à polliniser les fleurs de formes urcéolées telles que *Megachile rotundata* (Chagnon, 2008; Desjardins et De Oliveira, 2006; Javorek *et al.*, 2002). On ne retrouve cependant pas ces pollinisateurs au-delà de la limite des arbres (Le Conte et Navajas, 2008).

Outre les abeilles et les bourdons, d'autres groupes d'insectes jouent aussi un rôle dans la pollinisation. Plusieurs recherches indiquent que les diptères (mouches) anthophiles sont susceptibles d'être des pollinisateurs importants de certaines espèces florales dans divers écosystèmes et tout particulièrement en milieux alpin et arctique (Gauthier et Bertaux 2011). Ils visitent les fleurs d'une manière persistante, en particulier celles qu'ils peuvent visiter facilement comme les fleurs ouvertes (Elberling et Olesen, 1999; Kevan, 1972).

### ***1.3.3.2 Disponibilité du pollen et présence suffisante de pollinisateurs***

Une production suffisante et la disponibilité du pollen sont nécessaires pour une pollinisation adéquate (Dogterom *et al.*, 2000; Masayuki *et al.*, 2005). La réceptivité des stigmates au pollen va également déterminer le succès de pollinisation; les stigmates de *V. angustifolium* sont réceptifs de cinq à huit jours (Dogterom *et al.*, 2000; Masayuki *et al.*, 2005). Une présence suffisante de pollinisateurs à ce moment précis est donc essentielle pour visiter les fleurs des arbustes et transférer le pollen produit (Desjardins et De Oliveira, 2006; Dogterom *et al.*, 2000; Javorek *et al.*, 2002). On peut parfois observer des interactions compétitives entre pollinisateurs envahissants (habituellement moins efficaces) et pollinisateurs endémiques pouvant causer l'exclusion de l'espèce endémique et donc avoir un effet négatif sur le succès de pollinisation (Javorek *et al.*, 2002; Thomson, 2004). Cependant, en milieux agricoles tels que les bleuetières de l'est du Canada, la production en terme de quantité et de grosseur de fruits est supérieure lorsque les champs sont visités par les abeilles domestiques (Barker *et al.*, 1964). Ce bleuets nain (*V. angustifolium*), utilisé, entre autres, au Lac St-Jean (Québec), est une plante faiblement autofertile qui a besoin de la pollinisation croisée pour produire une bonne récolte de bleuets (Desjardins et De Oliveira, 2006). L'hercogamie, l'autostérilité, et la nécessité de la pollinisation croisée entre les plants de bleuets sont les facteurs qui font que la plupart du temps, l'activité des abeilles en générale est responsable jusqu'à 80 % de la production de fruits du bleuets nain (Aras *et al.*, 1996; Desjardins et De Oliveira, 2006).

Les pratiques agricoles intensives actuelles entraînent la production d'une grande masse de fleurs homogènes fleurissant en synchronie. Cette surabondance de fleurs, combinée à une diminution de la faune d'insectes indigènes par la perte d'habitat et l'utilisation des pesticides (Desjardins et De Oliveira, 2006; Payette, 2004) réduit le rapport pollinisateur / fleurs dans la culture ainsi qu'au sein des populations voisines de plantes sauvages qui partagent les mêmes pollinisateurs (Buchmann et Nabhan, 1996). Dans ces systèmes, la communauté des pollinisateurs indigènes n'est plus suffisante, et sa densité est trop imprévisible d'une année à l'autre pour assurer une pollinisation adéquate des cultures (Desjardins et De Oliveira, 2006).

Un autre aspect important pouvant influencer la pollinisation est la taille de la population des insectes visiteurs pollinisateurs. Par exemple, la composition de la faune des pollinisateurs est souvent différente dans des sections fleuries de tailles différentes (Desjardins et De Oliveira, 2006). Dans certains cas, un tel changement de la faune peut entraîner une hausse des taux de visite par fleur dans de petites populations de plantes, et inversement dans une plus grande population de plantes. Les services de pollinisation sont également susceptibles d'être affectés et de varier en fonction de la densité et diversité d'une population végétale (Desjardins et De Oliveira, 2006). La fructification des populations naturelles de *V. uliginosum* est souvent limitée en pollen, entre autres à cause de la stochasticité des visites aux fleurs (Jacquemart, 1993); un ajout manuel de pollen augmente la production de fruits de *V. angustifolium*, *V. corymbosum*, et *V. myrtilloides* (Dogterom *et al.*, 2000; Isaacs et K.Kirk, 2010; Masayuki *et al.*, 2005).

#### 1.3.4 Saison de croissance

Les étés courts du Haut-Arctique imposent une contrainte de temps sur le cycle annuel des organismes végétaux et insectes de cette région. Les arthropodes peuvent compléter leur développement à des températures très basses et les espèces de plantes fleurissent rapidement après la fonte des neiges (Danks, 2005; Dollery *et al.*, 2006; Høye et Forchhammer, 2008). Høye et Forchhammer (2008), suggèrent que la période de la fonte des neiges est un bon prédicteur de la phénologie de la plupart des arthropodes. Les changements climatiques prédits risquent de faire décaler la phénologie de ces espèces à l'extérieur de leurs plages normales et de les exposer à des conditions auxquelles ils ne sont pas adaptés (Høye et Forchhammer, 2008).

Le climat est déterminant pour la croissance, la phénologie, ainsi que pour la répartition et les interactions intra et inter espèces (Shevstova *et al.*, 1995; Walker *et al.*, 2006; Walther, 2002). Les études en régions nord-tempérées pour la période de 1996-2005, démontrent un avancement de 2,5 jours par décennie pour les plantes Européennes, et 5,1 jours par décennie pour les animaux et l'ensemble des plantes globalement (Høye *et al.*, 2007). L'élévation de la température moyenne saisonnière

devrait, selon les prédictions, influencer à la hausse la durée de la saison de croissance; le couvert de neige devrait également diminuer selon les endroits, et la fonte des neiges devrait conséquemment être plus hâtive (Callaghan et Jonasson, 1995; Robinson *et al.*, 1998; Stone *et al.*, 2002; Wookey, 2008). Cela pourrait influencer positivement la production de fleurs et la productivité, et également la croissance végétative (Shevstova *et al.*, 1995; Suzuki et Kudo, 2000)

Walker *et al.* (2006) prévoient que les changements du climat vont entraîner une modification de la végétation, comme l'augmentation du couvert arbustif. De tels changements ont déjà été rapportés en Alaska (Tape *et al.*, 2006) et au Nunavik (Ropars et Boudreau, 2012; Tremblay *et al.*, 2012) où l'on observe une augmentation du couvert des arbustes érigés comme *Alnus sp.* et *Betula sp.* La production des arbustes à petits fruits est limitée par la lumière et les nutriments (Jaquemart, 1996) et l'augmentation du couvert par des arbustes compétitifs risque de réduire leur productivité et éventuellement de modifier leur distribution.

Selon Høye *et al.* (2007), les printemps de plus en plus hâtifs, suivis de l'émergence hâtive de divers taxons d'arthropodes, ne pourront être soutenus pendant des décennies à cause des limitations de plasticité phénotypique et génotypique. Des changements marqués de phénologie peuvent affaiblir et même interrompre les interactions trophiques entre les espèces, interactions qui sont cruciales pour une reproduction réussie dans cet environnement hautement saisonnier (Høye *et al.*, 2007). Par exemple, l'entraînement d'un décalage entre l'émergence des insectes pollinisateurs et la floraison pourrait limiter la production de fruits (Suzuki et Kudo, 2000). Dans l'Arctique canadien, les connaissances sur la diversité, l'abondance et l'écologie des espèces pollinisatrices ainsi que sur les risques associés à une modification de la saison de croissance sont encore peu développées. Conséquemment, les données présentées dans ce mémoire permettront d'approfondir les connaissances dans le domaine pour une espèce particulièrement prisée dans le Nord, *V. uliginosum*.

### 1.3.5 Objectifs

Ce projet avait comme objectifs principaux de suivre et décrire la phénologie de floraison de *Vaccinium uliginosum* à Baker Lake (Nunavut), de quantifier la production de fruits des arbustes, ainsi que de comparer les effets résultants d'une exclusion des pollinisateurs et d'un ajout manuel de pollen sur la productivité de fruits.

### 1.3.6 Espèce arbustive à l'étude

Le bleuet *Vaccinium uliginosum* L., aussi connu sous le nom d'airelle des marécages, est un membre de la famille des Éricacées présent dans toutes les régions circumboréales; c'est un arbuste vivace à feuilles décidues, généralement trouvé sur les sols acides et mal drainés des landes tourbeuses et des tourbières (Marie-Victorin, 1995). *Vaccinium uliginosum* est considéré une espèce à longue durée de vie ayant un système de reproduction mixte (végétative et sexuée), avec pollinisation par les arthropodes (Jaquemart, 1996; Javorek *et al.*, 2002). La dispersion de ses graines peut être élevée, par exemple par les oiseaux (Albert *et al.*, 2005; Jaquemart, 1996). Sa principale méthode de propagation est cependant par voie végétative souterraine, de façon horizontale par rhizomes (Albert *et al.*, 2005; Jaquemart, 1996).

Les fruits de cette espèce font entre autres partie de l'alimentation des communautés inuites et possèdent des propriétés antioxydantes au potentiel médicinal très intéressant (Black *et al.*, 2008; Fraser *et al.*, 2007; Goetz, 2006). Selon Jaquemart (1996), la productivité, ainsi que la croissance de *V. uliginosum* seraient sensibles aux changements de température. Ainsi, la période de floraison est sous un contrôle environnemental à l'intérieur d'un laps de temps restreint ayant comme facteurs les plus influents la température et la photopériode (Jaquemart, 1996; Körner, 1999).

## 1.4 Techniques expérimentales

Le projet proposé a utilisé des mesures sur le terrain décrites au chapitre II, et fera appel à deux approches expérimentales (exclusion des pollinisateurs, ajout de pollen) ainsi qu'à des mesures microclimatiques qui sont présentées dans les sections suivantes.

### 1.4.1 Filets d'exclusions

Des filets ont été utilisés pour empêcher les insectes d'atteindre les fleurs de *V. uliginosum*, et ainsi vérifier si l'autopollinisation est possible sans l'activité des insectes sur ses fleurs. Les filets ont été fabriqués avec un tulle blanc en polyester à maille de 0,5 mm. Le tissu a été cousu en double épaisseur offrant ainsi un chevauchement de mailles qui diminuait encore plus la possibilité de pénétration d'un insecte. La dimension des pochettes était d'environ 15 cm × 25 cm avec un petit ourlet autour de l'ouverture, où était inséré un cordon pour refermer solidement la pochette à la base du ramet de bleuet (Figure 1.3). Lors de l'installation des filets, s'il était trop long pour le ramet, l'extrémité était repliée et une roche y était déposée pour éviter un ballonnement au vent qui aurait pu occasionner un frottement sur les fleurs (Figure 1.4).



**Figure 1.3** Pose d'un filet sur un ramet de *Vaccinium uliginosum*. On distingue la double épaisseur de tulle, ainsi que l'ourlet avec le cordon d'attache.



**Figure 1.4** Filet sur un ramet de *Vaccinium uliginosum*, Baker Lake, été 2010. Le filet étant trop long pour le ramet, le bout a été replié avec une roche sur l'extrémité.

#### 1.4.2 Pose des senseurs de température

Pour comparer la température à l'intérieur et à l'extérieur des filets, tout en protégeant les sondes des rayons directs du soleil, de petits entonnoirs blancs ont été utilisés. Les sondes y étaient insérées puis fixées avec du ruban adhésif renforcé (gris). Pour insérer cet ensemble à l'intérieur d'un filet et son ramet, un trou devait être effectué dans le fond du filet pour être ensuite refermé à la base de l'entonnoir et du câble de la sonde (Figure 1.5) (voir autres détails au chapitre II). Les systèmes senseurs, câbles connecteurs et boîtier d'enregistrement étaient camouflés avec du lichen et de la végétation, limitant ainsi les dégâts occasionnés par des rongeurs trop curieux qui semblent particulièrement aimer gruger le recouvrement plastique des câbles ou même des rubans et drapeaux colorés utilisés pour l'identification.



**Figure 1.5** Senseurs de température avec entonnoir, sous filet d'exclusion pour un ramet de *V. uliginosum* à l'été 2011, Baker Lake, Nunavut.

### 1.4.3 Pollinisation manuelle

Pour vérifier si *V. uliginosum* est restreint par la quantité de pollen reçu pour sa production de fruits (voir chapitre II), un apport supplémentaire de pollen a été effectué manuellement selon une technique s'approchant de celle utilisée par Masayuki *et al.* (2005) sur *V. angustifolium*. Dans cette étude, ils utilisaient soit une boule de coton pour prélever le pollen et l'insérer dans une fleur réceptrice, ou un cure-dent sur lequel ils fixaient une anthère pour ensuite la frotter dans une fleur réceptrice. Une nouvelle boule de coton était utilisée pour chaque nouvelle fleur à polliniser, ou un nouveau cure-dent avec une autre anthère pour chaque nouvelle fleur à polliniser. La technique de la boule de coton était difficilement utilisable dans notre cas vu la taille et l'ouverture restreinte de la corolle des fleurs *V. uliginosum*, et les conditions environnementales difficiles autour de Baker Lake (grand vent) rendaient impraticables une manipulation délicate comme l'excision d'anthères pour ensuite les fixer à un cure-dent. Le temps qu'aurait requis une telle manipulation était également rédhibitoire dans le contexte d'une étude nordique. La méthode établie fut d'utiliser un cure-dent à bout rond pour prélever directement le pollen à l'intérieur d'une fleur donneuse pour ensuite l'insérer dans une fleur réceptrice et le frotter sur le stigmate (Figure 1.6) (voir détails chapitre II).



**Figure 1.6** Prélèvement de pollen sur une fleur de *V. uliginosum* pour pollinisation manuelle, été 2011, Baker Lake Nunavut.

#### 1.4.4 Atteinte des objectifs

Les travaux de recherche dans l'Arctique sont soumis à plusieurs difficultés et impondérables pouvant affecter les conditions de travail. Le coût des services dans ces régions éloignées est très élevé, et un plan à la fois précis, mais souple doit avoir été mis en place pour pallier à toutes les circonstances prévisibles et imprévisibles. Il faut donc pouvoir s'adapter au scénario qui se présente au jour le jour. Bien que la collecte des données de ce projet ait été dépendante d'une logistique complexe, les techniques et différentes manipulations sélectionnées ont été exécutées avec succès, permettant ainsi l'atteinte des objectifs fixés.

