



Tracer la prospérité de l'avenir des oiseaux de l'Amérique du Nord

les nouveaux défis de conservation à surmonter à l'aide des innovations et des technologies importantes qui ont vu le jour depuis les 100 ans de la Convention concernant les oiseaux migrateurs



AUTEURS

Jeff Wells, Ph. D.

Directeur scientifique et politique, Boreal Songbird Initiative

David Childs

Spécialiste des communications et des politiques, Boreal Songbird Initiative

Frederic Reid, Ph. D.

Directeur de la conservation des milieux boréaux et articles, Ducks Unlimited Inc.

Kevin Fraser, Ph. D.

Professeur adjoint en sciences biologiques, Université du Manitoba

Amélie Roberto-Charron, M. Sc.

Étudiante, Université du Manitoba

John W. Fitzpatrick

Directeur administrative, Cornell Lab of Ornithology

Marcel Darveau, Ph. D.

Directeur de la conservation et de la recherche en milieu boréal, Québec, Canards Illimités Canada

Kevin Smith

Directeur national aux programmes boréaux, Canards Illimités Canada

Susan Bonfield, Ph. D.

Directrice administrative, Environment for the Americas

À PROPOS DE LA BOREAL SONGBIRD INITIATIVE

La Boreal Songbird Initiative (BSI) est un organisme sans but lucratif voué à éduquer et à sensibiliser le public sur l'importance de la forêt boréale pour les oiseaux et autres animaux sauvages de l'Amérique du Nord et pour l'environnement planétaire.

À PROPOS DE CORNELL LAB OF ORNITHOLOGY

Le laboratoire d'ornithologie de l'Université Cornell (Cornell Lab of Ornithology) est un chef de file mondial en matière d'études et de conservation des oiseaux et est considéré comme une plaque tournante en enseignement des sciences de la biodiversité. Il se démarque par son excellence scientifique et son innovation technologique ainsi que ses avancées portant sur la compréhension de la nature. L'établissement est fréquenté par des personnes engagées de tous les âges qui s'intéressent aux oiseaux et à la protection de la planète. Fondé en 1915, ce laboratoire est une organisation sans but lucratif de l'Université Cornell et compte 100 000 membres et sympathisants.

À PROPOS DE DUCKS UNLIMITED INC.

Ducks Unlimited Inc. (DU) est le plus grand organisme sans but lucratif au monde se consacrant à la protection des habitats d'oiseaux aquatiques de l'Amérique du Nord contre la menace constante de disparition. Fondé en 1937, DU a préservé plus de 13 millions d'acres grâce aux contributions provenant de plus d'un million de sympathisants de partout sur le continent. Éclairé par la science et voué à l'efficacité de ses programmes, DU travaille à concrétiser sa vision qui vise à préserver un nombre suffisamment grand de milieux humides pour remplir le ciel d'oiseaux aquatiques, et ce, aujourd'hui, demain, et pour toujours.

À PROPOS DE CANARDS ILLIMITÉS CANADA

Canards Illimités Canada (CIC) est un chef de file en matière de conservation des milieux humides. À titre d'organisme de bienfaisance enregistré, CIC agit en partenariat avec le gouvernement, le secteur de l'industrie, des organismes sans but lucratif et des propriétaires terriens pour conserver des milieux humides qui sont essentiels pour les oiseaux aquatiques, la faune et l'environnement.

À PROPOS D'ENVIRONMENT FOR THE AMERICAS

Environment for the Americas (EFTA) est un organisme sans but lucratif qui travaille à l'organisation de la Journée internationale des oiseaux migrateurs et autres projets et programmes voués à améliorer l'éducation en matière de conservation des oiseaux. EFTA collabore avec ses différents partenaires sur des programmes à la grandeur de l'hémisphère occidental.

CITATION SUGGÉRÉE

Wells, J., D. Childs, F. Reid, K. Fraser, A. Roberto-Charron, J. Fitzpatrick, M. Darveau, K. Smith et S. Bonfield. 2016. Tracer la prospérité de l'avenir des oiseaux de l'Amérique du Nord : les nouveaux défis de conservation à surmonter à l'aide des innovations et des technologies importantes qui ont vu le jour depuis les 100 ans de la Convention concernant les oiseaux migrateurs. Boreal Songbird Initiative, Seattle, Washington, Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York, Ducks Unlimited Inc., Memphis, Tennessee, et Canards Illimités Canada, Stonewall, Manitoba, Environment for the Americas, Boulder, Colorado.

REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent témoigner de leur profonde reconnaissance à tous ceux qui ont contribué à façonner ce rapport et qui ont joué un rôle actif au cours des différentes étapes de sa réalisation, c'est-à-dire de la conceptualisation jusqu'à la version définitive de cette publication. Parmi toutes ces personnes, mentionnons notamment Sheldon Alberts, Leslie Bogdan, Valerie Courtois, Emily Cousins, Sean Durkan, Kelly Frawley, Deanna Hoffman, Lisa Holmes, Larry Innes, Jennifer Lamson, Stuart Mackenzie, Dan Mazerolle, Lindsay McBlane, Lisa McCrummen, Lane Nothman, Chris Rimmer, Kristen Ruegg, Fletcher Smith, Thomas Smith, Meredith Trainor et Bryan Watts.

CRÉDITS

Photos de la page couverture : Image satellite de l'Amérique du Nord © NASA; forêt boréale © Valerie Courtois; oiseaux en encarts © Jeff Nadler.

Mise en page, présentation graphique et cartes de Red Lemon Creative.

Tous droits réservés © 2016 Boreal Songbird Initiative, Cornell Lab of Ornithology, Ducks Unlimited Inc. et Canards Illimités Canada, Environment for the Americas.

Matières

Sommaire exécutif	5
Introduction	9
Élucider les mystères de la migration	14
Radiotélémetrie automatisée	16
Surveillance satellite et GPS/GSM	18
Géolocateurs d'intensité lumineuse	20
Analyse d'isotopes stables	22
Marqueurs génétiques	24
Détection radio et audio	26
Science citoyenne	28
Conclusions et recommandations	30
Ouvrages Cités	32



© JEFF NADLER

Le petit morillon est l'une des nombreuses espèces de sauvagines d'Amérique du Nord ayant enregistré une baisse de population depuis les dernières décennies.



© JEFF NADLER

Le déclin des populations de la paruline du Canada, si bien nommée, a stimulé les chercheurs à surveiller cette espèce de plus près ces dernières années.



© JEFF NADLER

Les populations de quiscale rouilleux ont diminué de plus de 90 % depuis 1960, représentant l'une des plus fortes baisses parmi les oiseaux de l'Amérique du Nord.



Sommaire exécutif

Cette année, le Canada et les États-Unis souligneront le centième anniversaire de la Convention concernant les oiseaux migrateurs, et ces pays ont de quoi être fiers. Cette convention est devenue l'un des traités de protection de l'environnement les plus brillants de toute l'histoire. C'est grâce à cette convention qu'un nombre incalculable d'oiseaux tout près de l'extinction ont connu un rebondissement de population et que les Canadiens et les Américains se sont rapprochés pour protéger les oiseaux migrateurs qu'ils ont en commun.

Ce traité constituait une percée majeure pour l'époque : freiner la chasse non contrôlée qui menaçait un très grand nombre d'espèces d'oiseaux. Aujourd'hui, les oiseaux migrateurs sont confrontés à de nouvelles menaces. Au cours des cinquante dernières années, des causes complexes, allant de la perte d'habitat aux changements climatiques, ont entraîné auprès de certaines espèces d'oiseaux des baisses de population variant entre 70 % et 90 %.

