

Les mouvements éruptifs des fringillidés boréaux

Par Samuel Denault

Department of Natural Resource Sciences
McGill University, Montreal
April 2010

A thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies and Research of McGill
University in partial fulfillments of the requirements for the degree of Master of
Science

©Samuel Denault 2010

ABSTRACT

Irruptive movements of seed-eating birds, which are opportunistic and not geographically predictable, have proven difficult to study. Researchers are constrained by their unpredictability and the large spatial scale over which they occur. Despite their unpredictability, irruptive movements of boreal seed-eating birds usually occur in the fall, but unlike normal migration, they do not occur every year. Nomadic behaviour appears to be strongly related to food abundance (seeds) which can differ by more than 100 times from a low year to a high year. Without long term data from the boreal zone, patterns have not been fully elucidated. The first objective of this project is to establish if there are correlations between seed crop production and boreal fringilid abundance. Second, we want to establish if boreal finch abundance in the boreal zone during fall can be used as a predictive tool for winter abundance in southern Quebec. Common Redpoll (*Acanthes flammea*) abundance in southern Quebec was negatively correlated with white birch (*Betula papyrifera*) seed production in the north. White-Winged Crossbill (*Loxia leucoptera*) abundance in Tadoussac was positively correlated with White Spruce (*Picea glauca*) seed production but other unknown factors appear to be implicated, especially during low and average abundance years. Pine Grosbeak (*Pinicola enucleator*) abundance at Tadoussac was negatively correlated with Balsam Fir (*Abies balsamea*) seed production while Pine Siskin (*Spinus pinus*) and Boreal Chickadee (*Poecile hudsonicus*) abundances were not correlated with seed abundance of any particular species of tree. This study fills a gap in what is known about boreal finch irruptive migration by providing a better understanding of their nomadic movements.

RÉSUMÉ

Les mouvements éruptifs des fringillidés boréaux, une occurrence opportuniste dont la dispersion géographique n'est pas prévisible, s'est avérée par le passé, difficile à étudier. En effet, les chercheurs sont contraints par son imprévisibilité et la grande échelle spatiale sur laquelle ces mouvements surviennent. Malgré un patron relativement imprévisible, les mouvements irruptifs des fringillidés boréaux surviennent normalement durant l'automne et les oiseaux reviennent au printemps. Cependant, contrairement à la migration normale des oiseaux, l'ampleur de ce type de mouvements varie énormément d'une année à l'autre, au point d'être pratiquement inexistant certaines années. Ces comportements nomadiques semblent être fortement reliés à l'abondance de la nourriture (semences d'arbres) dont la production peut fluctuer par plus de 100 fois, d'une année à l'autre. En l'absence de données consistantes provenant de la forêt boréale, ces patrons de migration n'ont pas encore été clairement élucidés. Les travaux précédents ayant exploré la relation entre la production semencière et l'abondance des fringillidés demeurent controversés alors que les conclusions sont sujettes à variation d'une étude à l'autre. Le premier objectif de cette étude est d'établir s'il existe des corrélations entre la production de semences en forêt boréale et l'abondance des fringillidés boréaux. Deuxièmement, nous voulons déterminer si l'abondance des fringillidés en zone boréale l'automne peut prédire leur abondance dans le sud du Québec l'hiver. La présence du Sizerin flammé (*Acanthes flammea*) dans le sud du Québec l'hiver est corrélée négativement avec la production de semences de bouleaux (*Betula papyrifera*) dans le nord. L'abondance du Bec-croisé bifascié (*Leuxia leucoptera*) à Tadoussac est corrélée positivement avec la production de cônes d'Épinette blanche (*Piceau glauca*) mais d'autres facteurs inconnus semblent entrer en

ligne de compte, spécialement durant les années de faibles et de moyennes abondances.

L'abondance du Durbec des sapins (*Pinicola enucleator*) à Tadoussac est corrélée négativement avec la production de cônes de Sapin baumier (*Abies balsamea*). Le Tarin des pins (*Spinus pinus*) et la Mésange à tête brune (*Poecile hudsonicus*) ne semblent pas tributaires de la production de semences d'une espèce d'arbre en particulier. Cette étude comble une lacune de ce qui est connu sur la migration éruptive des fringillidés boréaux en permettant une meilleure compréhension de leurs mouvements nomadiques.

Table des matières

ABSTRACT	i
RÉSUMÉ	ii
LISTE DES TABLEAUX	v
REMERCIEMENTS	vii
PRÉFACE	viii
Introduction et revue de la littérature	1
Mouvements éruptifs des passereaux boréaux	1
Bec-croisé bifascié (<i>Loxia leucoptera</i>)	2
Sizerin flammé (<i>Acanthes flammea</i>)	4
Tarin des pins (<i>Spinus pinus</i>)	5
Durbec des sapins (<i>Pinicola enucleator</i>)	7
Mésange à tête brune (<i>Poecile hudsonicus</i>).....	8
Facteurs influençant les mouvements de passereaux boréaux	9
Synchronie des invasions	11
Production de semences synchronisée (« masting »).....	12
Matériel et méthodes.....	14
Bases de données d’oiseaux.....	14
Bases de données sur la production de graines.....	18
Analyses statistiques	19
Résultats	20
Bec-croisé bifascié	21
Sizerin flammé	25
Tarin des pins	29
Durbec des sapins.....	31
Mésange à tête brune	33
Discussion.....	37
Bibliographie	45
Annexes (Tableaux de normalité)	50

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Nombres d'heures-personnes d'effort dans les différents RON de 1996 à 2008	17
Tableau 2. Production semencière annuelle moyenne au Lac Libéral (Lac-St-Jean) de 1996 à 2007	20
Tableau 3. Variation interannuelle du Bec-croisé bifascié.....	22
Tableau 4. Tableau de corrélation de Pearson entre la production de cônes d'Épinette blanche et la présence du Bec-croisé bifascié dans différents RON.....	24
Tableau 5. Production de cônes de l'Épinette blanche à Rivière-du-Loup 2005-2009.....	24
Tableau 6. Variation interannuelle du Sizerin flammé	26
Tableau 7. Corrélations de Pearson (R) et de Spearman (r) entre la production de graines en forêt boréale et l'abondance du Sizerin flammé à Tadoussac.....	27
Tableau 8. Corrélation de Pearson entre l'indice d'abondance du Sizerin flammé selon ÉPOQ l'hiver (1996-2008) au sud du 48ième parallèle et différents Recensements d'oiseaux de Noël (RON).....	28
Tableau 9. Variation interannuelle du Tarin des pins	30
Tableau 10. Corrélations de Pearson entre l'abondance du Tarin des pins et la production de cônes graines d'Épinette blanche de même que celles du Bouleau à papier.....	31
Tableau 13. Variation interannuelle de la Mésange à tête brune	34
Tableau 14. Corrélations de Pearson et Spearman entre l'abondance de la Mésange à tête brune à Tadoussac et la production semencière en forêt boréale	35
Tableau 15. Corrélation de Spearman entre l'abondance de la Mésange à tête brune à Tadoussac (OOT) et dans différents RON**.....	36

Tableau 17. Test de Khomogorov-Smirnov sur la distribution de la production de graines50

Tableau 19. Test de Khomogorov-Smirnov sur la distribution de l'indice d'abondance d'ÉPOQ..51

REMERCIEMENTS

J'aimerais exprimer mes plus sincères remerciements à Samuel Belleau, Pascal Côté et Bruno Drolet, tous impliqués dans L'Observatoire d'oiseaux de Tadoussac, sans lesquels ce projet n'aurait pas été possible. Ma gratitude également à mon directeur Rodger Titman et mon co-directeur, Jean-Pierre Savard qui ont su me guider et m'encourager dans ce projet. Je remercie également les différents « Birdcagers » qui m'ont donné un coup de main depuis deux ans, spécialement Marie-Anne Hudson et Dominique Chabot. Merci à Hubert Morin de l'Université du Québec à Chicoutimi et à David F. Greene de l'Université Concordia qui m'ont fourni de précieuses données sur la production de semences en forêt boréale. Finalement, merci à Jacques Larivée pour son dévouement et sa promptitude à répondre à mes requêtes sur la base de données ÉPOQ.

PRÉFACE

Cette thèse est présentée en format traditionnel. Comme il ne s'agit pas d'un manuscrit, il n'est pas nécessaire d'identifier les coauteurs ni d'obtenir la permission pour utiliser ce matériel.

Introduction et revue de la littérature

Malgré un intérêt marqué pour les éruptions de passereaux boréaux, les causes écologiques reliées à ces invasions demeurent controversées. Bock et Lepthien (1976) soutiennent que les éruptions de passereaux surviennent les années de faible production semencière alors que Widrelich et Dragula (1984) suggèrent qu'elles surviennent quand les densités d'oiseaux sont anormalement élevées suivant de bonnes années semencières. Plus récemment, les résultats de Koenig et Knops (2001) suggèrent que la production de graines en forêt boréale constitue un facteur majeur mais que d'autres facteurs pour l'instant inconnus semblent entrer en ligne de compte

En Amérique du Nord, les éruptions de passereaux boréaux surviennent généralement l'automne. Ces mouvements sont davantage associés à une migration hivernale normale qu'à du nomadisme (Newton, 2006).

Les travaux exhaustifs effectués sur ce sujet regroupent des données sur une grande échelle grâce aux Recensements d'Oiseaux de Noël (RON) (Bock et Lepthien, 1976 ; Koenig et Knops, 2001 ; Koenig, 2001) et au projet FeederWatch (Hochachka et al, 1999).

Mouvements éruptifs des passereaux boréaux

Les espèces qui exploitent une source de nourriture qui peut être abondante une année et presque inexistante l'année suivante montrent une grande flexibilité dans leur déplacements

et sont souvent appelées des espèces nomades ou des migrateurs éruptifs en opposition aux migrateurs réguliers qui entreprennent les mêmes déplacements d'années en années (Newton, 2006). Les fringillidés boréaux et la Mésange à tête brune (*Poecile hudsonicus*) représentent des exemples typiques de migration éruptive. Cependant, leur aire de reproduction nordique et leur absence de fidélité à des sites précis rend leur étude plus difficile que pour les migrateurs traditionnels. D'autres espèces éruptives présentes en forêt boréale (le Jaseur boréal, *Bombycilla garrulus*, et le Jaseur d'Amérique, *Bombycilla cedrorum*) n'ont pas été incluses dans cette étude en raison de l'absence d'une banque de données à long terme sur les différentes sources de nourriture qu'elles consomment (principalement les fruits). Le Gros-bec errant (*Coccothraustes vespertinus*) n'a également pas été inclus dans les analyses en raison de l'absence de mouvements importants de cette espèce à Tadoussac pendant la période d'étude.