## CHAPITRE II

### POLLINISATION ET PRODUCTION DE FRUITS DU BLEUET, *VACCINIUM ULIGINOSUM* L. À BAKER LAKE, NUNAVUT

Sylvie Ferland\*†, Esther Lévesque†, Jade Savage ‡,

\*Correspondance : Département des sciences de l'environnement,  
Université du Québec à Trois-Rivières, C.P. 500, Trois-Rivières, Québec, Canada,  
G9A 5H7, Sylvie.Ferland@uqtr.ca

†Université du Québec à Trois-Rivières et Centre d'études nordiques

‡Bishop's University

#### Résumé

La production de fruits de *Vaccinium uliginosum* L., sous différents traitements, a été quantifiée et comparée à Baker Lake au Nunavut. Lors des étés 2010 et 2011, des ramets de bleuets (*V. uliginosum*) ont été sélectionnés et assignés aléatoirement à des traitements d'exclusion d'insectes avec filets, de pollinisation libre (témoin) et pour 2011, à un traitement d'ajout manuel de pollen. La phénologie des fleurs a été caractérisée et mise en relation avec la température et la somme de degrés-jour sans gel atteints à chaque étape du développement. Pour les deux années, les ramets soumis au traitement d'exclusion des pollinisateurs ont produit significativement moins de fruits que les ramets témoins. En 2011, la proportion de ramets produisant des fruits ainsi que le nombre total de fruits pour les ramets soumis au traitement d'ajout de pollen (65 % des ramets, 73 fruits) était significativement plus élevée que celui des traitements témoins (27 % des ramets, 12 fruits). Nos résultats indiquent que *V. uliginosum* ne peut s'autopolliniser que très rarement sans l'intervention d'insectes pollinisateurs, et qu'un apport supplémentaire de pollen augmente sa production. Ces résultats sont les premiers sur le sujet dans cette région du Nunavut, et vont contribuer à approfondir les connaissances sur les écosystèmes nordiques du Canada.

## Introduction

Dans l'Arctique, la production de petits fruits représente une ressource importante pour les communautés autochtones (Holloway et Alexandre, 1990; Mannik, 1990; Zutter, 2009). Les petits fruits sont prisés en tant qu'aliment par les Inuits et certains, comme le bleuët (*Vaccinium uliginosum* L.), possèdent des propriétés antioxydantes au potentiel médicinal intéressant (Black *et al.*, 2008; Fraser *et al.*, 2007; Goetz, 2006). Les petits fruits sont également un maillon important de la chaîne trophique (Danks, 1992; Masayuki *et al.*, 1994; Wolf *et al.*, 2008), tout particulièrement pour des espèces telles que *V. uliginosum* et *Vaccinium vitis-idaea* L. Malgré l'importance des petits fruits pour les communautés et les écosystèmes nordiques, les facteurs pouvant affecter la productivité de ces plantes lorsqu'elles sont soumises aux rudes conditions environnementales retrouvées dans l'Arctique restent peu connus.

Plus au sud, la pollinisation par les insectes joue un rôle important dans la formation des petits fruits. Par exemple, les bleuëtières de l'est du Canada utilisant le bleuët nain (*Vaccinium angustifolium* Aiton) sont plus productives en terme de quantité et de grosseur de fruits quand elles sont visitées par des insectes pollinisateurs tels que les abeilles mellifères et les bourdons (Hymenoptera : Apidae) (Aras *et al.*, 1996; Barker *et al.*, 1964; Desjardins et De Oliveira, 2006; Javorek *et al.*, 2002). Ce bleuët nain, utilisé entre autres au Lac St-Jean, Québec, est une plante faiblement autofertile qui a besoin de la pollinisation croisée pour produire une bonne récolte de bleuëts (Barker *et al.*, 1964; Desjardins et De Oliveira, 2006). L'hercogamie du bleuët nain, c'est-à-dire la présence d'un stigmate en forme de cône situé au-dessus des anthères, ainsi que son autostérilité presque complète sont des mécanismes qui favorisent l'allopollinisation (Desjardins et De Oliveira, 2006; Javorek *et al.*, 2002). Il a été observé, chez *V. angustifolium*, que cette configuration exige que les pollinisateurs s'agrippent aux fleurs par le bas pour obtenir le nectar et/ou le pollen (Masayuki *et al.*, 2005).

Les fleurs de *V. uliginosum*, tout comme celles de *V. angustifolium*, sont en forme d'urnes pendantes ouvertes vers le bas, avec hercogamie (Jaquemart, 1996), et possèdent des anthères avec pores. Ces spécificités de la fleur favorisent le succès des

pollinisateurs les plus efficaces, incluant les grosses espèces de pollinisateurs par bourdonnement comme les bourdons (*Bombus spp.*) (Javorek *et al.*, 2002; Masayuki *et al.*, 2005). Le bourdonnement est l'action d'oscillations des ailes à haute fréquence créant des ultrasons, dont les pulsations vont permettre d'extraire le pollen des anthères avec pores (King et Buchmann, 1996, 2003). Jacquemart et Thompson (1996) ont démontrées qu'en haute Ardenne, Belgique, *V. uliginosum* a la capacité de s'autoféconder, mais rarement sans l'intervention des insectes. Il a aussi été documenté que dans la forêt tempérée Ardennaise, les principaux insectes visiteurs des fleurs de *V. uliginosum* sont des bourdons, quelques abeilles (*Apis mellifera*), et certaines mouches (Diptera) (Jacquemart, 1993).

La diversité et l'abondance des hyménoptères diminuent le long d'un gradient latitudinal du sud vers le nord (Danks, 1992). La distribution de quelques espèces de bourdons s'étend vers le nord au-delà de la limite des arbres (Danks, 1992), mais leur abondance est basse comparativement à celle de plusieurs diptères anthophiles (Elberling et Olesen, 1999; Kevan, 1972). Dans la toundra arctique et alpine, les conditions climatiques extrêmes de basses températures et de forts vents peuvent restreindre le vol des insectes pollinisateurs. De ce fait, le nombre de visites aux fleurs tendra à diminuer, pouvant ainsi entraîner une limitation en pollen ayant pour effet de réduire la fructification (Heinrich, 1993; McCall et Primack, 1992; Totland, 1994). La limitation en pollen, phénomène impliquant une réduction dans le succès reproducteur d'une plante à cause d'un manque de pollen sur les stigmates, serait largement répandue chez les angiospermes (Ashman *et al.*, 2004; Burd, 1994; Larson et Barrett, 2000). La fructification des populations naturelles de *Vaccinium spp* en divers milieux est souvent limitée en pollen, fait attribuable, entre autres, à la stochasticité des visites aux fleurs par les insectes (Tuell et Isaacs, 2010), et il a été démontré, en serre (Dogterom *et al.*, 2000) autant qu'en milieu naturel (Dogterom *et al.*, 2000; Masayuki *et al.*, 2005), qu'un ajout manuel de pollen augmente la production de fruits.

Pour qu'il y ait initiation d'un fruit, un nombre suffisant d'ovules doit être fertilisé, et ce seuil est franchi lorsque le stigmate a reçu une quantité assez grande de grains de

pollen viables. Étant donné que ce ne sont pas tous les grains de pollen reçus qui atteindront un ovule, le nombre de grains optimal doit en général excéder le nombre d'ovules à fertiliser (Dogterom *et al.*, 2000). Après un dépôt initial de pollen, le stigmate demeurera réceptif 2 à 3 jours (Javorek *et al.*, 2002) tant que les tubes polliniques n'auront pas atteint les ovules pour les fertiliser, et le pollen additionnel reçu pendant la période de réceptivité donnera un plus gros fruit avec plus de graines qui aura plus de chance de se rendre à terme (Cane et Schiffhauer, 2003). Il y a cependant un point où le pollen additionnel n'aura aucun effet positif, et dépassé ce point neutre, le pollen en excès peut être néfaste à la fertilisation puisque les élongations des tubes polliniques dans le style peuvent interférer entre elles (Cane et Schiffhauer, 2003) jusqu'à créer un blocage physique (Dogterom *et al.*, 2000), et une trop grosse charge délivrée manuellement peut occasionner une obstruction du stigmate (Ashman *et al.*, 2004). Pour *V. angustifolium*, les pollinisateurs qui déposent dès la première visite une charge d'au moins 25 tétrades échouent rarement la pollinisation (Javorek *et al.*, 2002). Il est cependant possible d'engendrer un fruit avec seulement 1 tétrade de pollen et l'ajout du pollen par séquence permet de compenser pour un faible apport de pollen par visite pour des pollinisateurs moins efficaces (Javorek *et al.*, 2002). L'abeille à miel dépose en moyenne 13 tétrades par visite et il faut donc qu'il y ait plus d'une visite par cette espèce pour assurer une bonne pollinisation; le bourdon, quant à lui, dépose en moyenne 34 à 45 tétrades de pollen par visite, ce qui le rend plus efficace (Javorek *et al.*, 2002).

Outre la pollinisation, plusieurs autres facteurs tels que la température et la photopériode peuvent influencer de façon importante le développement des fleurs jusqu'à maturité et conséquemment la fructification (Arft *et al.*, 1999; Hall et Ludwig, 1961; Jaquemart, 1996; Körner, 1999). Le froid et les périodes de gel/dégel subséquentes au début de la floraison sont déterminants au développement des fleurs et des perturbations répétées peuvent provoquer l'avortement de celles-ci (Hall *et al.*, 1971; Masayuki *et al.*, 2005; Nesmith, 2012). La photopériode joue un rôle dans l'initiation des périodes de différenciation entre les bourgeons floraux et végétatifs permettant l'accomplissement du cycle de croissance annuelle. La croissance végétative se fait pendant les journées les plus longues de l'été, et les bourgeons floraux se forment

pendant les journées les plus courtes à la fin d'une saison de croissance précédente (Banados et Strik, 2006; Hall *et al.*, 1971; Pescie *et al.*, 2011). *Vaccinium uliginosum* initie les inflorescences lors de la saison antérieure et parfois même deux années avant la floraison (Jaquemart, 1996; Körner, 1999).

À Baker Lake, une communauté du Nunavut (Canada) située à environ 160 km au nord de la limite des arbres, les fleurs de *V. uliginosum* sont visitées principalement par une variété de mouches anthophiles plutôt que par des pollinisateurs plus efficaces tels que les bourdons, dont les visites sont rares (Ferland, observations personnelles; Trudel, communications personnelles); l'aire de distribution de l'abeille mellifère ne s'étend pas à cette région (Milne et Milne, 2000; Winston *et al.*, 1981). Il y a prédominance des diptères dans l'Arctique, et plus particulièrement une abondance du sous-ordre des brachycères tels que les Muscidae et les Anthomyiidae, dont plusieurs sont des pollinisateurs (Kevan 1972; Elberling 1999). Ces mouches sont des pollinisateurs primitifs et des visiteurs de fleurs généralistes (Pont, 1993), dont certaines ont un comportement particulier d'alimentation sur le nectar et/ou le pollen, avec un proboscis allongé permettant l'accès aux fleurs refermées (Elberling et Olesen, 1999). Cette relation généraliste insecte-fleur qu'entretiennent les diptères anthophiles est importante pour la pollinisation dans l'Arctique, et le fait que ces diptères soient des pollinisateurs moins efficaces est compensé par leur grand nombre et leurs visites aux fleurs fréquentes (Larson *et al.*, 2001). Malgré de rudes conditions environnementales et une prédominance de pollinisateurs généralistes et individuellement peu efficaces, *V. uliginosum* demeure assez productif pour constituer une ressource alimentaire non négligeable à Baker Lake ainsi que dans beaucoup d'autres localités nordiques.

Dans un tel contexte, la question se pose à savoir si, en milieu nordique, *V. uliginosum* est principalement autofertile, ou si, à l'instar des espèces de *Vaccinium* retrouvées en régions plus tempérées, il dépend des insectes pour la pollinisation. Les objectifs de cette étude étaient de documenter la phénologie de floraison de *V. uliginosum* à Baker Lake (Nunavut), ainsi que quantifier et comparer les effets d'une exclusion des pollinisateurs et d'un ajout manuel de pollen sur la production de fruits.

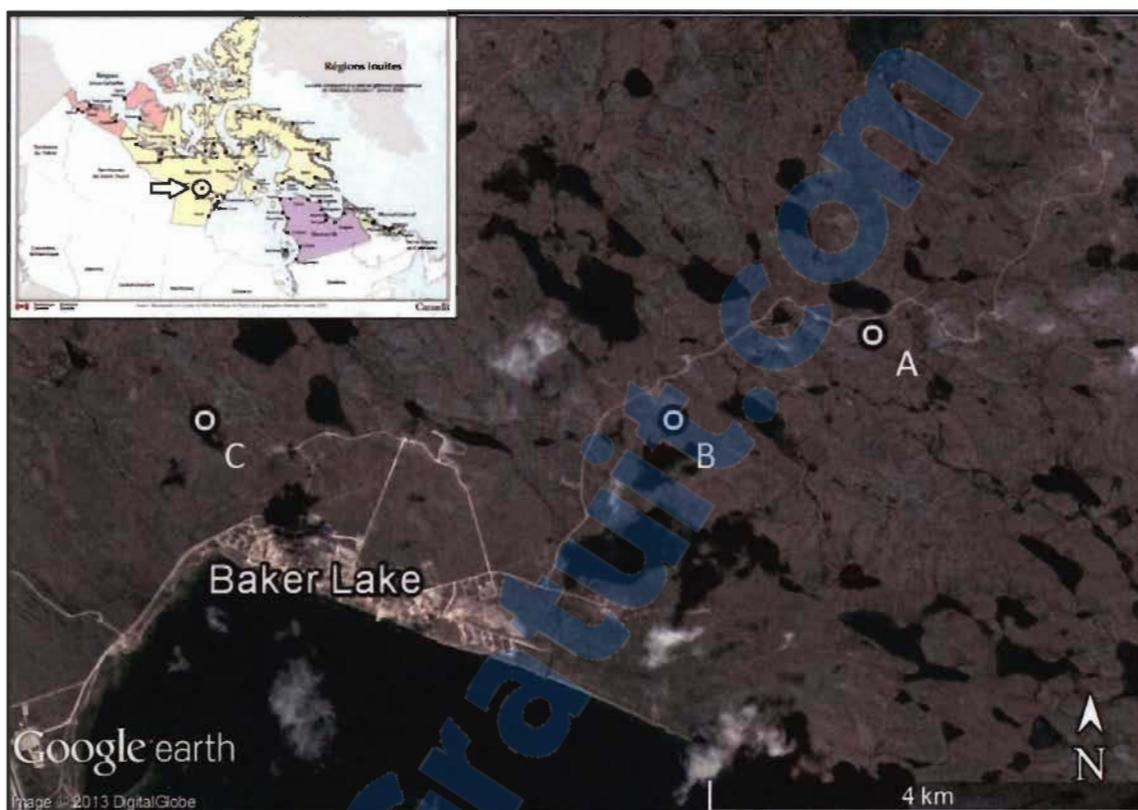
En considérant que *V. uliginosum* est une plante faiblement autofertile, (Jaquemart, 1996) mais qu'en régions arctiques ses pollinisateurs sont individuellement moins efficaces qu'à plus basse latitude, les prédictions étaient que *V. uliginosum* aurait besoin de l'activité des insectes pollinisateurs pour produire une récolte de bleuets, mais qu'un ajout manuel de pollen augmenterait considérablement le nombre de fruits produits.