Il est maintenant temps qu'une autre percée en matière de conservation des oiseaux voie le jour. Les toutes dernières avancées technologiques ont amené de nouvelles connaissances sur les migrations d'oiseaux entre le Canada et les États-Unis, lesquelles confirment qu'une seule région relie la majorité des routes migratoires : la forêt boréale de l'Amérique du Nord. Ces nouvelles connaissances renforcent aussi le consensus scientifique entourant une approche globale pour protéger la région de la forêt boréale.

L'ensemble de ces technologies aideront à soutenir les cent prochaines années de conservation des oiseaux migrateurs.

PRINCIPALES DÉCOUVERTES : DE NOUVELLES DÉCOUVERTES SUR L'ÉTENDUE DES MIGRATIONS ET LE RÔLE DE LA FORÊT BORÉALE

Les progrès technologiques récents ont aidé à lever le voile sur certains mystères concernant les oiseaux migrateurs grâce à l'obtention de données détaillées sur les déplacements des oiseaux migrateurs à l'échelle hémisphérique. Fait encore plus important, ces technologies fournissent des renseignements à propos de ce que nous pouvons faire afin de mieux protéger les oiseaux :

- Les technologies de surveillance par satellite et de géolocalisation apportent des données approfondies à propos des moments et des lieux de départ et d'arrivée des oiseaux, et des sites dans lesquels ils font halte. Ces données peuvent éventuellement servir à la protection d'aires essentielles d'habitats servant de halte migratoire;
- Les technologies radars et de tri audio décrivent de nouvelles réalités de la migration nocturne, notamment la découverte de secteurs auparavant inconnus sur le territoire qui sont essentiels aux haltes de repos quotidiennes de certains oiseaux chanteurs pendant leur migration;
- Les analyses d'isotopes et de marqueurs génétiques établissent des rapprochements entre des sous-populations régionales à l'intérieur des aires de reproduction et d'hivernage des espèces, ce qui aide à mieux comprendre les causes sous-jacentes aux flux de populations régionales et globales;
- Les plateformes Internet qui regorgent de millions de rapports d'observation de citoyens ordinaires disponibles pour être téléchargés et analysés instantanément permettent d'identifier les grandes tendances, comme les changements de distribution ou le temps des migrations;
- Mises ensemble, ces technologies permettent de confirmer que des milliards d'oiseaux commencent leurs migrations en partance de la forêt boréale de l'Amérique du Nord et que cette région représente une aire de reproduction essentielle pour de nombreux oiseaux de ce même continent.

La principale découverte, et même la plus importante, qui découle des applications de toutes ces technologies révèle que les oiseaux migrateurs ont besoin d'habitats intacts sur de vastes échelles afin de satisfaire aux exigences de tout leur cycle de vie : aire de reproduction, aire d'hivernage et halte migratoire.

Un peu partout dans le monde, il est simplement impossible de conserver des habitats sur de grandes échelles. La forêt boréale de l'Amérique du Nord est peut-être un des seuls endroits sur terre depuis l'histoire de l'humanité où cette occasion est encore saisissable, car de vastes territoires n'ayant pas encore été touchés par le développement industriel y sont toujours existants. Tous les automnes, ce sont près de trois à cinq milliards d'oiseaux qui « s'exportent » annuellement de la forêt boréale pour peupler les écosystèmes hivernaux de toute l'Amérique : du sud du Canada et des États-Unis jusqu'au Mexique en passant par les Caraïbes, l'Amérique Centrale ainsi que l'Amérique du Sud. Cette aire de nidification essentielle est toutefois menacée par les pressions croissantes exercées par le développement et les changements climatiques.

En préservant de vastes étendues de paysages sains et intacts dans la forêt boréale, il sera possible pour les générations futures d'oiseaux d'élever leurs oisillons et de migrer partout en Amérique du Nord.

RECOMMANDATIONS : DES SOLUTIONS GLOBALES ET CRÉATIVES POUR LES CENT PROCHAINES ANNÉES

Au cours des dernières années, deux solutions de conservation ambitieuses ont fait leurs preuves pour rétablir et renforcer les populations d'oiseaux migrateurs : l'établissement d'objectifs de protection du territoire nettement supérieurs et la responsabilisation des communautés autochtones et des gouvernements sur la question de la planification et de la gestion de l'utilisation du territoire. Afin de réussir en matière de conservation de la forêt boréale, il est nécessaire d'adopter ces solutions.



Camp à Mushua-nipi dans le nord du Québec

© VALÉRIE COURTOIS

Au Canada, ces solutions ont commencé à être mises en oeuvre. Les gouvernements de l'Ontario et du Québec ont formulé des engagements pour protéger au moins la moitié de leurs régions du nord par le truchement de la loi du Grand Nord et du programme de développement du Plan Nord, respectivement. Les gouvernements et les communautés des Premières Nations ont pris également les devants en élaborant de nouveaux plans d'aménagement du territoire et des modèles de gestions comme sur le site Pimachiowin Aki au Manitoba et en Ontario ou encore comme les Premières Nations du Dehcho, de Lutselk'e et de Deline des Territoires du Nord-Ouest, les Cris d'Eeyou Istchee au Québec et la Nation Innu du Labrador.

Afin de réaliser pleinement le potentiel de ces solutions pour conserver les populations d'oiseaux, nous proposons les recommandations suivantes :

- Au moins 50 % des écosystèmes boréaux intacts doivent être protégés.

La science de la conservation moderne a démontré que le maintien de la pleine diversité des espèces et des fonctions de l'écosystème nécessite la protection d'au moins la moitié des écosystèmes intacts contre le développement industriel à grande échelle. Le cadre de principes est présenté dans le document Vision pour la conservation de la forêt boréale du Canada qui a été adopté par plus de 1 500 scientifiques de partout au monde;

- La conservation des terres doit être adaptée aux utilisations traditionnelles du territoire des Autochtones et gérée ou co-gérée par des gouvernements des Premières Nations. Toute décision concernant l'utilisation du territoire doit respecter le principe de « consentement éclairé, libre et préalable » selon lequel les peuples autochtones ont le droit de déterminer et de définir les priorités et les stratégies de développement ou d'utilisation de leurs territoires et autres ressources;
- Les gouvernements de niveau fédéral et provincial doivent investir massivement pour offrir aux communautés des ressources financières nécessaires à la formation et à l'embauche de planificateurs de l'utilisation du territoire, de gestionnaires ainsi que de surveillants ou patrouilleurs du territoire;
- Il faut continuer à encourager et à financer la recherche sur tous les aspects de la migration, notamment les voies migratoires, la connectivité, les périodes de migration, etc. Tout particulièrement, les collaborations et les partenariats interculturels et internationaux qui veillent à la conservation des espèces sur l'ensemble de leur cycle de vie doivent recevoir un appui continu et poursuivre leur développement.

La recherche sur la migration des oiseaux doit continuer à mettre en valeur les responsabilités communes en matière d'intendance parmi les pays de toute l'Amérique. De plus, les solutions globales nous offrent la meilleure voie à suivre pour assurer la conservation des oiseaux au cours des cent prochaines années.

Des innovations en recherche sur la migration des oiseaux



La forêt boréale—la crèche des oiseaux de l'Amérique du Nord—entre en éruption chaque automne, relâchant dans le ciel des milliards d'oiseaux qui migrent vers le sud. Les trajets migratoires de ces oiseaux sont longtemps demeurés un mystère, mais des percées technologiques récentes nous permettent maintenant de comprendre quand, où et comment les oiseaux naviguent de par les Amériques.