Bec-croisé bifascié (*Loxia leucoptera*)

Il est depuis longtemps admis que la densité du Bec-croisé bifascié est liée aux patrons de production de graines de conifères (Haapanen, 1966; Benkman, 1992) En juin et juillet, les cônes de tous les conifères se développent et ceux des mélèzes (*Larix laricina*) et des Épinettes blanches (*Picea glauca*) sont alors les plus accessibles. En effet, les cônes de ces deux espèces d'arbres s'ouvrent à cette période, les rendant plus faciles à consommer, tandis que ceux de l'Épinette noire (*Picea mariana*) s'ouvrent généralement entre mars et mai de l'année suivante. Ainsi, l'arrivée graduelle de cette espèce dans une région donnée se fait généralement en juin et juillet. D'août 1984 à janvier 1985, Benkman (1987) a observé au parc provincial Algonquin, en

Ontario, que les Bec-croisés bifasciés passent plus de 80% de leur temps d'alimentation dans les Épinettes blanches. Seulement une nichée pourra être associée au développement de cônes de mélèzes, mais parfois plus d'une le sera en s'alimentant de cônes d'Épinette blanche, dépendant de l'abondance de la production de cônes d'une année donnée (Benkman 1987). Pendant, l'été, les Becs-croisés bifasciés ne peuvent pas retirer les graines de cônes d'épinette noire en développement et peuvent au mieux, manger des graines de cônes résiduelles de l'année précédente (Benkman, 1987). Les becs-croisés peuvent consommer à l'occasion des cônes de sapins (*Abies balsamea*) mais la résine présente inhibe la digestion de protéines de sorte que cette source de nourriture est plutôt marginale (Benkman, 1992). À partir du début novembre, la chute des graines de mélèze et d'Épinette blanche est généralement complétée (Waldron, 1965). Des nichées de Becs-croisés bifasciés surviennent parfois tard en novembre et décembre mais elles ne sont pas fréquentes (Benkman, 1992). Pendant l'hiver, cette espèce fait une transition graduelle pour s'alimenter des cônes d'Épinette noire. Cependant, si les cônes d'Épinette blanche contiennent beaucoup de graines, les becs-croisés vont s'alimenter de cette source de nourriture prioritairement et plus longtemps. Les années de très faible production de cônes peuvent conduire à des mortalités importantes au point où les populations vont décliner dramatiquement (Newton, 1972 ; Bock et Lepthien, 1976 ; Benkman, 1992).

Les éruptions de Bec-croisés bifasciés au sud de leur aire de distribution normale surviennent généralement tard en octobre et en novembre ce qui coïncide avec la chute des graines d'Épinette blanche et de mélèze (Benkman, 1987). Entre 500 et 10 000 individus ont déjà pu être observés entre le 18 et le 22 novembre 1984 à l'île Manitoulin en Ontario (Weir,

1985), jusqu'à 8 565 le 25 octobre 2006 (Berthiaume et Drolet, 2007) et jusqu'à 34 782 individus le 10 octobre 2006 à Pointe-des-Monts (Gendreau et al, 2008)

Le Bec-croisé bifascié, qui constitue l'espèce de fringillidé dont l'alimentation est la plus spécialisée, est particulièrement contraint à une existence nomadique au travers du continent à la recherche de sa principale source de nourriture (Newton, 1970 ; Hochachka, 1999).

Sizerin flammé (*Acanthes flammea*)

Durant l'été, le Sizerin flammé se retrouve dans la taïga des régions arctiques de l'Amérique et de l'Eurasie. Jusqu'à six sous-espèces de Sizerin flammé sont reconnues mais seules *Acanthes flammea flammea* et *Acanthes flammea rostrata* se retrouvent en Amérique du Nord (Troy, 1983, Knox et Lowther, 2000). *Acanthes flammea flammea* possède une distribution aux limites très variables et peut se retrouver un peu partout en Amérique du Nord de l'Alaska jusqu'à Terre-Neuve et se retrouve en hiver jusqu'au nord des États-Unis environ une année sur deux, pendant la période allant de 1901 à 1980 (Bock et Larson, 1985). Les invasions hivernales de cette espèce se produisent avec une grande synchronie à l'échelle du continent (Bock et Lepthien, 1976).

Le régime alimentaire du Sizerin flammé est constitué en majorité de petites semences d'arbres et d'arbustes incluant le bouleau (*Betula sp*), les saules (*Salix sp*), les aulnes (*Alnus sp*), les conifères ainsi que diverses herbes et carex (Knox et Lowther, 2000).

L'importance de la production semencière de l'année en cour en relation avec les éruptions de sizerins demeure controversée. En Scandinavie et en Angleterre, les invasions de Sizerins flammés ont été associées à des années où la production de graines des bouleaux était particulièrement faible (Evans, 1966 ; Eriksson, 1970). En Amérique du Nord, Bock et Lepthien (1976) adhèrent à la théorie soutenant que les éruptions de Sizerins flammés surviennent les années où la production du bouleau est faible, malgré le fait qu'ils n'aient pas fait d'efforts concertés pour obtenir des données sur la production de semences des différentes espèces d'arbres de la forêt boréale. Aidés d'une base de données sur la production de graines, Koenig et Knops (2001) ne parviennent pas à établir aucune corrélation entre la production semencière de conifères de l'année en cour et les invasions de sizerins en utilisant les données des Recensements d'oiseaux de Noël (RON). Dans l'ouest de l'Amérique du Nord, ils établissent cependant que les invasions de sizerins surviennent une année après de fortes productions semencières de conifères suggérant qu'elles seraient dues à de hauts taux de survie hivernale et à de fortes densités l'année suivante. Cependant, les analyses effectuées par ces auteurs utilisent uniquement des données relatives à différentes espèces de conifères alors que contrairement aux graines de bouleaux, les cônes ne constituent pas une partie importante de la diète des sizerins (Newton, 1970).

Tarin des pins (*Spinus pinus*)

L'aire de distribution du Tarin des pins peut parfois s'étendre sur une grande échelle géographique en Amérique. En fait, malgré qu'il s'agisse, a priori, d'une espèce boréale, le Tarin des pins constitue la seule espèce de fringillidé nichant dans le nord du Canada dont certains

individus peuvent se reproduire, certaines années, complètement à l'extérieur du domaine de la forêt boréale, dans des conifères ornementaux, des cimetières et même des milieux associés à une forêt plus décidue (Price et al. 1995). Contrairement aux autres espèces de fringillidés, sa dispersion hivernale ne se limite pas à l'extrême nord des États-Unis comme en témoigne la recapture d'un individu bagué à Tadoussac dans la municipalité de Strawberry Plains au Tennessee, environ à 2000 km plus au sud (Côté, 2009). Également, la recapture en Californie d'un tarin bagué au Québec à 3950 km de son lieu d'origine illustre bien à quel point cette espèce se disperse à travers le continent (Newton, 2006). Pendant la période de nidification, cette espèce se retrouve parfois jusqu'au Colorado, au Nouveau-Mexique et en Arizona et des populations isolées se retrouvent même sur les hauts sommets du Mexique et du Guatemala. (Dawson, 1997).

En réalité, même si le Tarin des pins préfère les conifères durant sa migration, il peut s'alimenter dans une grande variété d'habitats allant de la forêt de feuillus aux prés herbeux, des milieux buissonnants aux bords de route (Dawson, 1997). Les migrations de cette espèce se font généralement en groupes assez importants pouvant aller jusqu'à plusieurs milliers d'individus (Booth, 1971; Bohlen, 1989; Robbins, 1991; Dawson, 1997). En 2008 À Tadoussac, plus de 6000 individus ont déjà été notés en déplacement migratoire en l'espace d'une seule journée d'octobre (Côté, 2009).

Dans l'ouest de l'Amérique du Nord, Koenig et Knops (2001) soutiennent que les éruptions hivernales de Tarins des pins surviennent lorsqu'il y a une combinaison d'une forte production semencière de conifères (causant de plus grandes densités chez l'espèce) suivie par une faible année semencière, forçant de grandes quantités d'oiseaux à errer à la recherche de

sources de nourriture alternative. Dans l'est de l'Amérique du Nord, aucune corrélation ne permet d'expliquer les abondances cycliques du Tarin des pins pendant l'hiver.

Durbec des sapins (*Pinicola enucleator*)

Pendant l'été, le Durbec des sapins habite la forêt subarctique de l'est de l'Asie, de la Scandinavie, de l'Alaska et de tout le Canada, bien qu'on le retrouve également dans les forêts de conifères pluvieuses et les montagnes de la Colombie-Britannique (Adkisson, 1999). Considéré irrégulier dans le nord des États-Unis, ses éruptions au sud sont beaucoup moins fréquentes que chez les autres espèces de fringillidés (Adkisson, 1999). L'alimentation du Durbec des sapins est à plus de 99% de source végétale alors que les jeunes bourgeons de conifères et les fruits constituent les deux aliments les plus consommés par cette espèce (Gabrielson, 1924; Austin, 1968 ; Adkisson, 1999). Pendant l'hiver, il est généralement admis que l'abondance des fruits de sorbier (*Sorbus americana*) influencent les déplacements du durbec dans des habitats différents de ceux utilisés pendant la saison de nidification (Forbush, 1929 ; Rising, 1965 ; Reigh, 1981; Adkisson, 1999).

Koenig et Knops (2001) soutiennent que les éruptions de Durbec des sapins surviennent au sud lorsque qu'il y a une combinaison d'une forte production semencière des conifères pendant une année, suivi d'une mauvaise production semencière l'année suivante, forçant les oiseaux à errer à la recherche de nourriture. Néanmoins, ces auteurs ne semblent pas tenir compte qu'environ seulement 4% de la diète des Durbec des sapins est constituée de graines de conifères (Gabrielson, 1924) et qu'il est donc peu probable que cette source de nourriture puisse régir de façon importante les déplacements de cette espèce.