## **Matériel et méthodes**

### ***Région à l'étude et sélection des sites***

Les manipulations ont été effectuées autour du village de Baker Lake, ou Qamani'tuuq (64 ° 19'05''N, 96 ° 01'03''O), au Nunavut (Canada). Cette communauté est située à l'extrémité nord-ouest du lac Baker, près du centre géographique du Canada. Les arbustes producteurs de petits fruits, incluant *V. uliginosum*, constituent une proportion importante du couvert vasculaire de la région (Spiech, 2014).

Trois sites, **A** : 64°20'15,72''N, 95°54'56,84''O; **B** : 64°19'50,88''N, 95°57'13,46''O; **C** : 64°19'50,88''N, 96°02'33,94''O, d'une superficie individuelle d'environ 7200 m<sup>2</sup> ont été sélectionnés en 2010 (Figure 2.1) et seul le site A a été retenu en 2011. Ces sites ont été choisis en fonction de leur homogénéité sur une surface de > 1 hectare et de la présence d'arbustes producteurs de petits fruits (> 30 % du couvert) dans les secteurs de végétation arbustive décrits par Spiech (2014). Les sites avaient de faibles pentes (< 5 %) et peu de couverts de roches (< 3 %). Un critère de sélection additionnel était la rapidité d'accès par véhicule tout terrain. Pour étudier le processus de fructification, 30 ramets par sites ont été sélectionnés en 2010 (total de 90 ramets) et 120 ramets ont été sélectionnés au site unique de la saison 2011. Les ramets choisis à chaque site avaient un minimum de 6 boutons floraux visibles et devaient être distancés les uns des autres par un minimum de 15 mètres pour minimiser le risque d'échantillonner un clone (Albert et al., 2005; Jaquemart, 1996). Pour marquer les ramets sélectionnés et éviter la confusion pouvant être causée par des embranchements, des étiquettes métalliques ont été fixées à la base de chaque ramet, délimitant ainsi la portion apicale à l'étude.



**Figure 2.1 Localisation des sites à l'étude autour de la communauté de Baker Lake.**  
 Les lettres A, B et C indiquent les sites utilisés à l'été 2010, seulement le site A était à l'étude en 2011.

### *Conditions climatiques et phénologie de floraison*

Une compilation des données pour la température en degrés Celsius produites par environnement Canada ([www.meteo.gc.ca](http://www.meteo.gc.ca)) a été récupérée quotidiennement pour caractériser et comparer entre elles les températures des deux années d'échantillonnage ainsi que pour les contraster avec la progression de la floraison de *V. uliginosum*. La somme des degrés-jours sans gel, mesure utilisée ici pour décrire la saison de croissance potentielle, a ainsi pu être calculée pour les mois de juin et juillet en 2010 et 2011. Les données météo ont été enregistrées à partir de la station d'Environnement Canada Baker Lake A, latitude : 64°17'56"N, longitude : 96°04'40"O, altitude : 18,60 m.

Afin de documenter la progression de la floraison de *V. uliginosum* pour les deux saisons d'échantillonnage, le nombre de bourgeons floraux, de fleurs ouvertes, et

de fleurs fanées divisées par le nombre total d'inflorescences (bourgeons + fleurs + fleurs fanées), le tout multiplié par 100, a été compilé pour 30 ramets choisis de façon aléatoire à chaque site. Ces taux ont été évalués approximativement à tous les trois jours pendant toute la durée de la floraison (26 juin au 19 juillet en 2010; 27 juin au 11 juillet en 2011); les données obtenues à chaque site ont été regroupées pour 2010.

### ***Design expérimental***

#### *Saison 2010*

Pour analyser l'effet de la pollinisation sur la production de fruits, 30 ramets à chacun des trois sites ont été assignés aléatoirement à l'un des deux traitements suivant à partir du 24 juin 2010 : traitement témoin (n = 15 ramets par site), consistant à laisser le libre accès aux insectes à toutes les fleurs; et traitement d'exclusion (n = 15 ramets par site), consistant à recouvrir chaque ramet avec un filet à mailles fines pour exclure les insectes. Les filets ont été confectionnés à partir d'une double épaisseur de tulle blanc en polyester à mailles de 0,5 mm, cousu en forme de pochettes de 15 cm × 25 cm. Les filets ont été retirés le 24 juillet 2010 lorsque les fleurs étaient entièrement fanées.

#### *Saison 2011*

En 2011, seulement un des trois sites (site A) a été réutilisé de façon similaire, mais avec l'ajout d'un traitement de surcharge de pollen afin d'en évaluer l'effet sur la production de fruits. Un total de 120 ramets ont été assignés aléatoirement à l'un des trois traitements suivants à partir du 21 juin 2011 : traitement témoin (n = 40 ramets), traitement d'exclusion (n = 40 ramets), et traitement d'ajout manuel de pollen (n = 40 ramets, voir détails plus bas). Les traitements ont été appliqués entre le 21 juin 2011 et le 13 juillet 2011. Les filets de 23 ramets ont été retirés le 13 juillet 2011, date du départ du site; les filets des 17 ramets n'ayant pas encore complété leur floraison ont été retirés lors du retour au site, le 15 août 2011.

### ***Pollinisation manuelle***

Étant donné que la période de floraison chez *V. uliginosum* peut s'étendre sur une période de 25 jours en milieu tempéré (Jacquemart, 1993), il a été déterminé que les pollinisations manuelles auraient lieu sur toutes les fleurs disponibles de chaque ramet soumis à ce traitement, et ce à plusieurs reprises selon des taux de floraison moyens (voir phénologie de floraison) d'approximativement 25 %, 50 %, 75 %, ainsi qu'en fin de floraison. Nous étions ainsi assurés de couvrir toute la période et de polliniser chaque fleur au moins une fois.

Pour polliniser les fleurs, un cure-dent à bout rond était frotté sur les anthères d'une fleur fraîche récoltée à au moins 100 mètres à l'extérieur du périmètre du site à l'étude afin de favoriser une pollinisation croisée (Jacquemart et Thompson, 1996) et ensuite frotté sur le stigmate de la fleur réceptrice. Une nouvelle fleur, ainsi qu'un cure-dent neuf étaient utilisés pour chacune des manipulations. Afin d'estimer la quantité moyenne de pollen prélevé ainsi que la variabilité dans le nombre de grains d'une manipulation à l'autre, 21 prélèvements de pollen effectués sur 21 fleurs sélectionnées de façon aléatoire ( $\geq 100$  m du site à l'étude) à quatre reprises au cours de la saison ont été déposés sur lame et comptés au microscope. La moyenne de grains de pollen transférés avec l'erreur standard (ES) a été calculée pour chaque date ainsi que pour l'ensemble des prélèvements (Tableau 2.1). Chaque manipulation permettait de déposer en moyenne  $34 \pm 7$  grains de pollen, ce qui est suffisant pour initier un fruit et peut être comparable à la charge de pollen déposé par un bourdon lors d'une visite (Cane et Schiffhauer, 2003; Javorek et al., 2002).

**Tableau 2.1**

Variabilité du nombre de grains de pollen prélevés par la technique de pollinisation manuelle en juillet 2011 sur des fleurs de *Vaccinium uliginosum*, Baker Lake, Nunavut

Date juillet 2011	Nombre de prélèvements au cure-dents	Grains de pollen/prélèvement (moyenne ± ES)
1	6	16,5 ± 5,3
8	5	22,4 ± 3,6
10	6	69,8 ± 17,4
11	4	22,5 ± 6,9
Total	21	
Moyenne		34,3 ± 7,2

### *Échantillonnage et prise de données*

Pour quantifier et comparer le nombre de fruits produits par ramet, le poids moyen par fruit par ramet, et la productivité par ramet (% fruits/fleurs) sous différents traitements, des décomptes du nombre de bourgeons floraux présents sur chaque ramet sélectionné ont été effectués en début de saison avant l'application des traitements. À la fin des mois d'août 2010 et 2011, le décompte de la fructification a été fait sur chaque ramet, les fruits ont été récoltés et congelés pour le transport, pour ensuite être comptés à nouveau et pesés (0,001 g) dans les laboratoires de l'UQTR.

Afin d'évaluer l'effet des filets d'exclusion d'insectes sur le microclimat des ramets en 2010 et en 2011, des ramets supplémentaires équipés de capteurs de température ont été soumis au traitement d'exclusion des insectes avec filet, ainsi que sans filet ( $n = 4$  par traitement par année). Des capteurs de températures de type « Hobo U12 - 4 channels, Onset Computer Corporation » ont enregistré des données de température de l'air aux 15 minutes à l'intérieur et à l'extérieur de filets. Les capteurs étaient protégés des rayons directs du soleil en étant insérés à l'intérieur de petits entonnoirs en plastique blanc placés au sol, à la base des ramets, face au Nord. Les températures moyennes quotidiennes enregistrées pour les capteurs avec filets et sans filets étaient respectivement de  $15 \pm 1,9$  et  $14,9 \pm 1,8$  (moyenne °C ± écart type) en 2010

et de  $14,7 \pm 3,2$  et  $14,1 \pm 3,1$  en 2011. Les moyennes horaires quotidiennes de toute la période de floraison ont été comparées entre les 2 traitements pour chacune des années à l'aide d'une analyse de variance avec le logiciel Systat (Systat Software, San Jose, CA). Aucune différence significative n'a été enregistrée entre les températures à l'intérieur des filets et à l'extérieur de ceux-ci pour 2010 ( $p = 0,85$ ) et 2011 ( $p = 0,96$ ).

### *Analyses statistiques*

Pour les deux années à l'étude, l'analyse préliminaire de la distribution des données (bourgeons floraux par ramet, fruits produits par ramet, poids moyen par fruits par ramet, productivité par ramet) a démontré qu'elle ne répondait pas aux exigences de normalités et d'égalités des variances, même après diverses transformations; des tests non paramétriques de Kruskal-Wallis (KW) ont donc été utilisés pour toutes les analyses subséquentes, suivis de comparaisons multiples (TCMAKW) pour les données de 2011. Toutes les analyses ont été effectuées avec le logiciel R version 2.15.0 (Cran, 2012).

#### Saison 2010

Aucune différence n'a été détectée entre les sites pour la production de boutons floraux, le nombre de fruits par ramet, le poids moyen par fruit par ramet, et la productivité pour les ramets témoins (Kruskal-Wallis : KW  $\chi^2 = 0.73$ ,  $p = 0.69$ ; KW  $\chi^2 = 0.28$ ,  $p = 0.59$ ; KW  $\chi^2 = 0.98$ ,  $p = 0.61$ ; KW  $\chi^2 = 1.09$ ,  $p = 0.57$ , respectivement). L'analyse de l'influence des deux traitements (contrôle vs exclusion) sur ces paramètres a donc été effectuée sur les données regroupées. Une comparaison du nombre de bourgeons floraux produits par ramet en début d'été (avant l'application des traitements) pour les ramets soumis aux différents traitements expérimentaux a aussi été effectuée sur les données regroupées pour chacune des deux années de façon à déterminer si la condition originale des ramets sélectionnés pour chacun des traitements était similaire.

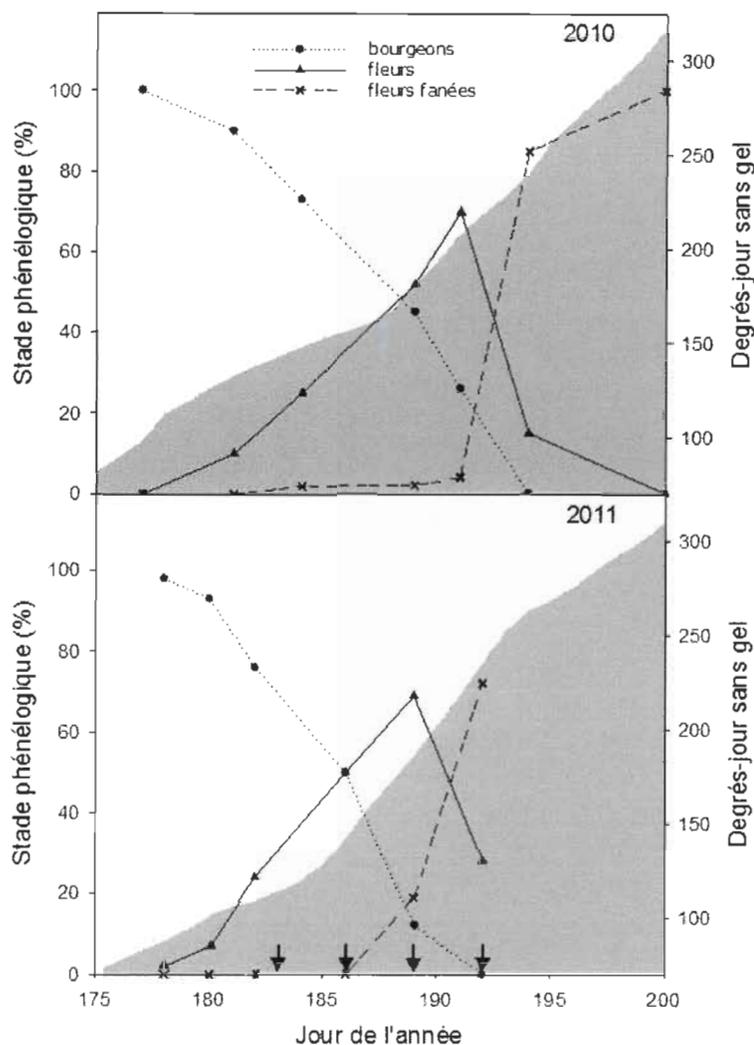
### Saison 2011

L'analyse de l'influence des trois traitements (contrôle, exclusion, ajout de pollen) sur la production de boutons floraux, le nombre de fruits par ramet, le poids moyen par fruit par ramet, et la productivité par ramet a été effectuée sur les données provenant du seul site à l'étude (site A). Tout comme en 2010, une comparaison du nombre de bourgeon floraux produits par ramet en début d'été (avant l'application des traitements) pour les ramets soumis aux différents traitements expérimentaux a aussi été effectuée de façon à déterminer si la condition originale des ramets sélectionnés pour chacun des traitements était similaire.