Imagerie radar

Il est possible d'observer une migration d'oiseaux en masse en utilisant un radar Doppler. Une vague d'oiseaux migrants amorcent leur traversée des lacs Érié et Ontario à la tombée de la nuit en mai alors qu'ils se dirigent vers le nord pour rejoindre leur aire de reproduction. Les zones ombragées reflètent la densité des oiseaux détectés.

Science citoyenne

Tout citoyen peut transmettre ses observations d'oiseaux sur des bases de données accessibles sur Internet. Ces données sont ensuite compilées et utilisées pour détecter les trajets de migration. Des observations sur les parulines du Canada recueillies juste avant leur déplacement vers le nord durant les mois d'avril et de mai sont présentées ici.

Géolocateurs

Les géolocateurs enregistrent les changements d'intensité lumineuse. Une paruline rayée a effectué un vol sans-escale à partir du Maine jusque dans les Caraïbes avant de reprendre la route jusqu'au Vénézuéla. Le printemps suivant, elle a repris une voie un peu plus à l'intérieur des terres en direction du Vermont.

Radiotélémetrie

Les oiseaux munis d'appareils radioémetteurs transmettent des signaux aux antennes équipées de radios se trouvant à proximité. Une grive à joues grises marquée dans le nord de la Colombie au mois d'avril a été détectée un mois plus tard près de la côte de la baie d'Hudson au Manitoba.

Marqueurs génétiques

Inscrits dans l'ADN depuis la naissance, les marqueurs génétiques indiquent la portion de l'aire de reproduction d'où provient un individu d'une espèce. L'échantillonnage hivernal de parulines à calotte noire hivernant à l'ouest du Mexique a permis de déterminer que ces oiseaux échantillonnés provenaient de la portion nord-ouest de leur aire de reproduction.

Analyse d'isotopes

On peut déduire des renseignements concernant les régions où un oiseau a passé des parties de sa vie grâce à des rapports d'isotopes stables provenant de plumes ou de griffes. Un bruant à gorge blanche échantillonné au Manitoba a révélé qu'il passait ses étés dans le centre-ouest de la forêt boréale et ses hivers dans le sud-est des États-Unis.

Surveillance par satellite

Des appareils émetteurs satellites fournissent des mises à jour sur les déplacements presque en temps réel. La migration du courlis corlieu a été tracée à partir de son aire estivale de reproduction dans le delta du fleuve Mackenzie au Canada jusqu'à son aire d'hivernage au Brésil, ainsi que son retour au bercail au printemps.



© JEFF NADLER

Connu pour son cri étrange dont l'écho retentit souvent d'une rive à l'autre des lacs, le plongeon huard dépend énormément de la forêt boréale pour se reproduire. Pendant la saison hivernale, il se retrouve principalement sur tout le secteur des États-Unis.



© JEFF NADLER

Le traité de 1916 signé par des représentants des États-Unis et du Canada a permis de protéger des centaines d'espèces d'oiseaux migrateurs, y compris la paruline tigrée.



© JEFF NADLER

La paruline à poitrine baie fait partie des dizaines d'espèces de parulines qui peuvent être observées aux États-Unis et au Canada.

Introduction

Il y a cent ans, des représentants des États-Unis et du Canada se mettaient d'accord et signaient l'un des premiers traités de protection de l'environnement les plus importants du monde (Dorsey 1998, Cioc 2009, Sandlos 2013). Les clauses de ce traité de 1916, intitulé la Convention concernant les oiseaux migrateurs, ont été mises en oeuvre au moyen d'une loi au Canada (Loi sur la convention concernant les oiseaux migrateurs adoptée en 1917) et aux États-Unis (Migratory Bird Treaty Act [Loi sur le traité concernant les oiseaux migrateurs] adoptée en 1918).

En reconnaissant que les oiseaux étaient une ressource essentielle que se partageaient le Canada et les États-Unis, et étant donné que la plupart des oiseaux de l'Amérique du Nord étaient migrateurs, ce traité et cette loi ont établi que les deux pays devaient adopter des lois et des politiques similaires en matière de chasse afin d'assurer la conservation à long terme des populations d'oiseaux. Ce n'est qu'en

1979 — soixante années plus tard — qu'un second traité pour conserver les animaux sauvages migrateurs d'une portée aussi grande a vu le jour au moment de la signature de la Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage (aussi connue sous la Convention de Bonn) (Boere 1991, Baldwin 2011).

En dépit de la prévoyance des personnes qui ont rédigé et signé le traité de 1916 et de ses lois mises oeuvre subséquemment, à l'époque, il y avait encore beaucoup de méconnaissances quant aux endroits où les oiseaux nichaient et hivernaient et aux itinéraires de déplacements entre les sites de nidification au nord et les aires d'hivernage au sud. Par exemple, l'aire de reproduction de la grue blanche, l'un des oiseaux les plus menacés au monde (il n'en restait que 15 en 1941) et aussi l'un des plus gros de l'Amérique du Nord, était inconnue des ornithologues jusqu'en 1954, c'est-à-dire 38 ans après la signature de la Convention concernant les oiseaux migrateurs (Wells 2007). Le premier nid de bruant à face noire a été découvert et décrit par des scientifiques en 1931, et ce, même si cet oiseau était reconnu comme étant un visiteur régulier des



Ce n'est qu'en 1950 que le bécassin à long bec et le bécassin roux (photographié) ont été différenciés en deux espèces.

© JEFF NADLER

mangeoires du Midwest des États-Unis (Semple et Sutton 1932). De la même façon, le comportement de nidification du guillemot marbré, un petit oiseau marin apparenté au mieux connu macareux, s'est confirmé en 1974 au moment où il a été découvert que cet oiseau nichait sur les branches supérieures des arbres des forêts anciennes (Nelson 1997). En fait, non seulement les répartitions géographiques

de certaines espèces étaient encore inconnues en 1916, mais la classification d'un certain nombre de groupes d'oiseaux demeurait encore vague. Par exemple, ce n'est qu'en 1950 que les bécassins à long bec et les bécassins roux ont été différenciés en deux espèces (Jehl et coll. 2001). Il aurait été impossible de comprendre les habitudes de nidification et d'hivernation de ces espèces, semblables en apparence, sans avoir établi qu'il s'agissait en fait d'espèces différentes.

DES RECHERCHES RÉVOLUTIONNAIRES SUR LA MIGRATION

Cependant, depuis les trente dernières années, une foule de nouvelles avancées technologiques a révolutionné l'étude de la migration, nous permettant de découvrir des secrets bien gardés : où, quand et comment migrent les oiseaux (Robinson et coll. 2010, Marra et coll. 2011, Laughlin et coll. 2013). Des émetteurs radios et satellites de plus en plus petits nous permettent maintenant de suivre à l'échelle hémisphérique les déplacements des oiseaux, allant des albatros aux aigles en passant par les faucons et les oiseaux de rivage, et même les oiseaux aussi petits que

¹ Une faille bien connue de ce traité et de la loi mise en oeuvre était le manque de reconnaissance des droits traditionnels de chasse aux fins de subsistance pour les peuples autochtones, particulièrement au Canada et en Alaska où les communautés ont continué à dépendre des récoltes printanières de sauvagines pour survivre. La résolution officielle de ce problème a pris beaucoup trop temps avant que l'impasse prenne officiellement fin, mais aujourd'hui les droits traditionnels de chasse des peuples autochtones sont reconnus et prévus par la législation moderne. D'autres questions portant sur les droits autochtones, les obligations en vertu de ce traité et les relations entre les gouvernements des Premières Nations et ceux du Canada et de l'Alaska continuent à faire l'objet de discussions et à éprouver le système de droit.

² Le Canada et les États-Unis ne sont ni l'un ni l'autre des parties de ce traité.