Mésange à tête brune (*Poecile hudsonicus*)

La Mésange à tête brune constitue l'un des rares oiseaux dont l'aire de distribution est presque entièrement circonscrite dans la forêt boréale du Canada et du nord des États-Unis (Ficken et al., 1996). Les insectes et les araignées demeurent la principale source de nourriture pour cette espèce mais la consommation de graines de conifères, de bouleaux ou d'autres plantes peut également occuper une place importante dans leur diète, spécialement l'hiver (Oatman, 1985). Cette espèce n'est généralement pas considérée comme présentant des mouvements migratoires réguliers (Bent, 1946 in Ficken et al., 1996)

Bien que peu fréquentes, les éruptions de Mésanges à tête brune au nord des États-Unis ont été assez bien documentées. De 1950 à 1982, elles auraient eu lieu dans l'État de New York à des intervalles de 6 à 8 ans, et ce, à l'extérieur de la forêt boréale dense dans une grande variété d'habitats (Yunick, 1984). Ces mouvements ont généralement eu lieu l'automne en octobre et novembre, avec un très faible retour (Brewer, 1991 in Ficken et al., 1996). Ficken et al. (1996) rapportent que les éruptions entre 1964 et 1972 ont eu lieu en même temps que les huit espèces de passereaux boréaux identifiés par Bock et Lepthien (1976) comme étant associés avec la fluctuation des cônes de pins. Cependant, aucune analyse empirique à partir de données sur la production de semences ne supporte cette thèse et cette source de nourriture ne constitue apparemment pas une partie importante de la diète de la Mésange à tête brune. Bien qu'il soit généralement admis que la pénurie de nourriture constitue un facteur important pouvant influencer les éruptions de cette espèce plus au sud (Ficken et al., 1996), on doit noter l'absence d'analyses poussées soutenant cette affirmation. Beaucoup moins bien documentés

sont les migrations de courte distance à l'intérieur du domaine de la forêt boréale. Ce genre de mouvements a été rapporté en Saskatchewan (Smith, 1996) et au Minnesota (Janssen, 1987) mais sans être quantifiés. Au Québec, des mouvements importants ont été documentés chez cette espèce l'automne à l'Observatoire d'oiseaux de Tadoussac, particulièrement en 1998, 1999, ainsi qu'en 2008. Le nombre d'individus recensés à Tadoussac pendant une saison entre 1996 et 2009 a oscillé entre 0 et 5234 individus. En 2008, jusqu'à 2403 Mésanges à tête brune ont été notées en migration à St-Fulgence (Saguenay) dans la seule journée du 8 octobre (G. Savard, comm. pers.). Ce phénomène a également été documenté au Yukon en 2009 où 831 ont pu être bagués (Schoewille, 2009). Les données de baguage de Tadoussac et du Yukon indiquent que ces mouvements sont constitués à 100% de juvéniles (Côté, 2009 ; Schoewille, 2009). Ce phénomène de migration courte distance demeure peu connu et les variables environnementales qui influencent ces passages ne semblent pas avoir été clairement identifiées.

Facteurs influençant les mouvements de passereaux boréaux

Deux hypothèses majeures ont été proposées pour expliquer les éruptions de passereaux boréaux. La première hypothèse, la « seed-crop failure » suggère que l'échec étendu des conifères et des autres arbres pour produire des graines conduit les oiseaux à se déplacer vers des sites potentiellement à l'extérieur de leur aire normale, afin de chercher de la nourriture (Koenig et Knops, 2001). L'hypothèse alternative, la « population density » suggère que ces

éruptions surviennent quand les populations sont anormalement élevées en raison d'un haut taux de reproduction ou d'un haut taux de survie l'hiver précédent (Koenig et Knops, 2001).

La prédiction critique de l'hypothèse « seed-crop failure » est qu'il devrait y avoir une corrélation négative entre la production semencière actuelle et les épisodes d'invasions de passereaux boréaux. Même s'ils n'ont pas été les premiers à l'énoncer, Bock et Lepthien (1976) ont été les premiers à soutenir cette hypothèse sur une large échelle.

Dans la « population density hypothesis », on assume que les larges productions semencières vont mener à de relativement grandes abondances de populations via un fort taux de reproduction et un haut taux de survie et via la prédiction indirecte que les éruptions de passereaux boréaux seront précédées par une forte production semencière l'année précédente (Lack, 1954; Ulfstrand 1963; Newton, 1970, 1972; Van Gasteren et al., 1992 ; Koenig, 2001).

L'hypothèse « seed-crop failure » et l'hypothèse « population density » ne sont pas mutuellement exclusives. Plusieurs auteurs (Newton, 1970 ; Bock et Lepthien ; 1976, Koenig et Knops, 2001) ont déjà conclu qu'une abondance élevée semblait être un facteur prédéterminant pour les épisodes d'éruptions et qu'il pouvait se combiner avec une chute dramatique de la production semencière.

En Angleterre et en Finlande, les études démontrent que les éruptions du Sizerin flammé sont directement reliées aux faibles productions de graines par les bouleaux (Evans, 1966 ; Eriksson, 1970 ; Bock and Lepthien)

D'autre part, Bolgiano (2004) rapporte que le Durbec des sapins, le Bec-croisé bifascié, la Mésange à tête noire (*Poecile atricapillus*) et la Mésange à tête brune semblent avoir décliné vers la fin des épidémies de Tordeuse de bourgeons d'épinettes. Le Tarin des pins et le Sizerin flammé ne semblent pas montrer des changements évidents suite à ces épidémies.

Synchronie des invasions

La synchronie interspécifique des invasions des différentes espèces de passereaux boréaux demeure sujet à discussion. Lack (1954) et Uflstrand (1963) concluent que les différentes espèces boréales font des éruptions de façon indépendante. En opposition, Bock et Lepthien affirment (1976) que ces invasions surviennent des années alternes de façon plus fréquentes que ce qu'on pourrait s'attendre par hasard. Ces derniers auteurs suggèrent également qu'il existe une synchronie entre les éruptions de Mésanges à tête noire et de Tarin des pins, mais aussi parmi huit autres espèces (Sittelle à poitrine rousse (*Sitta canadensis*), Tarin des pins, Gros-bec errant (*Coccothraustes vespertinus*), Roselin pourpré (*Carpodacus purpureus*), Durbec des sapins, Sizerin flammé, Bec-croisé bifascié, Bec-croisé des sapins (*Loxia curvirostra*)). Koenig (2001) parvient à des conclusions quelque peu différentes avec des analyses plus récentes : la Mésange à tête noire et le Tarin des pins ne semblent pas

significativement synchrones dans aucune région. Il observe cependant une corrélation généralement élevée entre les espèces suivantes (Sittelle à poitrine rousse, Tarin des pins, Gros-bec errant, Roselin pourpré, Durbec des sapins, Sizerin flammé, Bec-croisé des sapins, Bec-croisé bifascié). Dans les deux cas, on peut déplorer dans ces études, l'absence de données sur la zone géographique d'où ces oiseaux quittent.

Néanmoins, Larson et Bock (1986) constatent que la synchronie des invasions des différentes espèces peut varier avec les années et que les conclusions auxquelles arrivent les différents auteurs seront conditionnelles à la plage temporelle analysée. Les changements dans cette synchronie restent à être déterminés mais pourraient s'avérer plus important que prévu dans la compréhension des irruptions d'espèces boréales (Koenig, 2001)

Production de semences synchronisée (« masting »)

Plusieurs espèces d'arbres produisent des graines sur une grande échelle géographique de façon simultanée et ce, à des intervalles irréguliers (Fowells, 1965; Silverstow, 1980). Plusieurs auteurs ont suggéré que la production de graines à grande échelle par une espèce d'arbre est un mécanisme évolutif des plantes qui constitue une adaptation anti-prédateur. Certaines années, les arbres produisent davantage de graines que les consommateurs de graines peuvent manger. Pendant les années intermittentes, la production semencière est parfois si basse qu'elle peut affamer les consommateurs de graines et contribuer à induire leur déclin démographique. (Janzen, 1971; Silverstow, 1980)

Le phénomène de production de semences synchronisées à grande échelle est généralement plus fréquent chez les espèces d'arbres dont les graines sont les plus consommées par les prédateurs. Dans la forêt boréale québécoise, il appert que cette stratégie est particulièrement vraie alors qu'elle est bien documentée pour l'Épinette blanche dont les cônes sont fortement consommés par le Bec-croisé bifascié et l'Écureuil roux (*Tamiasciurus hudsonicus*). À titre d'exemple, Waldron (1965) observe pendant une décennie une production annuelle du nombre de graines d'Épinette blanche variant entre 10 000 et 5 625 000 semences par acre. Cependant, cette stratégie est plutôt réduite chez les différentes espèces de pins (Formozov, 1960), suggérant que les bouleaux et les épinettes soient les principales espèces à synchroniser leur production de graines, surtout en milieu boréal (Bock et Lepthien, 1976). Certains arbres de ces deux genres peuvent même ne produire aucune graine certaines années où la production de semences est faible à grande échelle (Newton, 2006). Les bonnes productions semencières ne surviennent presque jamais deux années consécutives et chaque bonne année de production est généralement suivie d'une année assez pauvre (Newton, 2006; Koenig & Knops, 1998, 2001). Il est cependant à noter que les insectes conophytes peuvent détruire une quantité importante des graines et réduire considérablement le nombre de graines pleines produites en particulier chez le Sapin baumier (Cadieux, 2010). Leur impact est particulièrement grand lors des années de faible production semencière.

Il a aussi été démontré qu'il existe une forme d'échange entre l'énergie investie entre la croissance végétative et celle investie dans la reproduction. En effet, il existe une corrélation négative qui peut s'étendre jusqu'à 196 000 km² entre la croissance d'un arbre et sa production de graines. Ce phénomène impliquant un transfert de ressources entre la croissance végétative et la reproduction est particulièrement caractéristique des conifères nord-américains sur une grande échelle géographique (Koenig et Knops, 1998).

Objectifs

Les présents travaux visent d'abord à comprendre quelles relations existent entre la production de semences du Bouleau à papier, de l'Épinette blanche et du Sapin baumier en forêt boréale et les mouvements de fringillidés. Le but premier est de comparer la production semencière de l'année en cours à l'abondance de fringillidés pendant leurs mouvements automnaux en milieu boréal. La production de semences de l'année en cours sera ensuite comparée à l'abondance des fringillidés dans le Québec méridional pendant l'hiver. Finalement, nous tenterons de déterminer si les mouvements de fringillidés en milieu boréal l'automne constituent un bon outil pour prédire leur abondance au sud de l'écosystème boréal pendant l'hiver.

Matériel et méthodes

Bases de données d'oiseaux

De grandes bases de données d'observation d'oiseaux sont compilées chaque année par les observateurs d'oiseaux amateurs et professionnels. Ces bases de données se sont déjà

avérées fort utiles dans l'analyse des fluctuations d'oiseaux à long terme (Bock et Lepthien, 1976 ; Cyr et al., 1995 ; Koenig et Knops, 2001).