## **Résultats**

### ***Phénologie de floraison et productivité***

Les températures moyennes estivales des années 2010 et 2011 étaient comparables à la moyenne estivale de 1990 à 2005 (Levasseur, 2007). Les mois de juillet de ces 15 années à l'étude avaient une moyenne avec écart-type de  $11,4\text{ °C} \pm 1,7$  et une moyenne des degrés-jour sans gel atteints (DJSG) de  $541 \pm 70,2$ . Les mois de juillet de 2010 et 2011 ont enregistré une moyenne de  $11,5\text{ °C} \pm 4$  et  $11,5\text{ °C} \pm 4,1$  et atteint respectivement un maximum de 488 et 462 DJSG. À partir du 1<sup>er</sup> juin, des périodes avec des températures sous zéro ont été enregistrées pendant 12 jours consécutifs en 2010 (de  $-5,9\text{ °C}$  à  $-0,3\text{ °C}$ ) et 7 jours consécutifs en 2011 (de  $-4,7\text{ °C}$  à  $-1,4\text{ °C}$ ). Dans les deux cas, ces périodes se sont produites avant le début de la floraison. La somme des DJSG atteints à la fin de la floraison (autour du 19 juillet) était de 316 en 2010, et de 308 en 2011 (Figure 2.2).

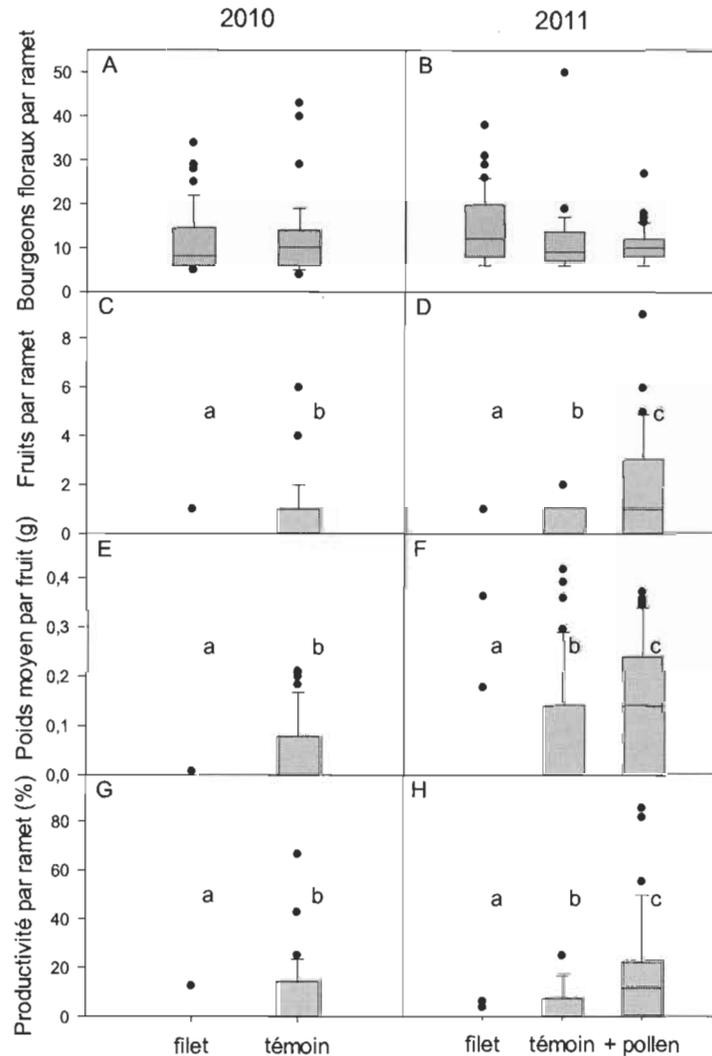


**Figure 2.2 Variabilité saisonnière de la floraison de *Vaccinium uliginosum* (étés 2010 et 2011), et cumul des degrés-jour sans gel (zone ombragée), Baker Lake, Nunavut.**

Les flèches indiquent les jours où les manipulations d'ajout manuel de pollen ont eu lieu (2, 5, 8 et 11 juillet 2011).

La floraison de *Vaccinium uliginosum* à Baker Lake, Nunavut, a duré environ 20 jours pour les deux années à l'étude, débutant à la fin juin, et se terminant vers la mi-juillet (Figure 2.2). Le pic de floraison 2010 a été enregistré le 10 juillet et celui de 2011 le 8 juillet, ce qui dans les deux cas coïncide à environ 200 DJSG (Figure 2.2). Le nombre de bourgeons floraux produits par ramet en début de saison (tout traitement confondu) était hautement variable, s'étalant de 6 à 43 en 2010 et de 6 à 50 en 2011. Chez les ramets témoins, 42 % (2010) et 27,5 % (2011) ont produit des fruits, mais

seulement 6 % (2010) et 2,6 % (2011) des fleurs de ces ramets témoins ont donné un fruit (32 fruits en 2010, 12 fruits en 2011) (Figure 2.3).



**Figure 2.3** Nombre de bourgeons floraux, de fruits, le poids moyen par fruit (g), ainsi que la productivité par ramet (nb de fruits  $\times$  100/nb de fleurs), de *Vaccinium uliginosum*, pour les traitements d'exclusion par filet (filet), d'ajout manuel de pollen (+ pollen), et témoin, étés 2010 et 2011, Baker Lake, Nunavut.

Le trait horizontal représente la médiane, la boîte le 25<sup>e</sup> et 75<sup>e</sup> percentile, la barre d'erreur le 10<sup>e</sup> et le 90<sup>e</sup> percentile, les points individuels représentent les valeurs extrêmes. Les lettres (a, b, c) indiquent les différences significatives.

### ***Résultats intra-annuels***

Aucune différence n'a été détectée dans le nombre total de bourgeons floraux présents par ramet en début d'été entre les différents traitements à l'intérieur de chacune des années (Figure 2.3 A et B; 2010 : KW  $\chi^2 = 0,08$ , dl = 1, p = 0,77, 2011 : KW  $\chi^2 = 3,69$ , dl = 2, p = 0,16).

#### *Saison 2010*

Les ramets soumis au traitement d'exclusion par filet ont produit moins (1 fruit) que les ramets témoins (32 fruits) (Figure 2.3 C; KW  $\chi^2 = 20,64$ , dl = 1, p < 0,005). Le poids (0,01 g) pour le fruit était plus faible pour le ramet soumis au traitement d'exclusion que la moyenne de ceux sous-traitement témoin (0,10 g) (Figure 2.3 E; KW  $\chi^2 = 22,16$ , dl = 1, p < 0,005). La productivité (% de fruits/fleurs) par ramet soumis au traitement d'exclusion (0,19 %) a aussi été plus faible que la productivité des ramets témoins (6 %) (Figure 2.3 G; KW  $\chi^2 = 24,07$ , dl = 1, p < 0,005).

#### *Saison 2011*

Les ramets soumis au traitement d'exclusion ont produit significativement moins de fruits par ramet (2 fruits) par rapport aux ramets témoins (12 fruits) (Figure 2.3 D; KW  $\chi^2 = 7,41$ , dl = 1, p = 0,006). Le poids moyen par fruit (0,24 g) était plus faible pour les ramets soumis au traitement d'exclusion que pour ceux des ramets témoin (1,28 g) (Figure 2.3 F; KW  $\chi^2 = 7,11$ , dl = 1, p = 0,007). La productivité par ramet soumis au traitement d'exclusion (0,35 %) a aussi été plus faible que celle des ramets témoins (2 %) (Figure 2.3 H; KW  $\chi^2 = 6,8$ , dl = 1, p = 0,009).

Les ramets soumis au traitement d'ajout de pollen comparés à ceux soumis aux autres traitements ont produit significativement plus de fruits par ramet (73 fruits) (Figure 2.3 D; KW  $\chi^2 = 38,96$ , dl = 2, p < 0,005). Ils avaient un poids moyen par fruit par ramet plus élevé (1,63 g) (Figure 2.3 F; KW  $\chi^2 = 29,27$ , dl = 2, p = < 0,005), et une productivité en pourcentage par ramet supérieure (17 %) (Figure 2.3 H;

KW  $\chi^2 = 33,18$ ,  $dl = 2$ ,  $p < 0,005$ ). Au total, 65 % des ramets soumis au traitement d'ajout de pollen ont produit des fruits, comparativement à 14 % des ramets témoin; ces derniers ont aussi produit, au total, 6 fois moins de bleuets que les ramets pollinisés manuellement.

Les 40 ramets soumis au traitement de pollinisation manuelle avaient en moyenne 10,7 fleurs par ramet pour un total de 428 fleurs pollinisées (Tableau 2.2). À chaque visite, toutes les fleurs ouvertes d'un ramet étaient pollinisées, ce qui implique que certaines fleurs ont pu être pollinisées plus d'une fois. Le nombre de pollinisations par ramet varie de 1 à 4 (Tableau 2.2), mais cette variation ne semble pas avoir eu d'effet sur le nombre de fruits produit (KW  $\chi^2 = 3,08$ ,  $dl = 3$ ,  $p = 0,38$ ).

**Tableau 2.2**

Total de bourgeons floraux, de fruits, et productivité par ramet de *Vaccinium uliginosum* ayant reçu d'une à quatre pollinisations manuelles, Baker Lake, Nunavut, été 2011

Nombre de pollinisations	Nb de ramets	Total de bourgeons	Total de fruits	Productivité par ramet (% de fruits/fleurs)
1	2	15	5	36,1
2	16	167	31	19,2
3	20	216	30	14,8
4	2	30	7	21,6
Total	40	428	73	
Moyenne par ramet $\pm$ ET		10,7 $\pm$ 4	1,8 $\pm$ 2	17,9 $\pm$ 21,6

## Discussion

Les fleurs de *Vaccinium uliginosum* sont de formes urcéolées avec hercogamie, et bien qu'elles puissent s'autopolliniser spontanément dans de rares occasions, leur conformation semble nécessiter l'intervention des insectes pollinisateurs pour être fécondée (Jaquemart, 1996). L'objectif principal de cette étude était de vérifier si *V. uliginosum* en milieu arctique a la capacité de s'autopolliniser sans l'intervention

d'insectes pollinisateurs, ou s'il a une dépendance aux insectes pour être pollinisé et produire des fruits au même titre que les espèces en milieu tempéré (Jacquemart et Thompson, 1996). L'objectif sous-jacent était de vérifier si *V. uliginosum* est limité par la quantité de pollen pour sa production de fruits, et quantifier si un apport supplémentaire de pollen augmente la production.

### ***Exclusion des insectes avec filets et ramets témoins***

Les résultats d'expérimentations de Jacquemart et Thompson (1996) en Belgique ont démontré que la productivité (% fruits/fleurs) de *V. uliginosum* en forêt tempérée était significativement plus faible pour les traitements avec filets d'exclusion d'insectes (9 %) par rapport aux témoins (72 %). Ceci indique qu'en Belgique, *V. uliginosum* a une faible capacité d'autofécondation. Pour les deux années à Baker Lake, la démarcation était nette entre le traitement d'exclusion par filets et les témoins laissés à la libre pollinisation. Les ramets privés de l'activité des insectes ont démontré une capacité presque nulle à s'autopolliniser, ce qui indique que tout comme en Belgique, les fleurs du bleuet de Baker Lake ont besoin d'être pollinisées par des insectes pour produire des fruits. Cependant, la productivité de 2010 et 2011 des ramets de Baker Lake sous filets (0,19 %, 0,35 %) et témoins (6 %, 2 %) était beaucoup plus basse que les valeurs de 9 % (filets) et 72 % (témoins) rapportées pour la Belgique (Jacquemart et Thompson (1996).

Le climat plus doux, la végétation plus luxuriante, les pollinisateurs plus abondants et diversifiés sont des facteurs pouvant expliquer la différence de productivité entre les bleuets de Belgique et Baker Lake. Il est aussi intéressant de noter que les arbustes de *V. uliginosum* en Belgique peuvent atteindre une taille de 40 à 80 cm de hauteur (Jacquemart et Thompson, 1996), comparativement aux arbustes de Baker Lake qui sont prostrés et atteignent en moyenne 10 cm de hauteur (Ferland, observations personnelles).

On peut tenter d'expliquer la pollinisation des quelques fleurs ayant produit des fruits sous filets à Baker Lake (1 fruit/1 ramet en 2010 et 2 fruits/2 ramets en 2011) par

différentes hypothèses. Bien que peu probable parce que les filets étaient attachés très solidement à la base du ramet, un insecte a pu s'infiltrer à l'intérieur du filet et polliniser les fleurs. Il y a aussi la possibilité d'une pollinisation spontanée par autogamie des fleurs, même si cela ne se produit que dans de rares occasions (Jacquemart et Thompson, 1996). Une autre explication plausible est que le frottement du filet sur les fleurs les a pollinisées par autogamie. On ne peut exclure qu'une combinaison de ces possibilités soit responsable de la production des 3 fruits dans les différents filets. Il y a eu une production sous filets plus élevée qu'à Baker Lake dans le cas de l'expérimentation de Jacquemart et Thompson (1996), qui a été expliquée par les raisons ci-haut mentionnées.

Comme la production de fruit des ramets témoins à Baker Lake restait tout de même relativement faible (seulement 6 % des fleurs disponibles pour la pollinisation ont produit des fruits en 2010) comparativement à la production en pollinisation libre du milieu tempéré (Jacquemart et Thompson, 1996), un traitement de supplémentation manuelle de pollen a été ajouté en 2011 pour déterminer s'il y avait une limitation en pollen occasionnant cette faible productivité dans le milieu arctique.

### *Ajout manuel de pollen*

La supplémentation de pollen a été probante avec des résultats plus élevés pour l'ensemble des paramètres testés (fruits par ramet, poids moyen par fruit, productivité par ramet), ce qui indique que la production de fruits de *V. uliginosum* est limitée par le pollen. En Belgique, l'ajout manuel de pollen augmentait le poids des fruits, le nombre de graines, mais n'augmentait pas de manière significative le nombre de fruits produits, cela même avec une pollinisation croisée. Ceci pourrait signifier que la stochasticité des visites d'insectes pollinisateurs et la faible abondance de pollinisateurs efficaces pour le bleuets dans l'Arctique limitent beaucoup plus la production naturelle que dans un milieu tempéré où ces conditions sont plus favorables. Par contre, même la supplémentation de pollen à Baker Lake n'a pas permis d'atteindre des niveaux de productivité (17 %) pouvant s'apparenter de près à celle des bleuets témoins de la Belgique (72 %).