© JEFF NADLER

Les populations de moucherolle à côtés olive connaissent un déclin sévère depuis la deuxième moitié du siècle dernier. Plus de la moitié des populations mondiales d'espèces se reproduisent dans la forêt boréale.



© JEFF NADLER

Le petit chevalier à pattes jaunes est un prochain candidat à inclure à la liste des espèces menacées ou préoccupantes du Canada.



© JEFF NADLER

Parmi les espèces de sauvagines répandues aux États-Unis et au Canada, 80 % se reproduisent couramment dans la forêt boréale, dont la sarcelle à ailes vertes.

les grives (Bridge et coll. 2011, Faaborg et coll. 2010). Des géolocateurs d'intensité lumineuse, de petits appareils recueillant des données sur la durée du jour et les heures de lever et de coucher du soleil à partir desquels il est possible d'extraire les coordonnées géographiques, peuvent être fixés sur des oiseaux aussi petits que les parulines afin d'enregistrer leurs déplacements entre leurs aires de reproduction et d'hivernage (Stutchbury et coll. 2009, Bridge et coll. 2013, McKinnon et coll. 2013). D'autres technologies permettent d'échantillonner un très grand nombre d'oiseaux, mais les renseignements obtenus sur les aires d'hivernage et de reproduction sont d'ordre plus général. La mieux connue de ces techniques se sert de la variation géographique des rapports isotopiques d'éléments communs pour déterminer l'origine géographique probable de l'oiseau étudié. Pour ce faire, il faut recueillir de petits échantillons de plumes ou de griffes pour en déterminer leurs rapports isotopiques, lesquels indiquent

l'emplacement géographique de l'oiseau au moment où la plume ou la griffe s'est développée (Hobson 2007, Coiffait et coll. 2009, Hobson et coll. 2015). Par ailleurs, de nouvelles techniques sont maintenant en train d'ouvrir la voie à l'utilisation des marqueurs génétiques pour déterminer de manière générale les endroits d'où proviennent les oiseaux au moment de la saison de reproduction lorsqu'ils sont échantillonnés pendant la migration ou l'hivernage à leurs sites respectifs (Coiffait et coll. 2009, Irwin et coll. 2011, Ruegg et coll. 2014).

Aux échelles les plus grandes, plusieurs outils technologiques modernes offrent un nombre croissant de détails au sujet de la migration des oiseaux. Les technologies radars sont maintenant utilisées pour documenter la période, la direction et le volume brut des migrations d'oiseaux nocturnes (Gauthreaux 1992, Gauthreaux et Belser 2003, Gauthreaux et coll. 2003, Robinson et coll. 2010, Bridge et coll. 2011, Buler et Dawson 2014, Laffeur et coll. 2016), tandis que des



enregistrements audio et des algorithmes de tri informatiques fournissent des détails sur les espèces concernées (Keen et coll. 2014, Sanders et Mennill 2014, Smith et coll. 2014, Farnsworth 2005). Des plateformes Internet de science citoyenne créées et mises en place au cours des dernières années rassemblent des millions de rapports d'observations d'oiseaux provenant des quatre coins de la planète, ce qui permet un suivi détaillé en temps réel des déplacements de migration simultanés des populations d'oiseaux à l'échelle des continents (Wood et coll. 2011, Laughlin et coll. 2013, Sullivan et coll. 2014).

Tous ces nouveaux outils de recherche documentent, à l'échelle fine, les détails de la migration des oiseaux, ce qui en retour nous aide à résoudre d'autres questions de recherches appliquées sur la conservation des oiseaux. Une nouvelle étude sur la migration a indiqué que les oiseaux nichant dans une aire bien précise peuvent suivre un nombre indéfini de trajectoires pour « se connecter » à leurs aires d'hivernage, présentant parfois un mélange complet de populations et une séparation géographique variant de manière surprenante. La plupart de ces recherches ont révélé des aires de reproduction ou d'hivernage précédemment inconnues pour certains oiseaux et ont permis également de recueillir de l'information sur des voies migratoires méconnues. Ce type de données est essentiel pour comprendre ce qui délimite la répartition des populations d'une espèce d'oiseaux en particulier et pour connaître ce qui est nécessaire pour maintenir ou faire croître les populations d'oiseaux. Toutes ces nouvelles recherches mettent en évidence le fait que de très grandes aires d'habitat sont nécessaires aux haltes migratoires (Wilcove et Wikelski 2008, Faaborg et coll. 2010, Runge et coll. 2015).

DE NOUVEAUX PROBLÈMES ET DE NOUVELLES SOLUTIONS

L'état des connaissances sur la migration des oiseaux a progressé à bien des égards au cours des années qui ont suivi la signature de la Convention concernant les oiseaux migrateurs, tout comme les problèmes majeurs affligeant les populations d'oiseaux ont aussi changé. La non-réglementation de la chasse commerciale était le principal problème qui affligeait la conservation des oiseaux au moment où le traité a été signé, et les lois canadienne et américaine issues de ce traité se sont avérées très efficaces pour contrôler la situation et permettre aux espèces d'oiseaux les plus à risque de se rétablir (Wells 2007). Aujourd'hui, les sources de perturbations qui affectent les populations d'oiseaux de partout en Amérique sont beaucoup plus diverses, les plus sérieuses étant la perte et la dégradation des habitats et les changements climatiques (Wilcove et coll. 1998, Pimm et Raven 2000, Sala et coll. 2000, Gaston et coll. 2003, Jetz et coll. 2007). Dans le monde entier, le nombre d'espèces d'oiseaux menacées, en déclin et en voie de disparition continue de croître. Actuellement plus de 10 % des espèces sont menacées d'extinction à l'échelle mondiale (BirdLife International 2013).

La région de la forêt boréale du Canada et de l'Alaska, soit 1,5 milliard d'hectares s'étendant depuis l'Alaska à l'ouest jusqu'à Terre-Neuve à l'est, est l'un des plus vastes écosystèmes forestiers intacts encore existants sur Terre (IBCSP 2013). Son caractère intact est la raison même qui explique pourquoi elle demeure, à ce jour, l'un des plus précieux réservoirs de reproduction pour les oiseaux migrateurs, offrant un lieu de nidification à environ un à trois milliards d'oiseaux chaque été (Wells



et Blancher 2011). Tous les automnes, elle « exporte » près de trois à cinq milliards d'oiseaux : après l'éclosion des petits, ceux-ci partent peupler les écosystèmes hivernaux de toute l'Amérique, du sud du Canada et des États-Unis jusqu'au Mexique en passant par les Caraïbes, l'Amérique Centrale ainsi que l'Amérique du Sud (Robertson et coll. 2011, Wells et Blancher 2011, Wells et coll. 2014).

Malheureusement, il y a un nombre croissant d'espèces d'oiseaux boréaux qui connaissent un déclin rapide. Des populations d'oiseaux dépendants de la forêt boréale, comme le quiscale rouilleux, le moucherolle à côtés olive et la paruline du Canada, ont révélé des chutes vertigineuses d'abondance depuis la deuxième moitié du siècle dernier. Ces trois espèces sont maintenant présentes sur la liste des espèces menacées ou préoccupantes du Canada. Certains oiseaux aquatiques qui nichent en forêt boréale font partie aussi de cette liste, notamment les populations de l'ouest du garrot d'Islande et de l'arlequin plongeur, et les populations de l'est du grèbe esclavon, du râle jaune et du phalarope à bec étroit (Wells et coll. 2014). Parmi les prochaines espèces à figurer sur cette liste, il y a entre autres un certain nombre d'oiseaux de rivage qui dépendent des milieux humides boréaux pour se reproduire, notons le petit chevalier à pattes jaunes, la barge hudsonienne, le bécasseau semipalmé, le bécassin roux, le bécasseau à échasses



© JEFF NADLER

Même des oiseaux aussi communs que ceux qui fréquentent les mangeoires, comme le bruant à gorge blanche, connaissent une baisse de leurs populations depuis les dernières années.

et le bécasseau à poitrine cendrée (COSEWIC 2016). Au cours des 50 dernières années, bien d'autres espèces reproductrices des milieux boréaux ont décliné sévèrement, comme les macreuses noire, à front blanc et à ailes blanches ainsi que le petit morillon et la figule milouinan, et même les bien aimés visiteurs de mangeoires comme le bruant à gorge blanche et le junco ardoisé (Slattery et al. 2011, Sauer et coll. 2015).