Dans cette étude, quatre bases de données ornithologiques ont été utilisées. La première fût celle de l'Observatoire d'oiseaux de Tadoussac (OOT). L'intérêt des données de Tadoussac se situe à une échelle géographique plus large, soit pour toute la péninsule Québec-Labrador en raison de l'entonnoir que procure le fleuve St-Laurent pendant les migrations d'automne. Ces données sur le dénombrement diurne de la migration automnale, à l'intérieur d'un couloir de migration situé en forêt boréale, ont pu y être amassées avec un protocole standardisé depuis 1996. Nous avons choisi de faire le suivi de quatre espèces de fringillidés ainsi qu'une espèce de paridé dont l'aire de nidification se situe essentiellement en forêt boréale et pour lesquels le signal d'abondance lors de leur migration d'automne à Tadoussac était important.. Il s'agit du Bec-croisé bifascié, du Sizerin flammé, du Tarin des pins, du Durbec des sapins et de la Mésange à tête brune. Les nombres analysés sont selon cette base de données les totaux saisonniers recensés entre la fin août et la fin novembre par les deux observateurs en place. La présence de deux observateurs éloignés chacun d'environ 1 km chacun permet de couvrir un champ de vision plus large sur l'étendu du corridor de migration d'oiseaux qui passent par Tadoussac.

La deuxième base de données utilisée, Étude des populations d'Oiseaux du Québec (ÉPOQ ; Larivée, 2009) est une compilation des observations faites bénévolement par les ornithologues amateurs au Québec en remplissant des feuillets d'observations quotidiennes. Cette base de données a été utilisée pour les cinq même espèces de passereaux boréaux

énumérés précédemment en mesurant l'indice d'abondance hivernale de chacune des espèces entre le 1^{er} décembre et le 29 décembre et ce, au sud du 48^{ième} parallèle de 1996-2008, soit au sud du domaine continue de la forêt boréale. L'indice d'abondance (IA) se mesure en totalisant le nombre de mentions d'une espèce pour une période donnée et en les divisant par le nombre de feuillets produits (en moyenne plus de 2000 par hiver).

Une troisième base de données, Project FeederWatch (PFW) pour le Québec, a été utilisée principalement pour le Sizerin flammé et le Tarin des pins, et dans un ordre moindre, pour le Durbec des sapins et ce afin de mesurer l'abondance de ces espèces aux mangeoires en hiver (1996-2008) (Bird Studies Canada et Cornell Lab of Ornithology. 2009) Les valeurs utilisées dans ces analyses sont les pourcentages d'occurrence de ces trois espèces durant les deux dernières semaines de février, période qui constitue généralement un moment d'achalandage maximal aux postes d'alimentation pour les fringillidés. Le Bec-croisé bifascié et la Mésange à tête brune n'ont pas été inclus dans les analyses avec PFW car leur fréquentation des postes d'alimentation est trop marginale.

Finalement, les données de sept Recensements d'oiseaux de Noël (RON) exécutés entre 1996 et 2008 ont été utilisées comme outil de mesure complémentaire de l'abondance des passereaux boréaux en hiver dans le sud du Québec (plus ceux de Toronto et Ottawa) (National Audubon Society, 2008). Le nombre d'heures d'efforts par RON est noté dans le Tableau 1.

Tableau 1. Nombres d'heures-personnes d'effort dans les différents RON de 1996 à 2008

	Québec	Longueuil	Toronto	Ottawa	Chicoutimi	Hudson	Forillon
1996	76	85.0	76	72	8	64	9
1997	86	79.0	84	82	22	50	16
1998	68	62.0	83	94	31	43	15
1999	114	72.0	77	83	8	47	19
2000	54	70.0	85	91	10	49	13
2001	104	88.5	91	99	12	61	13
2002	105	72.5	94	105	11	59	14
2003	108	72.25	95	108	11	55	15
2004	96	71.0	93	98	10	64	18
2005	102	78.25	87	90	18	60	16
2006	88	80.0	102	108	25	63	15
2007	69	63.25	81	75	25	56	19
2008	71	74.75	118	94	30	56	22

Bases de données sur la production de graines

Il existe peu de bases de données à long terme sur la production de graines en forêt boréale. La plus importante utilisée dans ce projet provient de l'Université du Québec à Chicoutimi par Hubert Morin au Lac-Libéral (49 ° 46'N -72 ° 40'W) Lac-St-Jean (1997-2007). La production semencière se mesure selon le nombre de graines tombées, collectées dans quatre trappes à graines de 1m² pour trois espèces d'arbres différentes soit le Sapin baumier (*Abies balsamea*), l'Épinette blanche (*Picea glauca*) et le Bouleau à papier (*Betula papyrifera*). Le dispositif de récolte des graines consiste en 25 trappes par site, établis à cinq mètres d'intervalles pour quatre sites au total (Simard, 2010). Un grillage est disposé au-dessus des trappes à graines afin de minimiser la prédation des graines par les rongeurs. La récolte est effectuée aux deux semaines, de la mi-mai à la mi-octobre. Les données font ressortir les années semencières, en mettant en parallèle le nombre de graines au mètre carré en fonction de leur année de production. Le nombre moyen de graines par mètre carré amassées à chacun des quatre sites constitue la valeur référence de la production semencière pour une espèce d'arbre donnée cette année-là.

Une deuxième base de données comportant moins d'année et portant uniquement sur l'épinette blanche en provenance de Rivière-du-Loup (2005-2009) a été fournie par David F. Greene de l'Université Concordia. La méthode de mesure de production de cônes diffère de celle utilisée au Lac-St-Jean. Il s'agit de compter visuellement le nombre de cônes sur un peuplement d'Épinettes blanches et d'utiliser l'équation suivante: $\log(\text{nombre total actuel de cônes}) = 0,073 + 1,189 \times \log(\text{indice du nombre de cônes})$, pour estimer le nombre total de cônes. Le nombre total de cônes actuellement produits n'est pas linéairement proportionnel au nombre de cônes visibles contrairement à ce qui a été proposé pour diverses espèces de pins (Lamontagne et al, 2005).

Analyses statistiques

La normalité des données provenant des quatre bases de données d'oiseaux (OOT, ÉPOQ, PFW et RON) et des deux banques de données de production de graines a été vérifiée en utilisant le test de Kolmogorov-Smirnov. Nous avons utilisé les corrélations de Pearson et de Spearman pour nos comparaisons étant donné la similarité des résultats et du plus grand pouvoir de discrimination de l'indice de Pearson nous avons surtout concentré notre interprétation et discussion sur les relations avec l'indice de Pearson (Zar, 1998). D'autres comparaisons ont ensuite été effectuées entre les bases de données ornithologiques et les bases de données de productions de graines. Des corrélations de Pearson entre les données ornithologiques de l'Observatoire d'Oiseaux de Tadoussac et les autres bases de données d'oiseaux ont également été calculées.

Toutes les analyses statistiques ont été faites en utilisant SPSS 18.0 (SPSS Institute Inc. 2009).

Résultats

Il existe une corrélation positive dans la production de semences des différentes espèces d'arbres (Tableau 2) impliquées dans cette étude. La corrélation entre l'Épinette blanche et le Sapin baumier est significative et positive (Pearson : $r = 0,90$, $P = 0,00$ et Spearman : $r_s = 0,82$, $P = 0,02$). La corrélation entre le bouleau à papier et le Sapin baumier est plus faible (Pearson: $r = 0,74$, $P = 0,09$ et Spearman : $r_s = 0,54$, $P = 0,08$) et celle entre le Bouleau à papier et l'Épinette blanche marginale (Pearson : $r = 0,74$, $P = 0,10$ et Spearman : $r_s = 0,45$, $P = 0,17$).

Tableau 2. Production semencière annuelle moyenne au Lac Libéral (Lac-St-Jean) de 1996 à 2007

Année	<i>Picea glauca</i>	<i>Abies balsamea</i>	<i>Betula papyrifera</i>
1996	185	2199	317
1997	5	85	16
1998	41	922	652
1999	168	319	288
2000	11	315	181
2001	22	117	9
2002	7	400	644
2003	428	1943	566
2004	9	35	509
2005	26	979	26
2006	603	3880	1452
2007	3	51	100

(Morin, 2007, comm. pers.)

Bec-croisé bifascié

En examinant les données sur la production de l'Épinette blanche au Lac-Libéral (Tableau 2) on découvre une corrélation de Pearson significative entre la production de cônes de ce résineux et celle du Bec-croisé bifascié à Tadoussac (Tableau 3) ($r = 0,758$, $P = 0,007$). Cependant si l'on fait la somme de toutes les semences (Picea, Abies et Betula) et qu'on l'utilise comme un index d'abondance de graines, on obtient une relation entre cet index et le nombre de Bec-croisé observé ($r = 0,874$) si l'on inclut 2006 et $r = 0,482$ si on exclue cette année. La corrélation de Spearman entre les deux mêmes variables montre de son côté une corrélation positive non significative ($r = 0,473$, $P = 0,142$). Par ailleurs, l'abondance du Bec-croisé bifascié à Tadoussac l'automne est parfaitement corrélé avec son abondance hivernale au sud du 48^{ième} parallèle selon l'indice d'abondance mesurée par ÉPOQ (Pearson : $r = 0,832$, $P = 0,000$ et Spearman : $r = 0,879$, $P = 0,000$). Finalement, si on fait des corrélations entre les données d'Épinette blanche du Lac Libéral et celles de différents RON du sud du Québec (Québec, Hudson, Ottawa, Chicoutimi, Longueuil) on ne peut établir aucune corrélation significative sauf avec celui de Chicoutimi qui présente une corrélation positive. (Tableau 4).

Tableau 3. Variation interannuelle du Bec-croisé bifascié

Année	OOT	EPOQ (indice d'abondance)	Feeder Watch (%)	Recensement des oiseaux de Noël (Nombre d'oiseaux totaux)				
				Québec	Longueuil	Hudson	Ottawa	Chicoutimi
1996	23 233	3,10	N/A	93	2	50	70	381
1997	1176	0,06	N/A	3	0	22	40	2
1998	11 287	1,65	N/A	67	0	22	0	49
1999	322	0,04	N/A	3	0	0	0	5
2000	21 262	2,22	N/A	35	0	49	1	147
2001	2166	0,21	N/A	1	0	0	8	13
2002	1007	0,60	N/A	7	0	0	15	1
2003	6569	1,08	N/A	41	0	4	0	122
2004	2638	0,16	N/A	1	0	6	0	0
2005	271	0,07	N/A	0	0	0	2	0
2006	88 732	3,56	N/A	17	0	4	0	207
2007	502	0,23	N/A	0	0	0	0	0
2008	9481	0,97	N/A	45	3	67	500	8
CV (%)	185,5	112,7	0,0	125,1	249,8	135,8	280,3	160,5

Par ailleurs, outre la base de données du Lac Libéral, qui s'échelonne sur 10 ans, on peut également utiliser une autre base de données sur l'ÉpINETTE blanche constituée de données

amassées par David F. Greene sur une période allant de 2005 à 2009 à Rivière-du-Loup (Tableau 5). La corrélation de Pearson entre la production de cônes de l'Épinette blanche est encore plus forte en utilisant cette base de données si on la compare aux données de becs-croisés de Tadoussac l'automne ($r = 0,99$; $P = 0,000$). Cependant, la corrélation de Spearman entre les deux mêmes variables reste positive mais n'est plus significative ($r_s = 0,60$; $P = 0,29$). Les corrélations entre la mesure de production de l'épinette blanche de Greene et l'indice d'abondance de cette espèce par la banque de données ÉPOQ entre le 1^{er} décembre et le 29 février suivent également la même tendance (Pearson : ÉPOQ avec un $r = 0,99$ et $P = 0,01$ et Spearman : $r_s = 0,80$ et $P = 0,20$).