La méthode standard de supplémentation de pollen pour estimer la limitation en pollen (telle que celle utilisée dans notre étude) est critiquée, parce qu'il est possible de confondre les effets de la qualité, versus ceux de la quantité de pollen sur la reproduction (Aizen et Harder, 2007; Ashman *et al.*, 2004; Thomson et Goodell, 2001). L'étude en Belgique (Jacquemart et Thompson, 1996) comportait des traitements supplémentaires avec des émasculations en plus du filet pour certains traitements d'ajouts de pollen, ce qui permettait d'éliminer la fertilisation par geitonogamie (pollen provenant des fleurs d'un même individu) pour ces ramets. Il est à noter que les comparaisons des résultats de la Belgique avec nos résultats ont été faites seulement entre les traitements similaires. Dans notre expérimentation, le pollen supplémenté était considéré d'aussi bonne qualité que celui reçu par les témoins parce qu'il était recueilli sur des individus différents et éloignés. Par contre, nos ramets supplémentés en pollen pouvaient aussi recevoir du pollen d'individus proches parce qu'ils étaient en pollinisation libre entre les manipulations d'ajout, et les fleurs n'étaient pas émasculées. Quant à elles, les fleurs des ramets témoins avaient possiblement plus de chance d'être pollinisées par geitonogamie, principalement dû au mode de reproduction clonale et la configuration par talle de *V. uliginosum* (Albert *et al.*, 2005; Jacquemart, 1996) en conjonction avec le mode de déplacement des insectes (Javorek *et al.*, 2002). De plus, le nombre exact de grains de pollen déposés à chaque pollinisation manuelle n'était pas connu précisément, puisqu'une extrapolation du nombre de grains par manipulation a été faite à partir de prélèvements indépendants. Par contre, la quantité estimée qui était déposée était suffisante pour fertiliser les fleurs (Cane et Schiffhauer, 2003; Javorek *et al.*, 2002).

Nos résultats montrent que les plants de bleuet du Bas-Arctique Canadien sont limités en pollen. Ces résultats pourraient s'expliquer par la faible abondance et diversité des communautés d'insectes pollinisateurs. À Baker Lake en juillet 2011, un total de 1205 heures d'observation de jour et 605 de nuit effectuées par des caméras avec prise d'images à intervalle (trois photos en rafale toutes les 30 secondes) pointées sur 13 ramets de *V. uliginosum*, ont détectés 251 visites d'insectes sur des fleurs (119 mouches, 131 de groupe indéterminé, et un unique bourdon) (Trudel, communications personnelles). Ceci sous-entend un nombre très limité de visites

d'insectes sur *V. uliginosum* à Baker Lake, particulièrement chez les bourdons. Ces observations préliminaires suggèrent que la pollinisation des plants de bleuets à Baker Lake dépend d'autres insectes que le bourdon, tels que les diptères qui sont nettement dominants dans cette région, et représentés majoritairement par le sous-ordre des brachycères (Elberling et Olesen, 1999; Kevan, 1972). Cependant, une étude similaire conduite en milieu tempéré s'impose de façon à quantifier l'écart dans le nombre de visites des pollinisateurs entre ces différents écosystèmes.

Un ajout de pollen a augmenté la productivité du bleuet à Baker Lake, mais pour déterminer si l'augmentation est plutôt due à la qualité et/ou la quantité du pollen ajouté, d'autres expérimentations plus ciblées devraient être conduites. Il est par contre important de rappeler les difficultés qu'implique une étude sur la pollinisation en milieu arctique, car en plus des contraintes d'éloignement et du climat rude, les observations d'insectes sur les fleurs se font rares.

### ***Conclusion générale***

Il est très difficile de prédire comment la survie et la production de fruits du bleuet à Baker Lake seront affectées par des changements climatiques tels que le réchauffement, la fonte printanière hâtive et des changements dans l'épaisseur du couvert de neige. Bien que l'accroissement de la fréquence des cycles de gel et de dégel durant la période hivernale est susceptible d'influencer la proportion de survie de différents insectes de même que provoquer la mortalité des tiges, retarder l'ouverture de bourgeons et ainsi réduire la productivité de certaines espèces d'arbustes (Bokhorst *et al.*, 2011; Masayuki *et al.*, 2005), un climat plus doux pourrait éventuellement permettre à un plus grand nombre d'espèces de bourdons et d'abeilles sauvages de s'établir dans la région. Même si lors d'expériences de réchauffement contrôlé sur cinq ans, *V. uliginosum* a augmenté sa production de fleurs laissant suggérer qu'une augmentation de production de fleurs peut se maintenir sur au moins cinq ans (Kudo et Suzuki, 2003; Suzuki et Kudo, 2000), il faut également tenir compte du fait que sous les conditions actuelles (du moins en milieu tempéré), suite à une bonne année de

production et d'une plus grande utilisation des ressources des arbustes, on peut observer une diminution du nombre de fleurs avec la présence d'un plus grand nombre de fleurs stériles les années suivantes (Jaquemart, 1996).

L'écologie végétale arctique reste relativement peu connue, et dans un contexte de changements climatiques rapides pouvant mener à d'importantes perturbations au sein des écosystèmes nordiques, il est crucial de documenter la phénologie de développement ainsi que les facteurs pouvant affecter la fructification de plantes à petits fruits, telles que *V. uliginosum* qui représentent un maillon important de la chaîne alimentaire et une ressource importante pour les communautés autochtones. Notre étude représente une des rares contributions en écologie végétale des petits fruits au Nunavut; nos résultats confirment la dépendance du bleuets à l'activité des pollinisateurs et pourront servir de base à l'approfondissement des connaissances sur le sujet et être utilisés dans des comparaisons avec d'autres sites comparables.

## **Remerciements**

Nous remercions la communauté de Baker Lake d'avoir si bien accueilli nos équipes de recherche, Agnico Eagle pour le soutien logistique, Susan MacIsaac et Kyle Seely pour leur hospitalité. Le travail assidu de Kathleen Chan, Camie F.-Riendeau, Vincent Lamarre, Naïm Perreault et Carmen Spiech a été essentiel sur le terrain, et les conseils de Raphaël Proulx sur le design expérimental et les statistiques furent très appréciés. Le travail de laboratoire méticuleux effectué par Laurianne Bonin a été d'une aide précieuse. Le soutien logistique et financier a été fourni par le PFSN (Programme de Formation scientifique dans le Nord), le Groupe de recherche en biologie végétale (UQTR), et les organisations suivantes : réseau des centres d'excellences ArcticNet, Centre d'études nordiques (CEN), Conseil de recherches en sciences naturelles et génie du Canada (CRSNG), International Polar Year (IPY), Bishop's University, et First Air.

## Références

- Aizen, M. A., and Harder, L. D. (2007). Expanding the Limits of the Pollen-Limitation Concept: Effects of Pollen Quantity and Quality. *Ecology* **88**, 271-281.
- Albert, T., Raspé, O., and Jacquemart, A.-L. (2005). Diversity and spatial structure of clones in *Vaccinium uliginosum* population. *Canadian Journal of Botany* **83**, 211-218.
- Aras, P., De Oliveira, D., and Savoie, L. (1996). Effect of a Honey Bee (Hymenoptera: Apidae) Gradient on the Pollination and Yield of Lowbush Blueberry. *Journal of Economic Entomology* **89**, 1080-1083.
- Arft, A. M., Walker, M. D., Gurevitch, J., Atalo, J. M., Bre-Harte, M. S., Dale, M., Diemer, M., Gugerli, F., Henry, G. H. R., Jones, M. H., Hollister, R. D., Jonsdottir, I. S., Laine, K., Levesque, E., Marion, G. M., Molau, U., Molgaard, P., Nordenhall, U., Rszhivin, V., Robinson, C. H., Starr, G., Stenstrom, A., M., S., Totland, O., Turner, P. L., Walker, L. J., Webber, P. J., Welker, J. M., and Wookey, P. A. (1999). Responses of tundra plants to experimental warming: Meta-analysis of the International Tundra Experiment. *Ecological Monographs* **69**, 491-511.
- Ashman, T., Knight, T. M., Steets, J. A., Amarasekare, P., Burd, M., Campbell, D. R., Dudash, M. R., Johnston, M. O., Mazer, S. J., Mitchell, R. J., Morgan, M. T., and Wilson, W. G. (2004). Pollen Limitation of Plant Reproduction: Ecological and Evolutionary Causes and Consequences. *Ecology* **85**, 2408-2421.
- Banados, M. P., and Strik, B. C. (2006). Manipulation of the annual growth cycle of blueberry using photoperiod. *Acta Horticulturae* **715**, 65-71.
- Barker, W. G., Hall, I. V., Aalders, L. E., and Wood, G. W. (1964). The lowbush Blueberry Industry in Eastern Canada. *Economic Botany* **18**, 357-365.
- Black, P. L., Arnason, J. T., and Cuerrier, A. (2008). Medicinal plants used by the Inuit of Qikiqtaaluk (Baffin Island, Nunavut). *Botany* **86**, 157-163.
- Bokhorst, S., Bjerke, J. W., Street, L. E., Callaghan, T. V., and Phoenix, G. K. (2011). Impacts of multiple extreme winter warming events on sub-Arctic heathland: phenology, reproduction, growth, and CO<sub>2</sub> flux responses. *Global Change Biology* **17**, 2817-2830.

- Burd, M. (1994). Bateman's Principle and Plant Reproduction: The Role of Pollen Limitation in fruit and Seed Set. *Botanical Review* **60**, 83-139.
- Cane, J. H., and Schiffhauer, D. (2003). Dose-Response Relationships between Pollination and Fruiting Refine Pollinator Comparisons for Cranberry (*Vaccinium macrocarpon* [Ericaceae]). *American Journal of Botany* **90**, 1425-1432.
- Cran (2012). The R Foundation for Statistical Computing. *Free Software Foundation Inc.*
- Danks, H. V. (1992). Arctic Insects as Indicators of Environmental Change. *Arctic* **45**, 159-166.
- Desjardins, È.-C., and De Oliveira, D. (2006). Commercial Bumble Bee *Bombus impatiens* (Hymenoptera: Apidae) as a pollinator in the lowbush blueberry (Ericaceae: Ericaceae) fields. *Journal of Economic Entomology* **99**, 443-449.
- Dogterom, M. H., Winston, M. L., and Mukai, A. (2000). Effect of pollen load size and source (self, outcross) on seed and fruit production in highbush blueberry CV. "bluecrop" (*Vaccinium corymbosum*; Ericaceae). *Botanical Society of America* **87**, 1584-1591.
- Elberling, H., and Olesen, J. M. (1999). The structure of High Latitude Plant-Flower Visitor System: The Dominance of Flies. *Ecography* **22**, 314-323.
- Fraser, M.-H., Cuerrier, A., Haddad, P. S., Arnason, J. T., Owen, P. L., and Johns, T. (2007). Medicinal plants of Cree communities (Québec, Canada): antioxidant activity of plants used to treat type 2 diabetes symptoms. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* **85**, 1200-1214.
- Goetz, P. (2006). Baies des régions arctiques, d'Amérique de Nord et d'Eurasie septentrional. *Phytothérapie* **3**, 130-135.
- Hall, I. V., Aalders, L. E., and Newberry, R. J. (1971). Frost injury to flowers and developing fruits of the low-bush blueberry as measured by impairment of fruit-set. *Nature Canada*, 1053-1057.
- Hall, I. V., and Ludwig, R. A. (1961). The Effects of Photoperiod, Temperature, and Light Intensity on the Growth of the Lowbush Blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.). *Canadian Journal of Botany* **39**, 1733-1739.

- Heinrich, B. (1993). The hot-blooded insects: strategies and mechanisms of thermoregulation. *Berlin: Springer*.
- Holloway, P. S., and Alexandre, G. (1990). Ethnobotany of the fort Yukon Region, Alaska. *Economic Botany* **44**, 214-225.
- Jacquemart, A.-L. (1993). Floral visitors of *Vaccinium* species in the High Ardennes, Belgium. *Flora* **188**, 263-273.
- Jacquemart, A.-L., and Thompson, J. D. (1996). Floral and pollination biology of three sympatric *Vaccinium* (Ericaceae) species in the Upper Ardennes, Belgique. *Canadian Journal of Botany* **74**, 210-221.
- Jaquemart, A.-L. (1996). *Vaccinium uliginosum* L. *Journal of Ecology* **84**, 771-785.
- Javorek, S. K., Mackenzie, K. E., and Vander Kloet, S. P. (2002). Comparative pollination effectiveness among bees (Hymenoptera: Apoidea) on lowbush blueberry (Ericaceae: *Vaccinium angustifolium*). *Annals of the Entomological Society of America* **95**, 345-351.
- Kevan, P. G. (1972). Insect Pollination of High Arctic Flowers. *Journal of Ecology* **60**, 831-847.
- King, M. J., and Buchmann, S. L. (1996). Sonication Dispensing of Pollen from *Solanum laciniatum* Flowers. *Functional Ecology* **10**, 449-456.
- King, M. J., and Buchmann, S. L. (2003). Floral Sonication by Bees: Mesosomal Vibration by *Bombus* and *Xylocopa*, but Not *Apis* (Hymenoptera: Apidae), Ejects Pollen from Poricidal Anthers. *Journal of the Kansas Entomological Society* **76**, 295-305.
- Körner, C. (1999). "Alpine plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystems," Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Kudo, G., and Suzuki, S. (2003). Warming effects on growth, production, and vegetation structure of alpine shrubs: a five year experiment in northern Japan. *Oecologia* **135**, 280-287.
- Larson, B. M. H., and Barrett, S. C. H. (2000). A comparative analysis of pollen limitation in flowering plants. *Biological Journal of the Linnean Society* **69**, 503-520.