Aujourd'hui, nous connaissons mieux que jamais les besoins des espèces d'oiseaux migrateurs en matière d'habitat lorsqu'ils occupent leurs aires de reproduction et d'hivernage et font leurs haltes migratoires. Les recherches sur la migration ont permis d'établir que les déplacements des oiseaux migrateurs se font à l'échelle hémisphérique et ont démontré la nécessité de considérer les besoins des oiseaux à tous les égards selon des barrières culturelles, politiques et géographiques. Ces études ont aussi mis en évidence que les oiseaux font face à des menaces bien différentes et beaucoup plus compliquées que les enjeux de la chasse commerciale non réglementée d'il y a 100 ans. La recherche a clairement documenté que les principales causes du déclin des populations pour la vaste majorité des oiseaux sont actuellement la perte et la dégradation des habitats et les changements climatiques (Wilcove et coll. 1998, Pimm et Raven

2000, Sala et coll. 2000, Gaston et coll. 2003, Jetz et coll. 2007). Afin de lutter contre ces problèmes, les efforts actuels de conservation des oiseaux doivent être immédiatement dirigés vers la protection de très grandes aires d'habitats sur des sites de reproduction, d'hivernage et de halte migratoire (Wells 2010).

La science de la conservation a mis en évidence que pour maintenir l'ensemble de la biodiversité et des fonctions de l'écosystème ainsi que pour améliorer la résilience aux effets des changements climatiques, il est nécessaire de protéger une proportion d'habitats beaucoup plus importante que les cibles fixées autrefois — il faut protéger au moins 50 % des grands territoires intacts (Schmiegelow et coll. 2006, IBCSP 2013, Locke 2013, Carlson et coll. 2015, Wilson 2016). Heureusement, dans les régions boréales de l'Amérique du Nord, des gouvernements et des communautés des Premières Nations ainsi que quelques gouvernements provinciaux ont élaboré des planifications de l'utilisation du territoire ou des politiques qui mettent de l'avant la protection d'au moins 50 % des territoires boréaux sous leur juridiction (IBCSP 2013, Wells et coll. 2013, Carlson et coll. 2015, Wells et coll. 2015). Cette idée de protéger au moins la moitié de la forêt boréale de manière responsable a été adoptée par différents intervenants, dont des industriels, des organismes environnementaux,

des scientifiques, des gouvernements des Premières Nations, et même des gouvernements provinciaux (Carlson et coll. 2015). En 2003, une publication intitulée « Vision pour la conservation de la forêt boréale du Canada » proposait une vision pour atteindre cet objectif tout en reconnaissant la participation autochtone et en établissant des normes de développement durable pour des zones réservées au développement futur. Cette notion a depuis été adoptée par 1 500 scientifiques de partout au monde.

Inspirée par cette publication, l'initiative « Les oiseaux boréaux ont besoin de la forêt » a été lancée en 2015 par les organismes Boreal Songbird Initiative et Ducks Unlimited Inc., et celle-ci reçoit maintenant l'appui d'une cohorte de groupes à but non lucratif. Alors que nous célébrons le centième anniversaire de la Convention concernant les oiseaux migrateurs et les nombreuses découvertes qui ont été faites depuis ce traité, nous devons également nous tourner vers les 100 prochaines années de conservation et intégrer l'idée selon laquelle il est primordial de protéger de vastes territoires pour les oiseaux de la forêt boréale.

³ Parmi ces groupes de conservation, notons Canadian Parks and Wilderness Society, la SNAP, la Protection des oiseaux du Québec, Nature Canada, l'Études d'Oiseaux Canada, Ontario Nature, la Fédération canadienne de la faune, Pew Charitable Trusts, Audubon, Ontario Field Ornithologists, Nature Calgary, Environment for the Americas, Cornell Lab of Ornithology, American Bird Conservancy, Montana Audubon, Massachusetts Audubon, Maryland Ornithological Society, et La moitié pour la nature. Du côté des entreprises qui appuient l'initiative, nous retrouvons : Aikens Lake Wilderness Lodge, Wild Bird Centers, Swarovski Optik, Zeiss, Eagle Optics, Field Guides, Eagle-Eye Tours et Birdzilla.



Élucider les mystères de la migration

Bien des connaissances à propos des oiseaux migrateurs ont vu le jour depuis la signature du traité historique de 1916. Il n'en demeure pas moins que certaines complexités de la migration de plusieurs espèces nous sont encore inconnues — le moment précis des migrations, les lieux de haltes le long du parcours migratoire, et même l'itinéraire général dans certains cas. À mesure que les technologies sont devenues de plus en plus performantes, efficaces, petites et abordables, les scientifiques ont commencé à lever le voile sur des détails de la migration des oiseaux à l'échelle fine.

Les technologies de surveillance par satellite et de géolocalisation fournissent des données approfondies à propos des moments et des lieux de départ et d'arrivée des oiseaux, et des sites dans lesquels ils font halte. Ces données peuvent éventuellement servir à la protection d'aires essentielles d'habitats servant de halte migratoire. Les technologies radars et de tri audio décrivent de nouvelles réalités de la migration nocturne, notamment la découverte de secteurs du territoire auparavant inconnus que les oiseaux chanteurs utilisent pour s'alimenter et se mettre à l'abri des prédateurs pendant leurs haltes de repos quotidiennes. Les analyses d'isotopes et de marqueurs génétiques marquent les débuts des rapprochements entre des sous-populations régionales à l'intérieur des aires de reproduction et d'hivernage, ce qui aide à différencier les flux de populations régionales des flux globaux et, ultimement, fournir de meilleures connaissances pour en expliquer les causes. Les plateformes Internet, lesquelles comptent des millions d'observations faites par des citoyens ordinaires disponibles et prêtes à être téléchargées instantanément et analysées, permettent d'identifier les grandes tendances, comme les changements de distribution ou le temps des migrations.

Dans les sections suivantes, nous décrivons les sept nouvelles technologies en matière de recherche sur la migration des oiseaux et présentons certaines des découvertes les plus révélatrices au sujet des oiseaux migrateurs de la forêt boréale de l'Amérique du Nord qui sont le résultat de l'application de ces technologies. Alors que nous discuterons de chacune de ces technologies séparément, il est important de reconnaître que toute technique a des forces et des faiblesses. De plus en plus, les chercheurs combinent différentes technologies afin de comprendre où, quand et comment les oiseaux migrent et ce que nous pouvons faire pour mieux les protéger tout au long de leur cycle de vie.

BAGUAGE ET AUTRES DÉRIVÉES

Bien que nous n'exposons pas en détail les connaissances que nous avons acquises grâce au baguage d'oiseaux, cette technique demeure un outil de recherche essentiel. Le baguage a été la première technologie utilisée dans les efforts déployés pour mieux comprendre la migration des oiseaux. En Amérique du Nord, John James Audubon posait en 1803 un prototype de bague (un fil d'argent) à quelques oisillons de moucherolle phébi. L'année suivante, il observait deux de ces oiseaux bagués dans le même secteur.