Tableau 4. Tableau de corrélation de Pearson entre la production de cônes d'Épinette blanche et la présence du Bec-croisé bifascié dans différents RON

RON	Épinette blanche (Lac-Libéral)	
Longueuil	r	0,095 ^{***}
	P	0,768
	N	12
Hudson	r	0,151 ^{***}
	P	0,717
	N	12
Ottawa	r	-0,076 ^{**}
	P	0,814
	N	12
Québec	r	0,227 ^{**}
	P	0,478
	N	12
Chicoutimi	r	0,530 [*]
	P	0,077
	N	12

***. La corrélation est significative au niveau 0,010 (bilatéral).

** . La corrélation est significative au niveau 0,050 (bilatéral).

*. La corrélation est significative au niveau 0,100 (bilatéral).

Tableau 5. Production de cônes de l'Épinette blanche à Rivière-du-Loup 2005-2009

Year	<i>Picea glauca</i> cones/ba (#/cm²)
2005	0,035
2006	3,81
2007	0,0003
2008	0,095
2009	0

(Greene, comm. pers. 2009)

Sizerin flammé

Premièrement, la production semencière de l'année en cour de l'Épinette blanche, du Sapin baumier et du Bouleau à papier (Tableau 2) montre une tendance positive avec le nombre de sizerins observés à Tadoussac (Tableau 6) pendant l'automne (en comparant de 1996 à 2007). Les corrélations de Pearson sont néanmoins plus fortes que les corrélations de Spearman (Tableau 7).

Tableau 6. Variation interannuelle du Sizerin flammé

Année	OOT	EPOQ (indice d'abondance)	Feeder Watch (%)	Recensement des oiseaux de Noel (Nombre d'oiseaux totaux)				
				Québec	Longueuil	Hudson	Ottawa	Toronto
1996	2699	0,12	5	0	0	0	9	0
1997	10020	7,47	67	1235	230	760	316	289
1998	29201	3,50	9	88	0	0	73	3
1999	3705	10,50	64	1116	252	1055	620	89
2000	14723	0,79	6	38	0	0	0	0
2001	7950	10,79	71	748	463	936	746	61
2002	1108	0,63	1	1	0	0	34	0
2003	30038	13,66	69	570	99	823	240	54
2004	8053	5,55	36	314	14	150	780	10
2005	4329	8,37	48	1835	120	280	100	7
2006	21 925	0,79	2	93	0	25	9	0
2007	5 406	8,40	62	270	180	543	353	22
2008	47989	5,20	62	334	3	9	19	2
CV	97,4%	82,4%	76,3%	112,0%	136,5%	116,6%	114,4%	193,3%

*Pour PFW, afin de pouvoir comparer les mêmes années ensemble et d'éviter la confusion, l'année inscrite fait référence au moment où l'hiver a débuté, au moment de la prise de données.

Tableau 7. Corrélations de Pearson (R) et de Spearman (r) entre la production de graines en forêt boréale et l'abondance du Sizerin flammé à Tadoussac

Abondance du Sizerin flammé à Tadoussac	Sapin baumier	Épinette blanche	Bouleau à papier
R	0,445	0,525	0,498
P	0,146	0,080	0,099
N	12	12	12
r_s	0,098	0,287	0,273
P	0,762	0,366	0,391
N	12	12	12

Entre contrepartie, il y a une corrélation négative entre les données de production de graines de bouleau entre 1996 et 2007 (Tableau 2) et le nombre moyen de sizerins observé par feuillet ÉPOQ (Tableau 6) entre le 1^{er} décembre et le 29 février au sud du 48^{ième} parallèle mais celle-ci n'est pas statistiquement significative (Pearson : $r = -0,432$, $P = 0,161$ et Spearman : $r = -0,467$, $P = 0,118$). On peut investiguer davantage en vérifiant si l'occurrence du sizerin aux mangeoires dans la période d'achalandage maximale (2 dernières semaines de février) serait corrélée négativement avec la production de bouleau en utilisant les données PFW du Québec (Tableau 5). En utilisant les données complètes sur le bouleau de 1996 à 2007, on obtient effectivement une relation inverse entre la fréquentation des mangeoires par le sizerin et la production de graines du bouleau (Pearson : $r = -0,572$, $p = 0,052$ et Spearman : $r = -0,636$, $P = 0,026$). En vérifiant avec d'autres banques de données sur les mêmes périodes, on constate que cette relation négative tiendrait aussi la route en utilisant les données du RON de Québec, du RON de Longueuil, et le RON d'Hudson (Spearman : RON Québec, $r = -0,573$, $p = 0,051$; RON Longueuil, $r = -0,747$, $p = 0,05$; RON Hudson, $r = -0,516$, $p = 0,086$). En revanche, les données ÉPOQ au sud du 48^{ième} parallèle sont parfaitement corrélées avec les données du PFW ($r = 0,910$,

P= 0,000). Il en va de même si on établit des corrélations entre les données ÉPOQ au sud du 48^{ième} parallèle et les données de la plupart des RON situés au sud de la province (Tableau 8).

Tableau 8. **Corrélation de Pearson entre l'indice d'abondance du Sizerin flammé selon ÉPOQ l'hiver (1996-2008) au sud du 48ième parallèle et différents Recensements d'oiseaux de Noël (RON).**

RON	ÉPOQ	
Québec	r	0,639 ^{***}
	P	0,019
	N	13
Hudson	r	0,871 ^{***}
	P	0,000
	N	13
Ottawa	r	0,609 ^{**}
	P	0,027
	N	13
Longueuil	r	0,703 ^{**}
	P	0,007
	N	12
Toronto	r	0,500 [*]
	P	0,082
	N	13

***. La corrélation est significative au niveau 0,010 (bilatéral).

** La corrélation est significative au niveau 0,050 (bilatéral).

* La corrélation est significative au niveau 0,100 (bilatéral).

Fait intéressant, en 2006, lors de la plus forte année de production de graines par le bouleau entre 1996 et 2006, le Sizerin flammé a été noté en abondance à Tadoussac avec 21 925 individus dont 7956 individus le 2 novembre seulement. L'hiver qui a suivi cette forte production de la part du bouleau, le sizerin a été virtuellement absent du sud du Québec avec une occurrence de 2% aux mangeoires selon PFW. Pendant la même période, cette espèce a

présenté un indice d'abondance de 0,458 individus par feuillet entre le 1^{er} décembre et le 29 février, selon ÉPOQ, alors que la moyenne pour cette période est de 10,0 individus par feuillet.

Tarin des pins

Si on tente d'établir des corrélations de Pearson entre la production de graines d'Épinette blanche de même que celle du bouleau à papier (Tableau 2) et l'abondance du Tarin des pins à Tadoussac, selon ÉPOQ et selon PFW (Tableau 9) aucune corrélation significative n'est détectée (Tableau 10).

Tableau 9. Variation interannuelle du Tarin des pins

Année	OOT	EPOQ (indice d'abondance)	Feeder Watch (%)	Recensement des oiseaux de Noel (Nombre d'oiseaux totaux)				
				Québec	Longueuil	Hudson	Ottawa	Chicoutimi
1996	36542	3,12	46	51	0	47	6	226
1997	3302	0,07	7	114	0	53	33	2
1998	12155	2,28	24	38	0	4	7	0
1999	980	0,12	1	36	0	60	11	0
2000	36785	2,62	23	91	0	396	267	1
2001	2530	0,11	3	14	0	69	9	0
2002	952	0,20	4	0	0	0	0	0
2003	2996	1,34	17	189	0	41	11	26
2004	6302	0,24	9	35	1	83	47	0
2005	2077	1,03	12	13	2	10	8	0
2006	8393	2,19	7	6	0	1	2	0
2007	3892	0,30	2	1	2	14	1	0
2008	30788	2,46	55	98	2	106	3	3
CV (%)	118,4	92,9	105,7	105,8	N/A	153,2	231,6	314,2

*Pour PFW, afin de pouvoir comparer les mêmes années ensemble et d'éviter la confusion, l'année inscrite fait référence au moment où l'hiver a débuté et au moment de la prise de données.

Tableau 10. Corrélations de Pearson entre l'abondance du Tarin des pins et la production de cônes graines d'Épinette blanche de même que celles du Bouleau à papier

Tarin des pins	Épinette blanche	Bouleau à papier
Tadoussac		
r	-0,041	-0,029
P	0,906	0,929
N	12	12
ÉPOQ		
R	0,353	0,355
P	0,287	0,257
N	12	12
PFW		
R	0,039	0,013
P	0,912	0,967
N	12	12

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

* . La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

D'un autre côté, l'abondance du Tarin des pins à Tadoussac l'automne (Tableau 9) est parfaitement corrélée avec son occurrence au Québec pour PFW ainsi qu'avec son indice d'abondance au sud du 48^{ième} parallèle en hiver (avec PFW : P = 0,84, r = 0,000 ; ÉPOQ : P = 0,84, r = 0,000).

Durbec des sapins

Il n'existe aucune corrélation positive entre la production de graines (Tableau 2) et l'abondance du durbec à Tadoussac (tableau 11). En fait, il existe même une forte corrélation négative entre la production de graines de sapins (de 1996 à 2007) et l'abondance du durbec à

Tadoussac l'automne (tableau 12). Il existe cependant une corrélation positive entre l'abondance du Durbec des sapins et du Merle d'Amérique (*Turdus migratorius*) l'automne à Tadoussac ($r=0,498$, $p= 0,07$).