- Larson, B. M. H., Kevan, P. G., and Inouye, D. W. (2001). Flies and flowers: Taxonomic diversity of anthophiles and pollinators. *Canadian Entomologist* **133**, 439-465.
- Levasseur, L.-G. (2007). Phénologie, Effort de Reproduction et Variabilité Climatique: une étude à long terme de *Dryas integrifolia* dans l'Arctique Canadien. *Mémoire, Département des Sciences de l'Environnement, Université du Québec à Trois-Rivières, Québec*, 85.
- Mannik, H., ed. (1990). "Inuit Nunamiut: Inland Inuit," pp. 1-p.252. Friesen Corporation, Altona, Manitoba, Baker Lake.
- Masayuki, U., Kakuda, Y., and Kevan, P. G. (1994). Composition and energy values of wild fruit from the boreal forest of northern Ontario. *Canadian Journal of Plant Science*, 581-587.
- Masayuki, U., Kevan, P. G., and Obbard, M. (2005). Pollination and Breeding System of Lowbush Blueberries, *Vaccinium angustifolium* Ait. and *V. myrtilloides* Michx. (Ericaceae), in the Boreal Forest. *Canadian Field-Naturalist* **119**, 48-57.
- McCall, C., and Primack, R. B. (1992). Influence of flower characteristics, weather, time of day, and season on insect visitation rates in three plant communities. *American Journal of Botany*, 434-442.
- Milne, M., and Milne, L. (2000). National Audubon Society: Field Guide to Insects and Spiders. New York, Canada: Alfred A. Knopf, Inc.
- Nesmith, D. S. (2012). Fruit Set and Berry Weight of Four Rabbiteye Blueberry Cultivars Following Exposure to Sub-Freezing Temperatures During Flowering. *International Journal of Fruit Science*, 256-260.
- Pescie, M., Lovisolo, M., DeMagistris, A., Strik, B. C., and Lopez, C. (2011). Flower bud initiation in the southern highbush blueberry cv. O'Neal occurs twice per year in the temperature conditions. *Journal of Applied Horticulture* **13**, 8-12.
- Pont, A. C. (1993). Observations on anthophilous Muscidae and other Diptera (Insecta) in Abisko National Park, Sweden. *Journal of Natural History* **27**, 631-643.
- Suzuki, S., and Kudo, G. (2000). Responses of alpine shrubs to simulated environmental change during three years in the mid-latitude mountain, northern Japan. *Ecography* **23**, 553-564.

- Systat Software, I. (San Jose, CA). Systat version 12.0. 1735 Technology Drive, Suite 430, San Jose, CA 95110 USA.
- Thomson, D., and Goodell, K. (2001). Pollen Removal and Deposition by Honeybee and Bumblebee Visitors to Apple and Almond Flowers. *Journal of Applied Ecology* **38**, 1032-1044.
- Totland, O. (1994). Influence of climate, time of day and season, and flower density on insect flower visitation in alpine Norway. *Arctic and Alpine Research*, 66-71.
- Tuell, J. K., and Isaacs, R. (2010). Weather During Bloom Affects Pollination and Yield of Highbush Blueberry. *Journal of Economic Entomology* **103**, 557-562.
- Winston, M., Dropkin, J., and Taylor, O. (1981). Demography and life history characteristics of two honey bee races (*Apis mellifera*). *Oecologia*, 407-413.
- Wolf, A., Callaghan, T. V., and Larson, K. (2008). Future changes in vegetation and ecosystem function of the Barents region. *Climatic change* **87**, 51-73.
- Zutter, C. (2009). Paleoethnobotanical Contributions to 18<sup>th</sup>- century Inuit Economy: An Example from Uivak, Labrador. *Journal of the North Atlantic Special Volume 1*, 23-32.

## CHAPITRE III

### CONCLUSION

L'Arctique est un milieu physique complexe possédant une vie animale et végétale fascinante, particulièrement sensible aux variations climatiques (ACIA, 2005; Høye *et al.*, 2007; IPEV, 2002). Les écosystèmes arctiques sont soumis à des pressions de plus en plus importantes avec les changements climatiques (ACIA, 2005; Henry *et al.*, 2012; Høye *et al.*, 2007; IPEV, 2002) et l'extension des sociétés industrialisées. Parmi les effets des changements climatiques, les scientifiques relèvent une accélération de la fonte de la calotte glaciaire et du pergélisol (GEIC, 2001, 2007; Myers-Smith *et al.*, 2012; Tape *et al.*, 2006). Le Canada possède près de 40 % du territoire arctique mondial et ce dégel précipité a pour conséquence des effets difficilement contrôlables et irréversibles sur la flore et la faune polaire, ainsi que sur la santé des communautés (Callaghan, 2005; Huntington, 2004). Plusieurs espèces arctiques ont répondu aux changements climatiques par une migration vers le nord (Callaghan, 2005). La forêt subarctique tend à remplacer le paysage de toundra ce qui entraîne des conséquences significatives sur la composition des espèces (Myers-Smith *et al.*, 2012; Tremblay *et al.*, 2012). Ces changements risquent de nuire à l'équilibre écosystémique aussi bien qu'à la pérennité des activités traditionnelles et culturelles des populations inuites telles que la récolte des petits fruits. Dans ce contexte, les interactions entre les plantes et leurs pollinisateurs pourraient être perturbées. Par exemple, si la phénologie de floraison ainsi que les activités des pollinisateurs ne subissent pas ces changements de façon synchrone, les plantes pourraient fleurir avant ou après la période d'activité saisonnière de leurs pollinisateurs (Chagnon, 2008; Penuelas *et al.*, 2002).

On observe déjà des changements majeurs dans la phénologie de floraison de plusieurs plantes à l'échelle mondiale. Primack *et al.* (2004) ont comparé les dates de floraison de plusieurs espèces entre 1885 et 2002 en se servant des spécimens d'herbier du Arnold Arboretum de Boston. Ils ont observés que les spécimens cueillis entre 1980

et 2002 étaient en fleurs 8 jours plus tôt dans la saison, comparativement aux spécimens cueillis entre 1900 et 1920. On observe ce phénomène aussi avec les cultivars agricoles, dont la floraison du trèfle blanc (*Trifolium repens*) est plus hâtive de 7,5 jours à chaque décennie depuis 1978 (Williams et Abberton, 2004). Sur différents sites à Zackenberg (Haut-Arctique), des modifications encore plus rapides dans l'avancement de la floraison des végétaux et de l'émergence de plusieurs espèces d'arthropodes ont été observées (Høye *et al.*, 2007; Høye et Forchhammer, 2008). Selon Høye et Forchhammer (2008), la période de la fonte des neiges est un bon prédicateur de la phénologie de la plupart de végétaux et des arthropodes dans l'Arctique. Et ce qui est documenté dans les écosystèmes du Haut-Arctique du Groenland, est un devancement d'en moyenne 14,6 jours de la fonte des neiges sur une période s'étendant de 1996 à 2005 (Høye *et al.*, 2007).

Les insectes pollinisateurs, de loin le groupe le plus important et diversifié des pollinisateurs (Chagnon, 2008), sont eux aussi affectés par les changements climatiques. De par leur rôle indispensable et fondamental dans la pollinisation des plantes à l'intérieur des écosystèmes naturels et agricoles, un déséquilibre pourrait défavoriser le bon fonctionnement et la stabilité de ces derniers (Kevan *et al.*, 1998). Ces insectes fournissent 80 % de la pollinisation des fleurs en général, et 35 % de notre alimentation provient directement de plantes fécondées par leurs soins (Gallai *et al.*, 2009; Klein *et al.*, 2007). Même si l'abeille domestique *Apis mellifera* reste l'insecte pollinisateur le plus connu du grand public, d'autres insectes participent de manière efficace à la pollinisation comme les Lépidoptères (papillons), les Coléoptères (scarabées, coccinelles), les Diptères (mouches), et les Hyménoptères (abeilles, bourdons, guêpes...).

Au Québec, ainsi que dans le reste du Canada atlantique, ce sont les cultures fruitières qui dépendent le plus des pollinisateurs, principalement la pomme, la fraise, la canneberge et le bleuets nains. Pour la culture de la pomme, la pollinisation par les insectes est indispensable pour obtenir une bonne récolte, car la majorité des variétés de pomme sont autostériles, d'où la nécessité d'une pollinisation croisée d'une variété à l'autre. Même si les pomiculteurs ont recours à la location de ruches d'abeilles

mellifères pour assurer la pollinisation de l'ensemble des pommiers des grands vergers, plusieurs abeilles sauvages ont été identifiées en tant que pollinisateurs importants de la pomme (Brault et De Oliveira, 1995). En 2008, pour le Québec seulement, la valeur de la production de la pomme que l'on peut imputer aux insectes pollinisateurs serait de 38,3 millions de dollars (Chagnon, 2008).

Pour la production de bleuets (*Vaccinium angustifolium* Aiton), le rendement dans les cultures extensives est dépendant de la pollinisation par les insectes, et le résultat d'une pollinisation déficiente sera une fructification réduite (Aras *et al.*, 1996). Ce sont donc les deux tiers des colonies d'abeilles mellifères qui sont louées par les agriculteurs dans le but d'augmenter leur rendement (Payette, 2004), et la valeur monétaire de la production de bleuets que l'on peut imputer aux insectes pollinisateurs dans leur ensemble serait de 23,8 millions de dollars pour 2008 (Chagnon, 2008).

Quant à elle, la culture de canneberge (*Vaccinium macrocarpon* Aiton) est en constante progression au Québec, avec de plus en plus de superficies cultivées (APCQ, 2011; Rioux, 2004). Bien que la canneberge puisse s'auto-féconder, elle est principalement pollinisée par les insectes (Cane et Schiffhauer, 2003; Evans et Spivak, 2006). Les pollinisateurs les plus efficaces de la canneberge sont les insectes qui récoltent le pollen (plutôt que le nectar), et ce pollen est plus avantageusement prélevé des anthères par l'action du bourdonnement (Cane et Schiffhauer, 2003). Les résultats de recherche effectuée au New Jersey par Cane et Schiffhauer (2003) ont démontré que le nombre de fruits produits, le poids des fruits ainsi que le nombre de graines par fruit sont supérieurs lorsque les fleurs sont pollinisées par *Bombus affinis* (un bourdon indigène), plutôt que par *Apis mellifera*, ou *Megachile rotundata* (mégachile de la luzerne), ce qui fait de ce bourdon le pollinisateur le plus efficace. Cependant, les pollinisateurs indigènes n'étant pas assez abondants pour assurer une pollinisation optimale sur les grandes surfaces cultivées, l'introduction de ruches d'abeilles mellifères est une pratique courante partout dans le monde où la culture de la canneberge est présente, de même qu'au Québec (Barette, 2001; Evans et Spivak, 2006). La valeur de la production de

canneberge imputable à l'ensemble des insectes pollinisateurs au Québec pour 2008 serait de 37,5 millions de dollars (Chagnon, 2008).

De plus, une grande proportion de la flore dans les communautés terrestres non cultivées du Canada compte sur les pollinisateurs, à différents degrés, pour leur survie. Les plantes qui bénéficient de la pollinisation peuvent servir d'abris, de nourriture et de site de reproduction pour diverses espèces animales. Les pollinisateurs assurent donc la survie de plusieurs espèces végétales et de toute la vie sauvage (oiseaux, rongeurs, mammifères) qui leur est associée. Ainsi, un manque de pollinisation peut affecter tous les maillons de la chaîne trophique (Chagnon, 2008).

Les travaux effectués à Baker Lake dans le cadre de ce mémoire mettent en évidence l'importance du rôle des pollinisateurs dans l'Arctique pour la production du bleuet (*Vaccinium uliginosum*), qui en l'absence d'activité de pollinisation ne produit que peu ou pas de fruit par ramet. Les bleuets de cette région n'ont pas atteint leur « capacité de support » en pollinisateurs, et on peut supposer que l'introduction de pollinisateurs additionnels dans le milieu augmenterait de manière significative la production de fruits. Si les espèces pollinisatrices répondent aux changements climatiques en étendant leurs aires de distributions des régions subarctiques aux régions arctiques, on pourrait voir le service de pollinisation s'intensifier. Par contre, ces mêmes changements climatiques risquent aussi de perturber la phénologie de la floraison ainsi que l'émergence des insectes, ce qui peut nuire aux interactions entre les plantes et leurs pollinisateurs (Høye et Forchhammer, 2008). Il faut aussi tenir compte que même avec une addition de pollen lors des expérimentations, pas plus de 17 % des fleurs se transforment un fruit. Alors d'autres facteurs d'influence sont à prendre en considération lorsqu'on analyse la productivité.

Les recherches dans l'Arctique exigent beaucoup de planification et de patience, et la plus grande difficulté est d'ordre logistique. Il est difficile d'effectuer des recherches dans une région aussi éloignée. Mais dans un contexte où le développement du Nord suscite dès lors l'intérêt, et fait l'objet d'une attention sans précédent de la part des divers

acteurs locaux, nationaux, et internationaux, il est essentiel d'améliorer notre compréhension des pollinisateurs, des plantes qu'ils pollinisent et de la façon dont les facteurs environnementaux influent sur ces systèmes. Il faut mettre tout en œuvre pour mieux protéger ces systèmes des répercussions des changements en cours liés à l'augmentation des populations, au développement économique, et aux modifications climatiques.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACIA (2005). Arctic Climate Assessment. *Cambridge University Press*, 1042.
- Aerts, R., Cornelissen, E., and Dorrepaal, E. (2006). Plant performance in a warmer world: General responses of plants from cold, northern biomes and the importance of winter and spring events. *Plant Ecology*, 65-77.
- Albert, T., Raspé, O., and Jacquemart, A.-L. (2005). Diversity and spatial structure of clones in *Vaccinium uliginosum* population. *Canadian Journal of Botany* **83**, 211-218.
- APCQ (2011). Association des producteurs de Canneberges du Québec. [www.producteurscanneberge.com](http://www.producteurscanneberge.com).
- Aras, P., De Oliveira, D., and Savoie, L. (1996). Effect of a Honey Bee (Hymenoptera: Apidae) Gradient on the Pollination and Yield of Lowbush Blueberry. *Journal of Economic Entomology* **89**, 1080-1083.
- Baker, S. C., and Barmuta, L. A. (2006). Evaluating spatial autocorrelation and depletion in pitfall-trap studies of environmental gradients. *Journal of Insect Conservation*, 269-276.
- Barette, 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. Université Laval, Québec
- Barker, W. G., Hall, I. V., Aalders, L. E., and Wood, G. W. (1964). The lowbush Blueberry Industry in Eastern Canada. *Economic Botany* **18**, 357-365.
- Bégin, Y. (2006). Le changement climatique en cours dans le nord du Québec. *Mémoire présenté à l'Assemblée nationale du Québec*.
- Black, P. L., Arnason, J. T., and Cuerrier, A. (2008). Medicinal plants used by the Inuit of Qikiqtaaluk (Baffin Island, Nunavut). *Botany* **86**, 157-163.
- Brault, A.-M., and De Oliveira, D. (1995). Seed number and asymmetry index of "McIntosh" apples. *HortScience* **30**, 44-46.