Des projets de recherche concertés de baguage d'oiseaux ont commencé aux États-Unis et au Canada au début des années 1900, et en 1920, les gouvernements fédéraux des deux pays établissaient des programmes et une réglementation concernant le baguage des oiseaux, peu de temps après la signature de la Convention concernant les oiseaux migrateurs (USGS 2016). La majeure partie de nos connaissances sur les voies migratoires générales et les aires d'hivernage de certaines espèces sont attribuables à ces projets où un grand nombre d'oiseaux ont été bagués à des endroits bien précis et où ces bagues ont été récupérées plus tard (habituellement après la mort de l'oiseau) dans des habitats migratoires ou d'hivernage. Tout particulièrement, les canards et les oies communément chassés avaient des taux de retour de bague plus

élevés, et par conséquent les scientifiques gouvernementaux ont appris davantage sur les habitudes de migration des espèces de sauvagines comparativement à la plupart des autres groupes d'oiseaux.

Dans les études modernes de baguage, les chercheurs et les ornithologues amateurs utilisent des bagues colorées, des étiquettes aux ailes et aux pattes et des colliers (principalement sur les oies) de différentes couleurs et numérotés qui peuvent être observés sur les oiseaux en vie à l'aide de télescopes ou de jumelles de grande qualité. Ce marquage permet donc de repérer les oiseaux vivants et d'effectuer des observations répétées sans devoir capturer les oiseaux, ce qui fournit de plus amples renseignements sur les déplacements des individus ainsi marqués.

Le baguage continue d'apporter de précieuses connaissances sur la migration des oiseaux et constitue la méthode la moins coûteuse qui permet de marquer un grand nombre d'oiseaux. Cependant, étant donné que très peu d'oiseaux marqués ne sont jamais retrouvés ni même observés, cette technique offre de manière générale moins d'information détaillée à propos de l'échelle, de la période et de la trajectoire des mouvements migratoires que certaines techniques modernes (Webster et al. 2002, Coiffait et al. 2009, Marra et al. 2011).



La station de baguage de Willow Lake dans les Territoires du Nord-Ouest est dirigée par un biologiste du USFWS et par deux assistants en baguage provenant de la collectivité de Tulita située dans la région du Sahtu.



RADIOTÉLÉMÉTRIE AUTOMATISÉE

La surveillance par radiotélémétrie est utilisée en recherche sur les oiseaux depuis des dizaines d'années (Kenward 2001). La configuration la plus simple comprend un petit transmetteur VHF qui envoie un signal continu pouvant être capté par une antenne.

Les premières versions de cette technologie étaient très lourdes et pouvaient uniquement être utilisées sur des oiseaux de taille plutôt forte, comme l'aigle, le faucon et la sauvagine (Fuller et coll. 2005). En revanche, les radioémetteurs modernes sont maintenant incroyablement petits (pesant aussi peu que ~0,2 g) et légers (certains peuvent même être utilisés sur des insectes) et ont une foule de permutations qui transmettent des signaux

à des intervalles et des fréquences particuliers. Par conséquent, il est possible de marquer et de suivre un assez grand nombre d'oiseaux (Taylor et coll. 2011, Brown et Taylor 2015).

Un inconvénient de cette méthode, les signaux peuvent seulement être captés lorsqu'ils sont relativement près d'une antenne, généralement à l'intérieur d'un rayon de plus ou moins 10 kilomètres. Une solution à ce problème est de mettre en place des réseaux d'antennes — plusieurs antennes à l'intérieur d'une grille — afin que les déplacements des oiseaux marqués puissent être repérables par les réseaux (Taylor et coll. 2011, Woodworth et coll. 2014, Francis et coll. 2016). S'il y a assez de réseaux pour couvrir les endroits clés, le signal des émetteurs peut être capté à différents endroits le long de la voie migratoire.

L'un de ces réseaux, le Système de surveillance faunique Motus — un programme d'Études d'Oiseaux Canada en partenariat avec des chercheurs et des organismes collaborateurs — est un réseau coordonné à l'échelle hémisphérique qui recueille, organise, diffuse et archive des données de radiotélémétrie automatisée (Mills et coll. 2011, Taylor et coll. 2011, Mitchell et coll. 2012, Brown et Taylor 2015, Francis et coll. 2016). Depuis 2013, plus de cent collaborateurs se sont lancés dans plus de cinquante projets Motus et ont marqué plus de cinq mille animaux provenant de plus de soixante-cinq espèces, dont huit espèces de chauves-souris et deux espèces d'insectes (www.birdscanada.org/motus).

En 2015, une étude menée par des chercheurs



Les grives à dos olive ont fait l'objet d'une étude qui faisait le suivi de leurs déplacements à partir des aires d'hivernage en Amérique du Sud jusqu'à leur retour en Amérique du Nord durant la migration printanière.

de la station La Selva, d'Études d'Oiseaux Canada et d'Environnement et Changement climatique Canada qui se sont servi du système Motus a mis en évidence le grand potentiel de cette méthode. Ces chercheurs ont retracé la migration d'un certain nombre de grives à dos olive et de grives à joues grises à partir de leurs aires d'hivernage dans les montagnes de la Colombie jusqu'à leur arrivée à différents endroits au Canada.

Une grive à dos olive a quitté la Colombie le 14 avril et a été détectée en Saskatchewan le 19 mai après avoir parcouru 6 000 kilomètres. Une grive à joues grises a été détectée sur sa voie migratoire près du lac Ontario moins de deux semaines après avoir quitté la Colombie, et une autre marquée en Colombie a été retrouvée dans son aire de reproduction près de la baie d'Hudson au Manitoba (pour voir une animation de ces vols, visitez le : <http://motus-wts.org/data/demo/thrushes2015.html>).

De l'automne 2013 jusqu'en 2015, une autre étude de surveillance radio menée par James Bay Shorebird Monitoring Project, un partenariat entre Environnement et Changement climatique Canada, le Ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario, le Musée royal de l'Ontario, l'Université Trent, l'organisme Études d'Oiseaux Canada et la nation Moose Cree First Nation, a fixé de petits radioémetteurs sur des bécasseaux semipalmés, des bécasseaux à croupion blanc et bécasseaux maubèches qui se trouvaient le long de la côte sud-ouest de la baie James. De surprenants allers simples nocturnes ont été repérés pour ces oiseaux qui quittaient la baie James en direction de la Nouvelle-Angleterre et des Maritimes, certains allant aussi loin que le New Jersey, avant de reprendre leur migration plus loin au sud vers l'Amérique du Sud, et vraisemblablement au-dessus de l'océan Atlantique (pour voir une animation de ces vols, visitez le : <http://motus-wts.org/data/ipers2015.html>).



Radiotélémetrie

MIGRATIONS DE LA GRIVE À DOS OLIVE ET DE LA GRIVE À JOUES GRISES

Les chercheurs participants peuvent se servir du réseau d'antennes mis en place pour détecter les animaux sauvages ayant des émetteurs. Le réseau peut changer quelque peu d'une année à l'autre selon les projets des chercheurs participants pour une période donnée dans le temps. En 2015, des chercheurs ont fixé des émetteurs sur des grives à dos olive et des grives à joues grises se trouvant sur deux sites différents en Colombie. Des semaines plus tard, les oiseaux marqués étaient détectés au Texas, en Saskatchewan, au Manitoba et en Ontario. Les flèches indiquent la direction générale empruntée pour rejoindre le site de détection et ne représentent pas précisément les voies migratoires empruntées.