Tableau 11. Variation interannuelle du Durbec des sapins

Année	OOT	EPOQ (indice d'abondance)	Feeder Watch (%)	Recensement des oiseaux de Noel (Nombre d'oiseaux totaux)				
				Québec	Longueuil	Hudson	Ottawa	Chicoutimi
1996	2639 (1945)*	0,84	11,00	0	0	160	0	57
1997	8847 (1027)	2,90	42,00	101	64	0	235	215
1998	4423 (4422)	2,09	11,00	33	0	6	0	100
1999	14276 (6763)	0,98	11,00	110	0	0	19	234
2000	3070 (1626)	0,53	10,00	11	0	5	0	27
2001	13022 (2792)	1,63	15,00	175	26	0	252	68
2002	3931 (5293)	0,34	3,00	0	0	4	0	5
2003	6847 (496)	3,06	22,00	52	5	31	6	172
2004	3962 (1800)	0,85	9,00	7	0	62	12	272
2005	2483 (913)	1,79	13,00	259	2	0	142	280
2006	1390 (1038)	0,21	2,00	0	0	9	0	126
2007	7957 (5898)	2,75	21,00	47	25	46	44	311
2008	2636 (1698)	2,44	11,00	165	1	0	69	470
CV(%)	69,4	64,5	73,0	112,3	294,8	182,4	151,9	74,5

*Les données présentées pour l'OOT sont celles du Durbec des sapins, suivi entre parenthèses de celle du Merle d'Amérique, une espèce frugivore à l'automne et l'hiver

Tableau 12. Corrélations de Pearson et de Spearman entre l'abondance du Durbec des sapins à Tadoussac et la production de graines en forêt boréale

Durbec des sapins (Tadoussac)	Sapin baumier	Épinette blanche	Bouleau à papier
r	-0,500	-0,199	-0,469
P	0,098	0,536	0,124
N	12	12	12
r_s	-0,570	-0,315	-0,434
P	0,048	0,319	0,159
N	12	12	12

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

* . La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

Au niveau de l'hivernage du durbec, les données l'automne à Tadoussac sont peu corrélées avec les données du PFW pour le Québec ($r= 0,41$ $P= 0,19$) ni avec l'indice d'abondance d'ÉPOQ au sud du 48^{ième} parallèle ($r= -0,09$, $P = 0,80$). Cependant les données du PFW dans les deux dernières semaines de février au Québec et l'indice d'abondance des données ÉPOQ entre le 1^{er} décembre et le 29 février sont parfaitement corrélées ($r= 0,820$, $p =0,001$).

Mésange à tête brune

Lorsqu'on effectue des corrélations de Pearson entre l'abondance de la Mésange à tête brune l'automne à Tadoussac (Tableau 13) et la production de graines de sapin, de l'épinette blanche du Bouleau à papier pour la période allant de 1996 à 2007 (Tableau 2), on ne constate aucune corrélation significative (Tableau 14). Néanmoins, on peut remarquer une tendance négative entre la production de graines de sapin et d'épinette blanche et ces mouvements. En fait, on peut noter que les trois meilleures années de production de graines pour le sapin et l'épinette blanche soit 1996, 2003 et 2006 (Tableau 2) ont été des années où les Mésanges à tête brune n'ont pas effectués de mouvements de masse automnaux à Tadoussac (Tableau 13).

Néanmoins, en 2000 et en 2002, il n’y avait pas une forte production de graines et les mésanges n’ont pas effectué de déplacement pour autant.

Tableau 13. Variation interannuelle de la Mésange à tête brune

Année	OOT	EPOQ (indice d’abondance)	Feeder Watch (%)	Recensement des oiseaux de Noël (Nombre d’oiseaux totaux)				
				Québec	Longueuil	Forillon	Ottawa	Chicoutimi
1996	5	0,523	N/A	0	0	3	0	0
1997	821	0,48	N/A	1	0	23	0	2
1998	5234	1,789	N/A	0	0	20	0	9
1999	2945	0,758	N/A	3	0	5	0	16
2000	0	0,536	N/A	0	0	2	2	0
2001	1181	0,378	N/A	0	0	3	0	8
2002	19	0,691	N/A	0	0	0	0	0
2003	3	0,542	N/A	0	0	14	0	0
2004	793	0,371	N/A	0	0	6	1	1
2005	661	0,47	N/A	0	0	5	0	1
2006	1	0,554	N/A	0	0	10	0	0
2007	1365	0,382	N/A	0	0	7	0	10
2008	4331	0,118	N/A	0	0	10	0	0
CV(%)	130,9	67,6	N/A	277,8	N/A	84,0	259,6	146,6

Tableau 14. Corrélations de Pearson et Spearman entre l'abondance de la Mésange à tête brune à Tadoussac et la production semencière en forêt boréale

Mésange à tête brune (Tadoussac)	Sapin baumier	Épinette blanche	Bouleau à papier
r	-0,264	-0,251	-0,044
P	0,434	0,457	0,893
N	11	11	12
r_s	-0,436	-0,245	-0,252
P	0,18	0,467	0,430
N	11	11	12

** . La corrélation est significative au niveau 0,050 (bilatéral).

* . La corrélation est significative au niveau 0,100 (bilatéral).

Il est à noter que ces éruptions automnales ne se traduisent pas en véritables invasions hivernales pour autant. En effet, le nombre moyen d'individus signalé sur les feuillets ÉPOQ au sud du 48^{ième} parallèle entre le 1^{er} décembre et le 29 février (Tableau **13**) demeure en moyenne extrêmement bas avec 0,124 individus par feuillet et l'espèce n'est généralement pas détectée dans les RON plus au sud, probablement parce que ceux-ci sont généralement effectués autour des zones habitées. Néanmoins, malgré le petit nombre de mentions rapportées pendant l'hiver, le nombre d'individus rapportés par feuillet ÉPOQ au sud du 48^{ième} parallèle entre le 1^{er} décembre et le 29 février de 1996 à 2008 est assez bien corrélé avec les chiffres observés à Tadoussac ($r=0,503$; $p=0,08$). Le seul recensement de Noël qui rapporte la Mésange à tête brune régulièrement et dont les données sont corrélées aux observations de Tadoussac est celui de Chicoutimi ($r=0,519$; $p=0,069$).

Tableau 15. Corrélation de Spearman entre l'abondance de la Mésange à tête brune à Tadoussac (OOT) et dans différents RON**

RON (Mésange à tête brune)	OOT (Mésange à tête	
Longueuil	r_s	-
	P	-
	N	12
Forillon	r_s	0,35*
	P	0,24
	N	12
Ottawa	r_s	-0,37*
	P	0,22
	N	12
Québec	r_s	0,30*
	P	0,32
	N	12
Chicoutimi	r_s	0,53*
	P	0,00
	N	12

*. La corrélation est significative au niveau 0,100 (bilatéral).

** La Mésange à tête brune est absente ou exceptionnelle dans la plupart des RON sauf celui de Forillon et de Chicoutimi.

Discussion

Bec-croisé bifascié

Même si la relation entre les cônes d'Épinettes blanches et les Becs-croisés bifasciés est bien connue, le fait qu'elle n'ait jamais pu être bien corrélée provient probablement de la rareté des données à long terme dans les milieux boréaux et de l'apparente imprécision des RON pour bien mesurer ces mouvements. Par ailleurs, des données du recensement d'oiseaux nicheurs «Breeding Bird Survey» en milieu boréal existent mais elles sont essentiellement amassées en juin (Peterjohn, 1994). De son côté, le Bec-croisé bifascié profite généralement de la manne des cônes d'Épinette blanche pour se reproduire à partir de la fin juillet (Benkman, 1987). Les mouvements migratoires automnaux qui suivent cette reproduction sont probablement la façon la plus précise de mesurer l'ampleur de ces éruptions, à condition d'être dans un corridor important pour cette espèce, comme c'est le cas pour l'OOT. Ces mouvements mettent aussi en lumière le fait que les becs-croisés ne se sédentarisent pas pendant les années de fortes productions de cônes et qu'après leur nidification, ces oiseaux sont en constant mouvement. Néanmoins, la corrélation de Pearson enregistrée entre l'abondance des Bec-croisés bifasciés à Tadoussac et la production de cônes d'Épinettes blanches n'est due qu'au nombre exceptionnel d'oiseaux observés en 2006. Si l'on enlève cette année, il n'y a plus de corrélation positive significative ($r = -0.080$). Si le nombre exceptionnel de Becs-croisés bifasciés de 2006 est certainement attribuable, au moins en bonne partie, à la production de semences

exceptionnelle de l'Épinette blanche pendant cette année, il semble que les années où les becs-croisés sont plus rares ne sont pas nécessairement reliées à des productions nulles de cônes chez ce résineux. L'absence de données sur la production de cônes du Mélèze laricin pourrait expliquer en partie les difficultés à expliquer précisément les causes inhérentes aux faibles années d'abondances pour le Bec-croisé bifascié.

Sizerin flammé

La corrélation négative entre la production de bouleau et l'abondance du sizerin dans le sud du Québec selon ÉPOQ, selon PFW et selon différents RON est particulièrement frappante. Le sizerin n'est pas un spécialiste exclusif du bouleau et il peut aussi ajouter des graines de conifères, d'aulnes et de saules à sa diète. Cependant, il apparaît que sa relation avec celui-ci soit suffisamment forte pour jouer un impact majeur dans ses incursions vers le sud l'hiver. Ces résultats soutiennent la « seed-crop failure » hypothesis à partir de trois bases de données indépendantes. Cette même relation négative entre le bouleau et le sizerin a été documentée en Angleterre et en Finlande (Eriksson, 1970). Des études récentes n'arrivent pas à établir cette corrélation entre la production de graines et les invasions de Sizerins flammés en Amérique du Nord, ni à expliquer d'aucune façon ces éruptions mais leurs analyses n'incluent que des données sur la production de semences des conifères (Koenig et Knops, 2001). Sachant que les graines de bouleau sont considérées comme la source première de nourriture du Sizerin flammé (Newton, 1970 in Bock and Lepthien, 1976), il serait difficile de considérer la récurrence de cette relation inverse comme étant le fruit du hasard. S'il semble que la production de graines de bouleaux à papier aura un effet sur la dispersion hivernale du sizerin, il semble peu probable qu'elle n'en ait sur son succès de reproduction puisque la présence du bouleau à

papier ne s'étend pas de façon continue dans la taïga subarctique et la toundra, là où le sizerin niche (Marie-Victorin et al, 1995). Et comme l'espèce n'hiverné pas dans les milieux toundriques, il apparaît que sa première option sera d'hiverner en forêt boréale en profitant de la production du bouleau. Elle choisira de poursuivre vers le sud seulement si cet arbre n'aura pas produit assez de nourriture pour soutenir son hivernage. Les données de Tadoussac, pour le sizerin, montrent un caractère éruptif qui est toutefois distinct des ses invasions hivernales plus au sud puisqu'aucune corrélation n'est notée entre les nombres observés à Tadoussac et ceux plus au sud pendant l'hiver (obtenus par ÉPOQ, PFW).