- Buchmann, S. L., and Nabhan, G. P. (1996). "The Forgotten Pollinators.," Island Press, Washington, D.C.
- Callaghan, T. V. (2005). Arctic tundra and polar desert ecosystems. *In* "Arctic Climate Impact Assessment", pp. 243-352. Cambridge University Press: New York.
- Callaghan, T. V., Björn, L. O., Chernov, Y., Chapin, T., Christensen, T. R., Huntley, B., Ims, R. A., Johansson, M., Jolly, D., Jonasson, S., Matveyeva, N., Panikov, N., Oechel, W. C., Shaver, G. R., and Henttonen, H. (2004). Effects on the structure of arctic ecosystems in the short- and long-term perspectives. *Ambio* **33**, 436-447.
- Callaghan, T. V., and Jonasson, S. (1995). Arctic terrestrial ecosystems and environmental change. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. **352**, 259-276.
- Cane, J. H., Minckley, R. L., and Kervin, L. J. (2000). Sampling bees (Hymenoptera: Apiformes) for pollinator community studies: pitfalls of pan-trapping. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 225-231.
- Cane, J. H., and Schiffhauer, D. (2003). Dose-Response Relationships between Pollination and Fruiting Refine Pollinator Comparisons for Cranberry (*Vaccinium macrocarpon* [Ericaceae]). *American Journal of Botany* **90**, 1425-1432.
- Carneiro Vital, M. V., Hepburn, R., Radloff, S., and Fuchs, S. (2012). Geographic Distribution of Africanized honeybees (*Apis mellifera*) Reflects Niche Characteristics of Ancestral African Subspecies. *Brazilian Journal of Nature Conservation* **10**, 184-190.
- Chagnon, M. (2008). Causes et effets du déclin mondial des pollinisateurs et les moyens d'y remédier. *Fédération Canadienne de la Faune, Bureau régional du Québec*, 75.
- Cran (2012). The R Foundation for Statistical Computing. *Free Software Foundation Inc.*
- Danks, H. V. (1992). Arctic Insects as Indicators of Environmental Change. *Arctic* **45**, 159-166.
- Danks, H. V. (2005). Key themes in the study of seasonal adaptations in insects I. Patterns of cold hardiness. *Appl. Entomol. Zool.* **41**, 1-13.

- Desjardins, È.-C., and De Oliveira, D. (2006). Commercial Bumble Bee *Bombus impatiens* (Hymenoptera: Apidae) as a pollinator in the lowbush blueberry (Ericaceae: Ericaceae) fields. *Journal of Economic Entomology* **99**, 443-449.
- Dogterom, M. H., Winston, M. L., and Mukai, A. (2000). Effect of pollen load size and source (self, outcross) on seed and fruit production in highbush blueberry CV. "bluecrop" (*Vaccinium corymbosum*; Ericaceae). *Botanical Society of America* **87**, 1584-1591.
- Dollery, R., Hodkinson, I. D., and Jonsdottir, I. S. (2006). Impact of warming and timing of snow melt on soil microarthropod assemblages associated with *Dryas*-dominated plant communities on Svalbard. *Ecography* **29**, 111-119.
- EAPA (2008). Enquête auprès des peuples autochtones et Recensement de 2006, les Inuits. Vol. no.89-637-X2008004. Statistique Canada.
- Elberling, H., and Olesen, J. M. (1999). The structure of High Latitude Plant-Flower Visitor System: The Dominance of Flies. *Ecography* **22**, 314-323.
- Evans, E. C., and Spivak, M. (2006). Effects of Honey Bee (Hymenoptera: Apidae) and Bumble Bee (Hymenoptera: Apidae) Presence on Cranberry (Ericales: Ericaceae) Pollination. *Journal of Economic Entomology* **99**, 614-620.
- Fenner, M., and Thompson, K. (2005). "The ecology of seeds," Cambridge University Press.
- Fraser, M.-H., Cuerrier, A., Haddad, P. S., Arnason, J. T., Owen, P. L., and Johns, T. (2007). Medicinal plants of Cree communities (Québec, Canada): antioxidant activity of plants used to treat type 2 diabetes symptoms. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* **85**, 1200-1214.
- Gallai, N., Salles, J.-M., Settele, J., and Vaissière, B. E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics* **68**, 810-821.
- GEIC (2001). Bilan 2001 des changements climatiques: les éléments scientifiques. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Vol. consulté en juillet 2013.
- GEIC (2007). Bilan 2007 des changements climatiques: impacts, adaptations et vulnérabilité. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Vol. consulté en juillet 2013.

- Gerdol, R., Brancaleoni, L., Menghini, M., and Marchesini, R. (2000). Response of dwarf shrubs to neighbour removal and nutrient addition and their influence on community structure in a subalpine heath. *Ecology* **88**, 256-266.
- Goetz, P. (2006). Baies des régions arctiques, d'Amérique de Nord et d'Eurasie septentrional. *Phytothérapie* **3**, 130-135.
- Graglia, E., Jonasson, S., Michelsen, A., K.Schmidt, K., Havström, M., and Gustavzsson, L. (2001). Effects of environmental perturbations on abundance of subarctic plants after three, seven and ten years of treatments. *Ecography* **24**, 5-12.
- Heinrich, B. (1993). The hot-blooded insects: strategies and mechanisms of thermoregulation. *Berlin: Springer*.
- Henry, G. H. R., Harper, K. A., Chen, W., Deslippe, J. R., Grant, R. F., Lafleur, P. M., Lévesque, E., Siciliano, S. D., and Simard, S. W. (2012). Effects of observed and experimental climate change on terrestrial ecosystems in northern Canada: results from the Canadian IPY program. *Climatic change* **115**, 207-234.
- Hinzman, L. D., Bettez, N. D., Bolton, W. R., Chapin, F. S., Dyurgerov, M. B., Fastie, C. L., Griffith, B., Hollister, R. D., Hope, A., Huntington, H. P., Jensen, A. M., Jia, G. J., Jorgenson, T., Kane, D. L., Klein, D. R., Kofinas, G., Lynch, A. H., Lloyd, A. H., McGuire, A. D., Nelson, F. E., Oechel, W. C., Osterkamp, T. E., Racine, C. H., Romanovsky, V. E., Stone, R. S., Stow, D. A., Sturm, M., Tweedie, C. E., Vourlitis, G. L., Walker, M. D., Walker, D. A., Webber, P. J., Welker, J. M., Winker, K. S., and Yoshikawa, K. (2005). Evidence and implications of recent climate change in northern Alaska and other arctic regions. *Climate Change* **72**, 251-298.
- Holloway, P. S., and Alexandre, G. (1990). Ethnobotany of the fort Yukon Region, Alaska. *Economic Botany* **44**, 214-225.
- Høye, T. T., and Forchhammer, M. C. (2008). Phenology of High-Arctic Arthropods: Effects of Climate on Spatial, Seasonal, and Inter-Annual Variation. *Advances in Ecological Research* **40**, 299-322.
- Høye, T. T., Post, E., Mølltofte, H., Schmidt, N. M., and Forchhammer, M. C. (2007). Rapid advancement of spring in the High arctic. In "Current Biology", Vol. 17, pp. 449-451.

- Huntington, H. P. (2004). The changing Arctic: Indigenous perspectives. In Centre for International climate and Environmental Research : Oslo. Vol. consulté en juillet 2012.
- Isaacs, R., and K.Kirk, A. (2010). Pollination services provided to small and large highbush blueberry fields by wild and managed bees. *Jouranal of Applied Ecology*, 841-849.
- Jacquemart, A.-L. (1993). Floral visitors of *Vaccinium* species in the High Ardennes, Belgium. *Flora* **188**, 263-273.
- Jaquemart, A.-L. (1996). *Vaccinium uliginosum* L. *Journal of Ecology* **84**, 771-785.
- Javorek, S. K., Mackenzie, K. E., and Vander Kloet, S. P. (2002). Comparative pollination effectiveness among bees (Hymenoptera: Apoidea) on lowbush blueberry (Ericaceae: *Vaccinium angustifolium*). *Annals of the Entomological Society of America* **95**, 345-351.
- Kevan, P. G. (1972). Insect Pollination of High Arctic Flowers. *Journal of Ecology* **60**, 831-847.
- Kevan, P. G., and Baker, H. G. (1983). Insects as flowers visitors and pollinators. *Annual Review of Entomology* **28**, 407-453.
- Kevan, P. G., Koopowitz, H. O., Medellin, R. P., Medellin-Morales, S. Q., and Nabhan, G. P. (1998). The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. *Conservation Biology* **12**, 8-17.
- Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., and Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society of London* **274**, 303-313.
- Körner, C. (1999). "Alpine plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystems," Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Kudo, G., and Suzuki, S. (2003). Warming effects on growth, production, and vegetation structure of alpine shrubs: a five year experiment in northern Japan. *Oecologia* **135**, 280-287.

- Le Conte, Y., and Navajas, M. (2008). Changements climatiques: impact sur les populations d'abeilles et leurs maladies. *Scientific and Technical Review of the Office International des Epizooties* **27**, 485-497.
- LPEV, I. p. f. P.-É. V. (2002). Les régions polaires, Arctiques. Vol. consulté en juillet 2013.
- Mannik, H., ed. (1990). "Inuit Nunamiut: Inland Inuit," pp. 1-p.252. Friesen Corporation, Altona, Manitoba, Baker Lake.
- Marie-Victorin, F. É. C., ed. (1995). "Flore Laurentienne." 1093 pp., Troisième édition.
- Masayuki, U., Kakuda, Y., and Kevan, P. G. (1994). Composition and energy values of wild fruit from the boreal forest of northern Ontario. *Canadian Journal of Plant Science*, 581-587.
- Masayuki, U., Kevan, P. G., and Obbard, M. (2005). Pollination and Breeding System of Lowbush Blueberries, *Vaccinium angustifolium* Ait. and *V. myrtilloides* Michx. (Ericaceae), in the Boreal Forest. *Canadian Field-Naturalist* **119**, 48-57.
- McCall, C., and Primack, R. B. (1992). Influence of flower characteristics, weather, time of day, and season on insect visitation rates in three plant communities. *American Journal of Botany*, 434-442.
- Milius, S. (1999). Color code tells bumblebees where to buzz. *Science News* **155**, 215.
- Myers-Smith, I. H., Forbes, B. C., Wilmking, M., Hallinger, M., Lantz, T., Blok, D., Tape, K. D., Macias-Fauria, M., Sass-Klaassen, U., Lévesque, E., Boudreau, S., Ropars, S., Hermanutz, L., Trant, A., Siegwart Collier, L., Weijers, S., Rozema, J., Rayback, S. A., Schmidt, N. M., Schaepman-Strub, G., Wipf, S., Rixen, C., Ménard, C. B., Venn, S., Goetz, S., Andreu-Hayles, L., Elmendorf, S., Ravolainen, V., Welker, J., Grogan, P., Epstein, H. E., and Hik, D. S. (2012). Shrub expansion in tundra ecosystems: dynamics, impacts and research priorities. *Environmental Research Letters*, 045509.
- Parsons, A. N., Welker, J. M., Wookey, P. A., Press, M. C., Callaghan, T. V., and Lee, J. A. (1994). Growth-responses of 4 sub-arctic dwarf shrubs to simulated environmental change. *Journal of Ecology* **82**, 307-318.
- Payette, A. (2004). Biodiversité et conservation des abeilles dans les bleuets. In "Colloque sur le bleuets nain semi-cultivé.", Disponible à : [www.agrireseau.qc.ca/references/](http://www.agrireseau.qc.ca/references/).

- Penuelas, J., Filella, I., and Comas, P. (2002). Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region. *Global Change Biology* **8**, 531-544.
- Pont, A. C. (1993). Observations on anthophilous Muscidae and other Diptera (Insecta) in Abisko National Park, Sweden. *Journal of Natural History* **27**, 631-643.
- Primack, D., Imbres, C., Primack, R. B., Miller-Rushing, A. J., and Del Tredici, P. (2004). Herbarium specimens demonstrate earlier flowering times in response to warming in Boston. *American Journal of Botany* **9**, 1260-1264.
- 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, C. H., Wookey, P. A., Lee, J. A., Callaghan, T. V., and Press, M. C. (1998). Plant community responses to simulated environmental change at a high arctic polar semi-desert. *Ecology* **79**, 856-866.
- Ropars, P., and Boudreau, S. (2012). Shrub expansion at the forest-tundra ecotone: spatial heterogeneity linked to local topography. *Environmental Research Letters* **7**(1): 015501.
- Saunders, M. E., and Luck, G. W. (2012). Pan trap catches of pollinator insects vary with habitat. *Australian Journal of Entomology* **52**, 106-113.
- Shevstova, A., Ojala, A., Neuvonen, S., Vieno, M., and Haukioja, E. (1995). Growth and reproduction of dwarf shrubs in a subarctic plant community: Annual variation and above-ground interactions with neighbours. *Journal of Ecology* **83**, 263-275.
- Spiech, C. (2014). Une caractérisation de la distribution des arbustes producteurs de petits fruits, ainsi qu'une évaluation sur deux années de la productivité de *Empetrum nigrum* L. et *Vaccinium vitis-idaea* L. à Baker Lake, Nunavut. *Mémoire de MSc, UQTR*, 97.
- Stone, R., Dutton, E., Harris, J., and Longenecker, D. (2002). Earlier spring snowmelt in northern Alaska as an indicator of climate change. *Journal of geophysical research-atmospheres* **107**, Art. No. 4089.
- Stubbs, C. S., and Drummond, F. A. (2001). Bees and Crop Pollination-Crisis, Crossroads, Conservation. *Entomological Society*, 156.