SITE DE MARQUAGE POUR LA GRIVE À JOUES GRISES



SITE DE MARQUAGE POUR LA GRIVE À DOS OLIVE



SURVEILLANCE SATELLITE ET GPS/GSM

Il n'existe probablement pas de meilleures technologies modernes pour capter aussi précisément le moment des migrations et les déplacements des oiseaux migrateurs que les émetteurs satellites.

Étant donné que les émetteurs fonctionnent à l'aide de satellites et non par le truchement de systèmes terrestres de réception, les chercheurs peuvent surveiller les déplacements des oiseaux marqués avec un bon niveau de précision sur de grandes distances et en milieux isolés, comme au-dessus de l'océan ou dans les régions éloignées sans tours de communication (Bridge et coll. 2011, Gill et coll. 2009, 2014).

Au cours des dix dernières années, il y a eu de nombreuses applications de la technologie de surveillance par satellite pour étudier la migration des oiseaux. Par exemple, une barge rousse marquée en Alaska a effectué le plus long vol sans escale jamais enregistré par un oiseau, un voyage de 11 500 kilomètres (7 145 miles) en neuf jours pour rejoindre son aire d'hivernage en Nouvelle-Zélande (Gill et coll. 2005, 2009, 2014).

Une équipe de chercheurs du Center for Conservation Biology qui a fixé des émetteurs satellites à des courlis corlieu — des oiseaux de rivage de la taille d'une poule au long bec arqué — au moment de leur migration printanière a découvert que les oiseaux marqués ont volé de la côte sud-est des États-Unis jusqu'au Territoire du Nord-Ouest (Canada) pour s'y reproduire (Watts et coll. 2008). Un de ces oiseaux a parcouru, sans escale, une distance de 5 700 kilomètres (3 600 miles) de la côte de Géorgie en direction nord vers le delta du Mackenzie en 146 heures. À l'automne, ces oiseaux marqués ont effectué des déplacements tout aussi spectaculaires afin de rejoindre les mangroves des Caraïbes et le nord de l'Amérique du Sud.

Un autre courlis corlieu, affectueusement nommé Pingo par l'équipe de recherche, marqué à l'été 2012 dans le delta du Mackenzie a commencé sa migration automnale en survolant le pays jusqu'en Nouvelle-Écosse. Puis, Pingo est reparti de la Nouvelle-Écosse et a volé sans escale au-dessus de l'océan Atlantique pendant des jours jusqu'à fendre les vents contraires de l'ouragan Isaac. Pingo a éventuellement dévié sa trajectoire pour éviter l'ouragan et, après de nombreux jours de vol sans halte et des milliers de kilomètres parcourus, il s'est posé sur les côtes du Brésil (Wells 2012).

Des chercheurs engagés à mieux comprendre les facteurs contribuant aux déclin des canards de mer ont utilisé la technologie de surveillance par satellite pour étudier les déplacements de nombreuses espèces, notamment la macreuse noire, un canard de mer trapu au plumage noir jet avec un bec orange vif. Étonnamment, leur recherche

a montré que certaines macreuses noires nichant dans les Territoires du Nord-Ouest s'envolaient en direction est pour hiverner sur la côte atlantique de l'Amérique du Nord tandis que d'autres partaient vers l'ouest pour rejoindre la côte pacifique pour l'hiver (Baldassarre 2014, Sea Duck Joint Venture 2015). Une étude similaire sur le tout petit arlequin plongeur, une espèce remarquable qui affectionne les milieux éloignés à proximité des littoraux rocheux exposés à de fortes vagues, a stupéfié les chercheurs lorsqu'ils ont découvert que certains oiseaux mâles quittaient les sites d'hivernage de la côte du Maine pour se reproduire au Labrador, avant de s'envoler à nouveau vers les côtes du Groenland pour une partie de l'été (Chubbs et coll. 2008, Robert et coll. 2008, Thomas et coll. 2008).

Une autre utilisation astucieuse de la technologie de surveillance par satellite a été déployée ces derniers hivers dans le cadre d'une étude sur les déplacements du harfang des neiges, le Project SNOWstorm. Ce projet a mis à profit les nouveaux émetteurs GSM qui envoient des messages textes contenant des positions GPS à des tours de téléphonie cellulaire. Des harfangs des neiges hivernant dans diverses régions de l'est des États-Unis ont été surveillés presque à la minute près, et les données ont révélé la complexité de leurs déplacements. Lorsqu'un oiseau marqué se trouve à l'extérieur d'un secteur couvert par des tours de téléphonie cellulaire, comme c'est le cas lorsque les harfangs des neiges migrent au nord de l'Arctique, l'ensemble des données est sauvegardé et transmis aux chercheurs aussitôt que l'oiseau se trouve dans un secteur couvert. Par exemple, un harfang des neiges du nom de Buckeye marqué à l'hiver 2015 a cessé de transmettre des données sur sa position au mois d'avril. Dès son retour dans un secteur couvert dix mois plus tard, les données ont révélé que l'oiseau s'était déplacé en direction nord pour rejoindre le littoral de la baie d'Hudson avant de s'installer encore plus au nord que le cercle polaire arctique. Dans le cadre d'une nouvelle recherche collaborative nommée Icarus qui devrait être opérationnelle dès 2017 (<http://icarusinitiative.org/>), un réseau d'antennes installé sur une station spatiale permettra d'activer et de recevoir des signaux provenant de petits émetteurs fixés aux oiseaux et aux animaux. Ainsi, on pourra suivre leurs déplacements sur la face complète de la planète (Holland et coll. 2007).



AIRES DE REPRODUCTION

FORÊT BORÉALE

HALTES

HALTES

HALTES

HALTES



© JEFF MADLER

AIRES D'HIVERNAGE

Surveillance par satellite

VOIE MIGRATOIRE DU COURLIS CORLIEU

Un courlis corlieu, nommé Pingo, a été marqué par un émetteur satellite près de son aire de reproduction dans le delta du fleuve Mackenzie. Lors de son premier cycle annuel de migration, Pingo a commencé son vol en direction de son aire d'hivernage sur la côte du Brésil, en s'arrêtant d'abord à la baie d'Hudson et sur l'île du Cap-Breton au Canada avant d'entreprendre un long vol sans escale au-dessus de l'océan Atlantique. Il a contourné de près l'ouragan Isaac avant d'atteindre le Brésil. Le printemps suivant, il a suivi un chemin un peu plus à l'ouest, s'arrêtant au Texas et dans le sud de l'Alberta avant de retourner à son aire de reproduction dans le delta du fleuve Mackenzie.



GÉOLOCATEURS D'INTENSITÉ LUMINEUSE

Au début des années 1990, des chercheurs étudiant les albatros ont commencé à tester de petits appareils qui captaient et emmagasinaient des données d'intensité lumineuse. Une fois les données analysées, il leur était possible d'estimer l'emplacement des appareils à des positions bien précises dans le temps (Bridge et coll. 2011, Bridge et coll. 2013).