Tarin des pins

En ce qui a trait au Tarin des pins, le fait que cette espèce puisse rechercher sa nourriture sur une grande variété de plantes, d'arbres, d'arbustes et d'herbes (Dawson, 1997) pourrait expliquer pourquoi elle n'est pas assujettie aux variations de la production de semences d'une espèce d'arbre en particulier en forêt boréale. En effet, aucune corrélation n'est notée à ce niveau. Néanmoins, contrairement au sizerin, l'abondance du Tarin des pins pendant sa migration automnale à Tadoussac constitue un excellent outil prédictif sur son abondance à venir, l'hiver suivant aux mangeoires et dans le sud du Québec.

Durbec des sapins

Le Durbec des sapins constitue l'espèce de fringillidé dite éruptive, recensée à Tadoussac, dont le coefficient de variation est le moins important. Contrairement aux autres espèces étudiées, des nombres de durbecs relativement importants migrent chaque année, même pendant les périodes d'abondance les plus faibles.

Cette espèce se nourrit très peu de graines de conifères. Selon l'analyse de 394 contenus stomacaux en Alaska obtenus en été, seulement 4% du volume était constitué de graines de conifères (Gabrielson, 1924, in Austin, 1968, in Adkisson, 1999). Il n'est donc pas surprenant que l'abondance du durbec ne soit pas corrélée positivement avec la production de graines. En fait, il existe une corrélation négative entre la production de semences chez le sapin et l'abondance du durbec à Tadoussac. Si cette relation peut sembler surprenante à première vue, elle pourrait s'expliquer par le fait que les bourgeons de conifères (jeunes aiguilles) peuvent représenter la source de nourriture la plus importante chez le durbec, même si la diète de cette espèce est passablement variée (Gabrielson, 1924, in Austin, 1968, in Adkisson, 1999). Or, il a été démontré que les années de forte production de graines, les arbres réduisent proportionnellement leur croissance végétative en effectuant un transfert de ressources, particulièrement chez les conifères nord-américains (Koenig et Knops, 1998). La diminution de la croissance végétative devrait, par conséquent, diminuer la quantité de jeunes bourgeons qui constituent une source de nourriture importante pour cette espèce. Afin d'explorer davantage cette nouvelle hypothèse, des études sur le régime alimentaire de cette espèce sur les aires de nidification, en alternance, les années de fortes et de faibles production semencières, seraient nécessaires. Par ailleurs, le fait que les données de Durbec des sapins et de Merle d'Amérique en migration l'automne à Tadoussac soient corrélées positivement semble indiquer que la production de fruits par les sorbiers (*Viburnum*) pour laquelle nous ne possédons pas de données quantitatives pourrait jouer un rôle important dans l'aspect éruptif de la migration du durbec. La proportion de fruits dans la diète des merles l'automne et l'hiver est d'une valeur médiane de plus de 90% (Wheelright, 1986, Sallabanks et James, 1999). La seule espèce de fruit

abondante à pouvoir persister pendant l'hiver dans la grande forêt de conifères du Québec est celui du sorbier (*Sorbus americana*) (Marie-Victorin et al, 1995) et il s'agit par conséquent de la principale ressource limitante pouvant pousser les merles à migrer ou à rester dans les régions nordiques pendant l'hiver. Vraisemblablement, les années de fortes productions de fruits de sorbiers inciteraient les merles et durbecs à rester plus au nord en plus grands nombres et à l'inverse, à descendre vers le sud lorsque les fruits sont rares. Ce serait pendant ces années de faibles productions que les deux espèces seraient le plus susceptibles d'être notées en bons nombres lors de leur passage à Tadoussac. Des données quantitatives sur les fruits de *Sorbus americana* seraient nécessaires pour confirmer cette hypothèse bien qu'il soit déjà admis que cette source de nourriture puisse influencer la migration et l'hivernage du durbec (Forbush, 1929, Rising, 1965, Reigh, 1981 in Adkisson, 1999).

Mésange à tête brune

Les mouvements sporadiques importants de Mésanges à tête brunes détectés à Tadoussac constituent un des phénomènes de migration éruptive chez les passereaux boréaux les moins bien connus. La Mésange à tête brune se nourrit en grande partie d'arthropodes l'été (lépidoptères, coléoptères et autres insectes) alors que l'hiver, elle consomme des insectes en hibernation, des pupes ainsi que des œufs d'insectes (Bent, 1946). Cependant, la Mésange à tête brune demeure omnivore et consomme également les graines des conifères et des bouleaux (Oatman, 1985).

En fait, on peut noter que les trois meilleures années de production de graines pour le sapin et l'Épinette blanche soit 1996, 2003 et 2006 ont été des années où les Mésanges à tête brune n'ont pas effectué de mouvements de masse automnaux à Tadoussac. Cependant, les irrptions de Mésanges à tête brune ne sont pas nécessairement associées à de très mauvaises années semencières ce qui indique que d'autres variables inconnues semblent entrer en ligne de compte. La nature omnivore de cette espèce pourrait également laisser croire que les facteurs influençant ces invasions ne sont pas nécessairement toujours les mêmes.

Le nombre d'individus recensés pendant les RON pour la Mésange à tête brune demeure toujours très faible (avec un maximum de 16 individus au RON de Chicoutimi). Cela suggère néanmoins que les migrations sporadiques entreprises par les Mésanges à tête brune juvéniles l'automne se font généralement sur des distances relativement courtes si on tient compte que seul le RON de Chicoutimi, situé à moins de 150 km à l'ouest de Tadoussac, semble capter le signal de ces mouvements une fois l'hiver venu. Les faibles nombres rapportés en hiver

semblent également indiquer que ces mouvements de groupes se font essentiellement l'automne et que les individus détectés pendant la saison froide sont probablement établis sur leur site d'hivernage. Il demeure que ce phénomène peu connu demanderait à être investigué davantage afin d'être mieux compris.

Conclusions

Le premier objectif qui visait à déterminer si la production semencière de l'année en cours influençait positivement l'abondance des fringillidés durant leurs mouvements automnaux et pendant l'hiver a été partiellement atteint. L'analyse de ces données indiquent que la production de graines par les arbres en forêt boréale joue un rôle majeur dans l'abondance et la distribution des fringillidés, non seulement dans le sud du Québec, mais à l'intérieur même de la forêt boréale. C'est surtout le cas du Bec-croisé bifascié qui est corrélé positivement avec la production de cônes de l'Épinette blanche tandis que la production de graines du Bouleau à papier est corrélée négativement avec l'abondance du Sizerin flammé en hiver dans le sud du Québec. Cependant, la production semencière ne semble pas expliquer à elle seule les variations interannuelles des différentes espèces à l'étude en particulier chez le Tarin des pins, le Durbec des sapins et la Mésange à tête brune. D'autres facteurs, pour l'instant inconnus, semblent également entrer en ligne de compte.

Le deuxième objectif qui visait à déterminer si les mouvements de fringillidés en milieu boréal l'automne constituent un bon outil pour prédire leur abondance au sud de l'écosystème boréal pendant l'hiver a également été atteint. On note que l'abondance du Bec-croisé bifascié

et du Tarin des pins, l'automne en migration, à l'Observatoire d'oiseaux de Tadoussac constitue un outil de prédiction fiable pour évaluer l'abondance de ces espèces au sud du 48^{ième} parallèle, au Québec, pendant l'hiver. L'abondance du Sizerin flammé l'automne à Tadoussac ainsi que celle du Durbec des sapins ne constituent cependant pas un outil fiable dans la prédiction de leur abondance hivernale méridionale. Finalement, les mouvements massifs de jeunes Mésange à tête brune notés à Tadoussac l'automne deviennent indétectables, l'hiver venu. L'absence de connaissances et de documentation sur la dispersion saisonnière de jeunes Mésanges à tête brune devraient inciter à effectuer davantage de recherches afin de tenter de mieux comprendre les facteurs écologiques mis en cause.

Bibliographie

Adkisson, C. S. 1999. Pine Grosbeak (*Pinicola enucleator*), The Birds of North America Online, No. 456 (A. Poole, Ed.). Ithaca: Cornell Lab of Ornithology; Retrieved from the Birds of North America Online:
http://bna.birds.cornell.edu/bna%22%20target%3D%22_top%22%20rel%3D%22nofollow/species/456doi:10.2173/bna.456.

Andersson, M. 1980. Nomadism and site tenacity as alternative reproductive tactics in birds. *Journal of Animal Ecology*. 49: 175-184.

Austin, O. L. 1968. Life histories of North American cardinals, grosbeaks, buntings, towhees, finches, sparrows and allies, Part 1. *U.S. Natl. Mus. Bull.* 237:326-346.

Benkman, C. W. 1987. Food profitability and the foraging ecology of crossbills. *Ecological Monographs*. 57 (3): 251-267.

Benkman, C. W. 1992. White-winged Crossbill (*Loxia leucoptera*), The Birds of North America Online, No. 27 (A. Poole, Ed.). Ithaca: Cornell Lab of Ornithology; Retrieved from the Birds of North America Online:
http://bna.birds.cornell.edu/bna%22%20target%3D%22_top%22%20rel%3D%22nofollow/species/027doi:10.2173/bna.27.

Bent, A. C. 1946. Life histories of North American jays, crows, and titmice. *U.S. Natl. Mus. Bull.* 191.

Berthiaume, E. et B. Drolet. 2007. Rapport d'activité de la saison 2006. Observatoire d'oiseaux de Tadoussac, Explos-Nature, Les Bergeronnes (Québec), 30 pages + annexes.

Bird Studies Canada et Cornell Lab of Ornithology. 2009. Project FeederWatch. Données obtenues de NatureCounts, a node of the Avian Knowledge Network, Bird Studies Canada. Disponible: <http://www.naturecounts.ca/>.

Bock, C. E. et L.W. Lepthien. 1976. Synchronous eruptions of boreal seed-eating birds. *The American Naturalist*. 110: 559-571.

Bock, C. E. et D. L. Larson. 1985. Eruptions of some North American boreal seed-eating birds 1901-1980. *Ibis*. 128: 137-140.

Bohlen, H. D. 1989. *The birds of Illinois*. Indiana Univ. Press, Bloomington, IN.

Bolgiano, N.C. 2004. Cause Effect, changes in boreal bird irruptions in Eastern North America Relative to the 1970s Spruce Budworm Infestation. Am. Birds. 104th Christmas Bird Count: 26-3

Booth, W. M. 1971. The season in Berrien County : August 16 to November 30. Goldeneye 10:3

Brewer, R., G. A. McPeak, and R. J. Adams, Jr. 1991. The atlas of breeding birds of Michigan. Michigan State Univ. Press, East Lansing.