- Suzuki, S., and Kudo, G. (2000). Responses of alpine shrubs to simulated environmental change during three years in the mid-latitude mountain, northern Japan. *Ecography* **23**, 553-564.
- Tape, K., Sturn, M., and Racine, C. (2006). The evidence for shrub expansion in northern Alaska and the pan-Arctic. *Global Change Biology* **12**, 686-702.
- Thompson, C., Beringer, J., Chapin, F. S., and McGuire, A. D. (2004). Structural complexity and land-surface energy exchange along a gradient from arctic tundra to boreal forest. *Journal of Vegetation Science* **15**, 397-406.
- Thomson, D. (2004). Competitive Interactions Between the Invasive European honey Bee and Native Bumble Bees. *Ecology* **85**, 458-470.
- Toler, T. R., Evans, E. W., and Tepedino, V. J. (2005). Pan-trapping for bees (Hymenoptera : Apiformes) in Utah's West Desert: the importance of color diversity. *Pan-Pacific Entomologist*, 103-113.
- Totland, O. (1994). Influence of climate, time of day and season, and flower density on insect flower visitation in alpine Norway. *Arctic and Alpine Research*, 66-71.
- Toullec, A. N. K. (2008). Abeille Noire, *Apis mellifera mellifera*, Historique et Sauvegarde. *These, Doctorat Vétérinaire, École Nationale Vétérinaire d'Alfort*, 168.
- Tremblay, B., Lévesque, E., and Boudreau, S. (2012). Recent expansion of erect shrubs in the Low Arctic: evidence from Eastern Nunavik. *Environmental Research Letters*, 7(3): 035501.
- Walker, D. A., Raynolds, F. K., Daniëls, F. J. A., Einarsson, E., Elvebakk, A., Gould, W. A., Katenin, A. E., Kholod, S. S., Markon, C. J., Melnikov, E. S., Moskalenko, N. G., Talbot, S. S., Yurtsev, B. A., and team., C. (2005). The circumpolar Arctic vegetation map. *Journal of Vegetation Science* **16**, 267-282.
- Walker, M. D., Wahren, C. H., Hollister, R. D., Henry, G. H. R., Ahlquist, L. E., Alatalo, J. M., Bret-Harte, M. S., Calef, M. P., Callaghan, T. V., Carroll, A. B., Epstein, H. E., Jonsdottir, I. S., Klein, J. A., Magnusson, B., Molau, U., Oberbauer, S. F., Rewa, S. P., Robinson, C. H., Shaver, G. R., Suding, K. N., Thompson, C. C., Tolvanen, A., Totland, O., Turner, P. L., Tweedie, C. E., Webber, P. J., and Wookey, P. A. (2006). Plant community responses to experimental warming across the tundra biome. *National Academy of Sciences of the United States of America* **103**, 1342-1346.

- Walther, G. R. (2002). Plants in a warmer world. . *Perspectives in plant ecology, evolution and systematics* **6**, 169-185.
- Williams, T. A., and Abberton, M. T. (2004). Earlier flowering between 1962 and 2002 in agricultural varieties of white clover. *Oecologia* **38**, 122-126.
- Wolf, A., Callaghan, T. V., and Larson, K. (2008). Future changes in vegetation and ecosystem function of the Barents region. *Climatic change* **87**, 51-73.
- Wookey, P. A. (2008). Experimental approaches to predictiong the future of tundra plant communities. *Plant Ecology and Diversity* **1**, 299-307.
- Zutter, C. (2009). Paleoethnobotanical Contributions to 18<sup>th</sup>- century Inuit Economy: An Example from Uivak, Labrador. *Journal of the North Atlantic Special Volume 1*, 23-32.

## ANNEXE A

### IMPACT DES PIÈGES BOLS SUR LA PRODUCTIVITÉ DU BLEUET

L'échantillonnage d'insectes dans le contexte d'études scientifiques peut potentiellement entraîner un effet d'appauvrissement des populations locales (Baker et Barmuta, 2006). Dans le cadre de la présente étude, la récolte d'une grande quantité d'insectes à proximité des ramets de bleuets pourrait provoquer une baisse du nombre de visites aux fleurs par les pollinisateurs, ce qui pourrait entraîner une limitation en pollen réduisant la fructification (Heinrich, 1993; McCall et Primack, 1992; Totlet, 1994). Afin d'évaluer l'influence de la présence de pièges bols sur le succès de fructification de *Vaccinium uliginosum* à Baker Lake au Nunavut, nous avons comparé la productivité de ramets situés au centre de triades de pièges bols à celle de ramets témoins.

Notre hypothèse est que lorsque l'on restreint localement l'activité des pollinisateurs avec des pièges installés pour les capturer, la production de fruits est réduite et conséquemment les ramets au centre d'une triade de pièges bols auront une plus faible production de fruits que les ramets témoins.

#### A.1 Matériel et méthodes

La communauté de Baker Lake, ou *Qamani'tuuq*, est située à l'intérieur du territoire du Nunavut à environ 160 km de la limite forestière (64°19'05''N, 96°01'03''O). Pour déterminer si les pièges bols ont un impact négatif sur la production de fruits, trois sites ont été utilisés en 2010 (A : 64°20'15,72''N, 95°54'56,84''O, B : 64°19'50,88''N, 95°57'13,46''O, C : 64°19'50,88''N, 96°02'33,9''O), et un site à l'extrémité ouest du village en 2011 (64°18'54.85''N, 95°58'49.36''O) (Figure A.1).



**Figure A.1** Localisation des sites pour captures d’insectes avec des pièges bols en 2010 (A, B et C) et en 2011 (D), près de Baker Lake, Nunavut.

Les sites ont été sélectionnés pour la présence d’arbustes à petits fruits sur plus de 30 % du couvert végétal, et de leur uniformité sur de grands plateaux avec 1 % de pente (Figure A.2). Des ramets de bleuets (*V. uliginosum*) ont été assignés aléatoirement à un traitement « piège », consistant à placer le ramet au centre d’une triade de pièges bols, ou à un traitement témoin libre de pièges. Les ramets sélectionnés étaient distancés les uns des autres par au moins 15 mètres; cette procédure diminue la possibilité d’échantillonner un clone (Albert *et al.*, 2005; Jacquemart, 1996). Chacun des ramets avait au minimum 6 boutons floraux, et ont été marqués avec des étiquettes métalliques fixées à leurs bases (Figure A.3). Les étiquettes ont été retirées à la récolte des fruits (fin août en 2010 et 2011).



**Figure A.2** Vue générale du site pour expérimentation de l'impact des pièges bols à insectes sur la pollinisation de *Vaccinium uliginosum*, été 2011, Baker Lake, Nunavut.



**Figure A.3** Identification des ramets avec une étiquette métallique à la base, Baker Lake, Nunavut.

Des pièges bols de type « pan trap » (bols en matière plastique de marque Solo, d'une capacité de 350 ml, 4,5 cm de haut × 12,5 cm de diamètre) ont été utilisés pour le traitement piège. Ces pièges, fréquemment utilisés pour la capture d'insectes volants tels que les diptères et les hyménoptères (Cane *et al.*, 2000; Saunders et Luck, 2012; Toler *et al.*, 2005) étaient remplis d'eau savonneuse, le savon facilitant la capture d'insectes en réduisant la tension de surface de l'eau. Chaque triade de pièges comprenait un bol bleu, un blanc et un jaune disposés en triangle dans un rayon de 30 cm (Figure A.4) autour du ramet sélectionné, et ce pour toute la période de floraison. Pour quantifier et comparer la production de fruits des ramets des traitements piège et témoin, le nombre de bourgeons présents a été relevé sur chaque ramet sélectionné dès le début de la saison. À la fin des mois d'août 2010 et 2011, le décompte de la fructification a été fait pour chaque ramet et les fruits ont été récoltés et envoyés congelés à l'UQTR.



**Figure A.4 Pièges bols installés en triade.**

Les bols étaient remplis d'une eau savonneuse permettant de trapper les insectes s'y aventurant, du 21 juin au 13 juillet 2011, Baker Lake, Nunavut.

### ***Protocole d'échantillonnage 2010***

À chacun des trois sites, 10 ramets ont été soumis au traitement piège et 10 ramets au traitement témoin, pour un total de 30 ramets pièges et 30 ramets témoins. Du 29 juin au 21 juillet 2010, les pièges bols étaient actifs (remplis d'eau savonneuse) durant 24 heures consécutives par cycle de 72 heures, pour un total de 8 cycles et 192 heures d'efforts de capture par bol. Les insectes capturés ont été récoltés et entreposés par couleur de bol, pour chaque ramet piège.

### ***Protocole d'échantillonnage 2011***

Vingt-cinq ramets ont été soumis au traitement piège et 25 ramets au traitement témoin, et ce pour un seul site. Les pièges bols ont été en activité continue du 21 juin au 13 juillet 2011 (nettoyés une fois par semaine) pour un total de 528 heures d'efforts de capture par bol. Les insectes capturés n'ont pas été conservés à l'exception des bourdons.

### ***Analyses statistiques***

La distribution du nombre de fleurs et de fruits par ramet ne répondait pas aux exigences de normalité et d'égalité des variances; des tests non paramétriques de Kruskal-Wallis (KW) ont donc été effectués avec le logiciel R version 2.15.0 (Cran, 2012) pour comparer les moyennes de fleurs produites par ramet entre les deux traitements, le nombre moyen de fruits par ramet, et la productivité par ramet. Comme expliqué au chapitre II, aucune différence n'a été détectée entre les sites de 2010 pour la production de boutons floraux, le nombre de fruits par ramet, le poids moyen par fruit par ramet, et la productivité pour les ramets témoins (Kruskal-Wallis : KW  $\chi^2 = 0.73$ ,  $p = 0.69$ ; KW  $\chi^2 = 0.28$ ,  $p = 0.59$ ; KW  $\chi^2 = 0.98$ ,  $p = 0.61$ ; KW  $\chi^2 = 1.09$ ,  $p = 0.57$ , respectivement). L'analyse de l'influence des deux traitements (contrôle vs trappe) sur ces paramètres a donc été effectuée sur les données regroupées.

## Résultats

### *Saison 2010*

Aucune différence significative n'a été détectée dans le nombre total de fleurs présentes par ramet en début d'été entre les deux traitements (KW  $\chi^2 = 2,23$  dl = 1,  $p = 0,13$ ) (Tableau A.1). Les ramets témoins n'ont pas produit plus de fruits par ramet que ceux soumis au traitement piège (KW  $\chi^2 = 0,53$  dl = 1,  $p = 0,46$ ), et aucune différence significative n'a été détectée entre les deux traitements pour la productivité en pourcentage par ramet (KW  $\chi^2 = 0,99$  dl = 1,  $p = 0,31$ ) (Tableau A.1). Sur un total de 90 pièges bols représentant chacun 192 heures d'effort de capture, 10 bourdons (*Bombus* spp.) ont été capturés.

### *Saison 2011*

Aucune différence significative n'a été détectée dans le nombre total de fleurs présentes par ramet en début d'été entre les deux traitements (KW  $\chi^2 = 1,71$ , dl = 1,  $p = 0,18$ ) (Tableau A.1). Les ramets témoins n'ont pas produit plus de fruits par ramet que ceux soumis au traitement piège (KW  $\chi^2 = 1,39$ , dl = 1,  $p = 0,23$ ), et aucune différence significative n'a été détectée entre les deux traitements pour la productivité en pourcentage par ramet (KW  $\chi^2 = 1,16$ , dl = 1,  $p = 0,28$ ) (Tableau A.1). Sur un total de 75 pièges bols représentant chacun 528 heures d'effort de capture, seulement 4 bourdons ont été capturés.

**Tableau A.1**

Nombre total de fleurs, moyenne du nombre de fleurs par ramet ( $\pm$  ET), nombre total de fruits, nombre total de ramets ayant été productifs, nombre moyen de fruits par ramet ( $\pm$  ET), et productivité par ramet (% de fleurs ayant produit un fruit  $\pm$  ET) pour les traitements piège et témoin en 2010 et 2011 à Baker Lake, Nunavut

	2010		2011	
	Piège ( $n = 30$ )	Témoin ( $n = 30$ )	Piège ( $n = 25$ )	Témoin ( $n = 25$ )
Total de fleurs	367	328	252	308
Fleurs par ramet	12 $\pm$ 7	10 $\pm$ 9	10 $\pm$ 5	12 $\pm$ 7
Total de fruits	24	18	8	14
Total de ramets productifs	9	12	6	10
Fruits par ramets	0,8 $\pm$ 2	0,6 $\pm$ 0,9	0,3 $\pm$ 0,6	0,6 $\pm$ 0,8
Productivité par ramet	5,7 % $\pm$ 8,4	10 % $\pm$ 31	3,2 % $\pm$ 6,6	5,4 % $\pm$ 8,8

### Discussion et conclusion

Des études effectuées à Baker Lake pour comprendre le rôle des insectes dans la pollinisation de *Vaccinium uliginosum*, et l'impact possible que la capture d'insectes pourrait entraîner sur la production de fruits. Pendant la période d'échantillonnage 2010 (Figure A.1), une grande quantité d'insectes a été capturée à l'aide de pièges bols disposés en triades autour de ramets de *Vaccinium uliginosum*. La majorité des captures étaient des mouches (Nématocères et Brachycères), bien que 10 bourdons furent également capturés (Ferland, observations personnelles). Bien que plusieurs espèces de bourdons soient présents dans l'Arctique, ceux-ci sont peu nombreux en comparaison aux diptères (Elberling et Olesen, 1999; Kevan, 1972).

Le faible nombre d'individus récoltés par pièges bols pour les deux années de cette étude suggère une basse densité de bourdons à Baker Lake, du moins dans les habitats où le bleuets représente une forte proportion du couvert végétal. Les données de Trudel (communications personnelles), qui rapporte un seul bourdon sur plus de 250 visites d'insectes sur les fleurs de *V. uliginosum* à Baker Lake en juillet 2011 pour 1205 heures d'enregistrement de jour et 605 de nuit effectuées par des caméras avec prise d'images à

intervalle (trois photos en rafale à toutes les 30 secondes) pointées sur 13 ramets de *V. uliginosum* semblent également supporter cette hypothèse. Il est à noter qu'il avait été prévu de dénombrer et identifier non seulement les bourdons, mais tous les insectes capturés par pièges bols en 2010. Toutefois, devant la tâche colossale que représente ce travail nous avons pour l'instant mis de côté cet objectif. À l'écriture de ces lignes, les échantillons sont à l'Université Bishop's au département des sciences biologiques.

Les mouches sont nettement dominantes dans l'Arctique où les diptères pollinisateurs sont représentés majoritairement par le sous-ordre des brachycères (Elberling et Olesen, 1999; Kevan, 1972). Cette forte présence de mouches suggère qu'elles jouent un rôle important dans la pollinisation du bleuet à Baker Lake et que, dû à leur grand nombre, le prélèvement par pièges bols selon la configuration utilisée dans cette étude n'affecte pas de manière significative la productivité du bleuet. Même si ce n'est pas significatif comme différence, on dénote toutefois une productivité de bleuet à la baisse pour l'année 2011, lorsque les pièges étaient en fonction continue.

Dans un système où le pollen est limitant (voir chapitre II), l'ajout de pièges n'a pas réduit de façon significative la fructification de *V. uliginosum* à Baker Lake, Nunavut, en 2010 et 2011. Ces résultats suggèrent que l'impact des pièges bols est limité spatialement. Pour bien cerner l'effet des pièges à insectes sur la pollinisation, d'autres études du genre devraient être entreprises dans des milieux plus productifs, tels que les bleuetières du sud où les pollinisateurs sont principalement des abeilles et des bourdons.