Cadieux, Édith. 2010. L'entomofaune des cônes de Sapin baumier (*Abies Balsamea* (L.) Mill) et son impact sur la régénération. Thèse présentée comme exigence partielle du doctorat en biologie. UQ ÀM. 176pp.

Côte, P. 2009. Rapport d'activités de la saison 2008. Observatoire d'oiseaux de Tadoussac, Explos-Nature, Les Bergeronnes (Québec), 36 pp + annexes.

Cyr, A. et J. Larivée. 1995. Atlas saisonnier des oiseaux du Québec. Presses de l'Université de Sherbrooke et Société de Loisir Ornithologique de l'Estrie, Sherbrooke.

Dawson, W. R. 1997. Pine Siskin (*Carduelis pinus*), The Birds of North America Online, No. 280 (A. Poole, Ed.). Ithaca: Cornell Lab of Ornithology; Retrieved from the Birds of North America Online: <http://bna.birds.cornell.edu/bna/species/280doi:10.2173/bna.280>

Eriksson, K. 1970. Ecology of the irruption and wintering of Fennoscandian reppolls (*Carduelis flammea* coll.).Annals Zoologica Fennici, 7, 273–282.

Evans, P.R. 1966. Autumn movements, moult and measurement of the lesser redpoll, *Carduelis flammea*. Ibis, 106: 183-216.

Ficken, M.S., M.A. McLaren et J.P. Hailman. 1996. Boreal Chickadee (*Poecile hudsonica*), The Birds of North America Online, No. 254 (A. Poole, Ed.). Ithaca: Cornell Lab of Ornithology; Retrieved from the Birds of North America Online: http://bna.birds.cornell.edu/bna%22%20target%3D%22_top%22%20rel%3D%22nofollow/species/254doi:10.2173/bna.254.

Formozov, A.N. (1960) La production de graines dans les forêt de conifères de la taiga de l'U.R.S.S. et l'envahissement de l'Europe occidentale par certaines espèces d'oiseaux. Proceedings of the International Ornithological Congress, 12, 216–229.

Forbush, E. H. 1929. The birds of Massachussets and other New England states. Mass. Dep. Agric. Norwood Press, Boston.

Fowells, H.A., 1965. Silvics of Forest trees of the United States, Agriculture Handbook, No. 271. USDA Forest Service.

- Gabrielson, I. N. 1924. Food habits of some winter bird visitants. U.S. Dep. Agric. Bull. 1249.
- Gendreau, B., F. Gagnon, M. Cousineau, et J-P.L. Savard. L. 2008. Relevés visuels d'oiseaux migrateurs diurnes sur la Côte-Nord à l'automne 2006. Série de rapports techniques, no 478, Service canadien de la faune d'Environnement Canada, région du Québec, Sainte-Foy, 79 pages.
- Haapanen, A. 1966. Bird fauna of the Finnish forests in relation to forest succession. *Annales Zoologici Fennici* 3: 176-200.
- Hochachka. W. M. 1999. Irruptive migration of Common Redpolls. *The Condor*. 101:195-204.
- Janssen, R. B. 1987. [Birds in Minnesota](#). Univ. of Minnesota Press, Minneapolis.
- Janzen, D.H. 1971. Seed predations by animals. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2: 465-492.
- Knox, Alan G. et P. E. Lowther. 2000. Common Redpoll (*Carduelis flammea*), *The Birds of North America Online*, No. 543 (A. Poole, Ed.). Ithaca: Cornell Lab of Ornithology; Retrieved from the *Birds of North America Online*:
http://bna.birds.cornell.edu/bna%22%20target%3D%22_top%22%20rel%3D%22nofollow/species/543doi:10.2173/bna.543.
- Koenig, W.D. 2001. Synchrony and periodicity of eruptions by boreal birds. *The Condor* 103: 725-735.
- Koenig, W.D. et J.M.H. Knops, 1998. Scale of mast seeding and tree-ring growth. *Nature* 396: 225-226.
- Koenig, W.D. et J.M.H. Knops. 2001. Seed-crop size and eruptions of North American boreal seed-eating birds. *Journal of Animal Ecology*. 70: 609-620.
- Lack. D. 1954. *The natural regulation of animal numbers*. Clarendon. Oxford, UK
- LaMontagne, J.M, S. Peters et S. Boutin. 2005. A visual index for estimating cone production for individual white spruce trees. *Can. J. For. Res.* 35: 3020-3026
- Larivée, J. 2009. Étude des populations d'oiseaux du Québec (Version 2009-10-15) [base de données]. Rimouski, Québec : Regroupement QuébecOiseaux
- Larson, D.L. et C.E. Bock. 1986. Eruptions of some North American seed-eating birds. *Ibis*, 128: 137-140.

Marie-Victorin, F., E. Blondeau et L. Brouillet. 1995. Flore Laurentienne. p 318. Éditions Les Presses de l'Université de Montréal

National Audubon Society. 2009. Christmas Bird Count. Données obtenues sur: <http://birds.audubon.org/christmas-bird-count>

Newton. I. 2006. Advances in the study of irruptive migration. *Ardea*. 94 (3): 433-460

Newton. I. 1970. Irruptions of crossbills in Europe. *Animal Populations in Relation to their Food Resources* (ed. A. Watson), pp. 337-357. Blackwell, Oxford.

Newton. I. 1972. Finches. Collins, London, England.

Oatman, G. F. 1985. Boreal Chickadee. Pages 212-213 in *The Atlas of breeding birds of Vermont*. (Laughlin, S. B. and D. P. Kibbe, Eds.) Univ. Press of New England, Hanover.

Peterjohn, B. G. 1994. The North American Breeding Bird Survey. *Birding* 26: 386-398.

Price, J., S. Droege, et A. Price. 1995. The summer atlas of North American birds. Academic Press, London.

Reinikainen, A. 1937. The irregular migrations of the crossbill (*L. c. curvirostra*) and their relation to the cone crop of the conifers. *Ornis Fennica* 14:55-64.

Reigh, R. C. 1981. Winter foods of the Pine Grosbeak in eastern North Dakota. *Prairie Nat.* 13:52-54.

Rising, J. D. 1965. Townsend Solitaire and Pine Grosbeak in Missouri. *The Auk* 82:275.

Robbins, M. B. et D. A. Easterla. 1992. *Birds of Missouri*. Univ. of Missouri Press, Columbia, MO.

Robbins, Jr., S. D. 1991. *Wisconsin birdlife*. Univ. of Wisconsin Press, Madison.

Sallabanks, R. et F. C. James. 1999. American Robin (*Turdus migratorius*), *The Birds of North America Online*, No. 462 (A. Poole, Ed.). Ithaca: Cornell Lab of Ornithology; Retrieved from the *Birds of North America Online*: <http://bna.birds.cornell.edu/bna/species/462>.

Schoewville, 2009, Teslin Lake Bird Observatory Final Report, Teslin Lake Bird Observatory, Yukon, 138 pp.

Silverstow, J.W. 1980. The evolutionary ecology of mast seeding in trees, *Biological Journal of the Linnean Society*: 14 235-250.

Simard, A.A. 2010. Dynamique de la banque de semis de Sapin baumier (*Abies balsamea*) sous couvert forestier : 12 ans de suivi. Mémoire présenté à l'Université du Québec à Chicoutimi comme exigence de la maîtrise en ressources renouvelables. 64 pp.

Smith, A. R. 1996. Atlas of Saskatchewan birds. Sask. Nat. Hist. Soc. Spec. Publ. no. 22.

SPSS 18.0 Command Syntax Reference 2009, SPSS Inc., Chicago Ill.

Troy, D.C. 1983. Recaptures of redpolls: movements of an irruptive species. J. Field Ornithol. 54 (2): 146-151.

Ulfstrand, S. 1963. Ecological aspects of irruptive bird migration in Northwestern Europe. *Proceedings of the International Ornithological Congress*. 14, 780-794.

Van Gasteren, H., K. Monstert, H. Groot, et L. Van Ruiten. 1992. The irruption of the coal tit *Parus ater* in the autumn of 1989 in the Netherlands and Northwest Europe. *Limosa*. 65, 57-66.

Waldron, R.M. 1965. Cone production and seedfall in a mature white spruce stand. *Forestry Chronicles*. 316-329.

Weir, R. 1985. Ontario Region, *American Birds*. 39: 48-50.

Wheelwright, N. 1986. The Diet of American Robins: An Analysis of U.S. Biological Survey Records. *The Auk*. 103 (4) : 710-725.

Widrechner, M.P. et S.K. Dragula. 1984. Relation of cone-crop size to irruptions of four seed-eating birds in California, *American Birds*. 28: 840-846.

Yunick, R. P. 1984 .An assessment of the irruptive status of the Boreal Chickadee in New York State. *J. Field Ornithol*. 55:31-37.

Zar, J. H. 1998. *Biostatistical analysis*. 4th ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Annexes (Tableaux de normalité)

Tableau 16. Test de Khomogorov-Smirnov sur la distribution des données de fringillidés à Tadoussac

	Bec-croisé bifascié	Sizerin flammé	Tarin des pins	Durbec des sapins	Mésange à tête brune
Signification asymptotique bilatérale	0,196	0,454	0,268	0,410	0,332

**La signification asymptotique bilatérale est, dans tous les cas, supérieure à 0,05. Le résultat n'est donc pas significatif ce qui signifie que la distribution est normale

Tableau 17. Test de Khomogorov-Smirnov sur la distribution de la production de graines

	Bouleau à papier (Lac-St-Jean)	Sapin baumier (Lac-St-Jean)	Épinette blanche (Lac-St-Jean)	Épinette blanche (Rivière-du-Loup)
Signification asymptotique bilatérale	0,809	0,542	0,213	0,242

** La signification asymptotique bilatérale est, dans tous les cas, supérieure à 0,05. Le résultat n'est donc pas significatif ce qui signifie que la distribution est normale

Tableau 18 Test de Khomogorov-Smirnov sur la distribution de l'occurrence selon PFW

	Sizerin flammé	Tarin des pins	Durbec des sapins
Signification asymptotique bilatérale	0,403	0,606	0,506

** La signification asymptotique bilatérale est, dans tous les cas, supérieure à 0,05. Le résultat n'est donc pas significatif ce qui signifie que la distribution est normale

Tableau 19. Test de Khomogorov-Smirnov sur la distribution de l'indice d'abondance d'ÉPOQ

	Bec-croisé bifascié	Sizerin flammé	Tarin des pins	Durbec des sapins	Mésange à tête brune
Signification asymptotique bilatérale	0,564	0,806	0,370	0,785	0,194

** La signification asymptotique bilatérale est, dans tous les cas, supérieure à 0,05. Le résultat n'est donc pas significatif ce qui signifie que la distribution est normale