Aujourd'hui, des appareils pouvant emmagasiner des données pendant toute une année ont été conçus pour être de si petite taille qu'ils peuvent être fixés à des parulines (DeLuca et coll. 2015). Les géolocateurs sont installés à l'aide d'une ou de bandes sur les oiseaux de bonne taille, et pour les petits oiseaux, de petits harnais sont fixés au dos. Cette technique comporte l'inconvénient qu'il faille capturer de nouveau l'oiseau pour extraire les données du géolocateur. Comme un faible pourcentage des oiseaux marqués sont habituellement recapturés ou relocalisés, afin d'augmenter les chances de capturer une seconde fois un oiseau ayant un géolocateur, les oiseaux sont appréhendés sur leurs territoires de reproduction ou d'hivernage où il est probable qu'ils s'y trouvent (Bridge et coll. 2011, Bridge et coll. 2013, McKinnon et coll. 2013). Ces mêmes territoires sont sondés la saison suivante pour retrouver les appareils. Depuis les dernières années, les géolocateurs installés sur un grand nombre d'oiseaux ont révélé de nombreuses nouvelles découvertes qui peuvent être appliquées à la conservation des oiseaux (Stutchbury et coll. 2009, Bridge et coll. 2011, Fraser et coll. 2012, Johnson et coll. 2012, Macdonald et coll. 2012, Bridge et coll. 2013, Laughlin et coll. 2013, McKinnon et coll. 2013, McKinnon et coll. 2014, DeLuca et coll. 2015, Hallworth et coll. 2015, Heckscher et coll. 2015, Hobson et Kardynal 2015, Rushing et coll. 2016, Stutchbury et coll. 2016). Par exemple, il a été trouvé que les grives des bois empruntaient lors de la migration printanière un corridor relativement étroit au-dessus des États de la côte du golfe du Mexique, contrairement à l'idée reçue selon laquelle elles migraient en un vaste front au-dessus du sud-est des États-Unis (Stanley et coll. 2012). Des études de géolocalisation menées sur des hirondelles noires ont révélé que leur période de migration ne correspondait pas aux événements météorologiques extrêmes (Fraser et coll. 2013). Il a été découvert que des populations de grives à dos olive se reproduisant près du sud de la Colombie-Britannique utilisaient des voies migratoires complètement différentes (Delmore et coll. 2012).

Un nombre croissant d'espèces d'oiseaux reproducteurs de la forêt boréale de l'Amérique du Nord sont étudiées à l'aide de la technologie de géolocateurs et ces études permettent de documenter pour la première fois certaines migrations qui sont tout à fait remarquables.

Un article publié en 2012 a décrit les résultats d'un projet qui a étudié des quiscales rouilleux nichant en Alaska à l'aide de géolocateurs d'intensité lumineuse.

Bien que seulement trois des dix-sept oiseaux ayant un géolocateur aient été recapturés, ces trois oiseaux ont fourni de précieuses informations sur le temps et l'itinéraire de leur migration. Tous les trois ont volé de la côte sud de l'Alaska jusqu'aux provinces canadiennes des Prairies, puis deux d'entre eux sont partis vers le sud pour hiverner dans le Midwest des États-Unis, et le troisième s'est dirigé vers la Louisiane pour l'hiver. Ils ont repris un trajet similaire vers le nord au printemps suivant (Johnson et coll. 2012).

Une étude publiée en 2012 s'est servie de cette même technologie pour repérer les aires estivales des bruants à couronne dorée qui hivernent le long de la côte centrale de la Californie. Les chercheurs ont placé des géolocateurs sur trente-trois oiseaux, et quatre d'entre eux ont été recapturés l'année suivante. Tous les quatre avaient passé l'été le long des côtes du golfe de l'Alaska (Seavy et coll. 2012).

Les résultats d'une étude des plus étonnantes utilisant des géolocateurs d'intensité lumineuse ont permis de confirmer une voie migratoire qui a été l'objet d'un débat historique pendant des dizaines d'années. En 2015, des scientifiques ont suivi les voies migratoires de la petite paruline rayée, un oiseau de douze grammes à peine plus petit qu'une mésange. Des géolocateurs ont été posés sur dix-neuf parulines rayées alors qu'elles se trouvaient dans leur aire de reproduction dans les hautes forêts d'épinettes chétives du Vermont, et sur dix-huit autres parulines rayées qui séjournaient dans un habitat côtier similaire, mais en la Nouvelle-Écosse. Parmi les oiseaux marqués, cinq oiseaux ont été recapturés et tous avaient volé directement au-dessus de l'océan à partir de leur point de départ des Maritimes au Canada ou du nord-est des États-Unis (l'un d'eux à partir d'un endroit près de Cape Hatteras, un peu plus au sud). Puis, chacun a parcouru des milliers de kilomètres sans s'arrêter pendant deux ou trois jours jusqu'à leur arrivée aux Antilles, où ils se sont reposés quelques jours. Depuis cette halte, chaque paruline a éventuellement quitté vers le sud pour poursuivre l'étape suivante de leur véritable marathon en volant quelque 1 000 kilomètres (600 miles) au-dessus de la mer des Caraïbes en direction sud pour arriver au nord de l'Amérique du Sud un ou deux jours plus tard (DeLuca et coll. 2015).



FORÊT BORÉALE

DÉPART

HALTES

HALTES

AIRES D'HIVERNAGE



© JEFF MADLER

Géolocateurs

VOIE MIGRATOIRE DE LA PARULINE RAYÉE

Une paruline rayée marquée par un géolocateur dans le Vermont est allée jusqu'à la côte atlantique avant de reprendre un vol sans escale au-dessus de l'océan Atlantique pour rejoindre l'île d'Hispaniola. Après quelques jours de repos, elle a poursuivi son voyage en direction sud pour finalement rejoindre le Vénézuéla afin d'y passer l'hiver. Le printemps suivant, elle a effectué le trajet inverse vers le nord en utilisant une voie plus à l'ouest. Après une halte d'un peu plus d'une semaine près des Bahamas, elle a continué sa route en direction de la Floride, survolant la côte atlantique jusqu'au Vermont, où elle a été recapturée.



ANALYSE D'ISOTOPES STABLES

Les isotopes, qui sont des versions d'un même élément, mais dont les poids moléculaires sont différents, se retrouvent dans les tissus corporels, le sang, les plumes et les griffes d'un oiseau lorsque celui-ci ingère de la nourriture et de l'eau.

Étant donné que la distribution des rapports isotopiques que l'on retrouve dans la nature varie d'une région géographique à une autre, les chercheurs peuvent comparer des échantillons d'isotopes prélevés sur des oiseaux avec les rapports les plus fréquents trouvés dans la nature afin de déduire où se trouvait l'oiseau lorsque le matériel échantillonné sur celui-ci était en train de se développer (Hobson 2007). La technique a été raffinée grâce à l'utilisation des isotopes d'hydrogène vers la fin des années 1990, et depuis, ce domaine d'études ne cesse de se parfaire (Hobson 2007, Marra et coll. 2011). Cette technique compte l'avantage qu'il ne suffit de capturer et d'échantillonner les oiseaux qu'une seule fois pour obtenir un échantillon total plus important que ceux obtenus dans la plupart des études de suivi individuel d'oiseaux (Hobson 2007, Coiffatt et coll. 2009). De plus, il est possible de dresser un meilleur portrait des voies de migration des populations régionales des oiseaux grâce à l'analyse d'isotopes. Toutefois, deux petits inconvénients demeurent : l'impossibilité de déterminer les déplacements précis des oiseaux alors que seuls des renseignements sur l'origine géographique probable des oiseaux sont possibles à extraire et le fait que les cartes de distribution des isotopes pour certaines espèces sont moins détaillées, ce qui empêche de déterminer des origines concluantes (Hobson 2007, Hobson et coll. 2015). En dépit de ces inconvénients, certaines des plus importantes applications de la recherche sur les migrations proviennent d'études sur les isotopes stables, et parfois d'une combinaison avec d'autres techniques (Hobson et Wassenaar 1997, Hobson et coll. 2001, Hobson 2007, Coiffatt et coll. 2009, Hobson et coll. 2010, Chabot et coll. 2012, Rushing et coll. 2014, Hobson et coll. 2015, Holberton et coll. 2015, Hobson et Kardynal 2016).

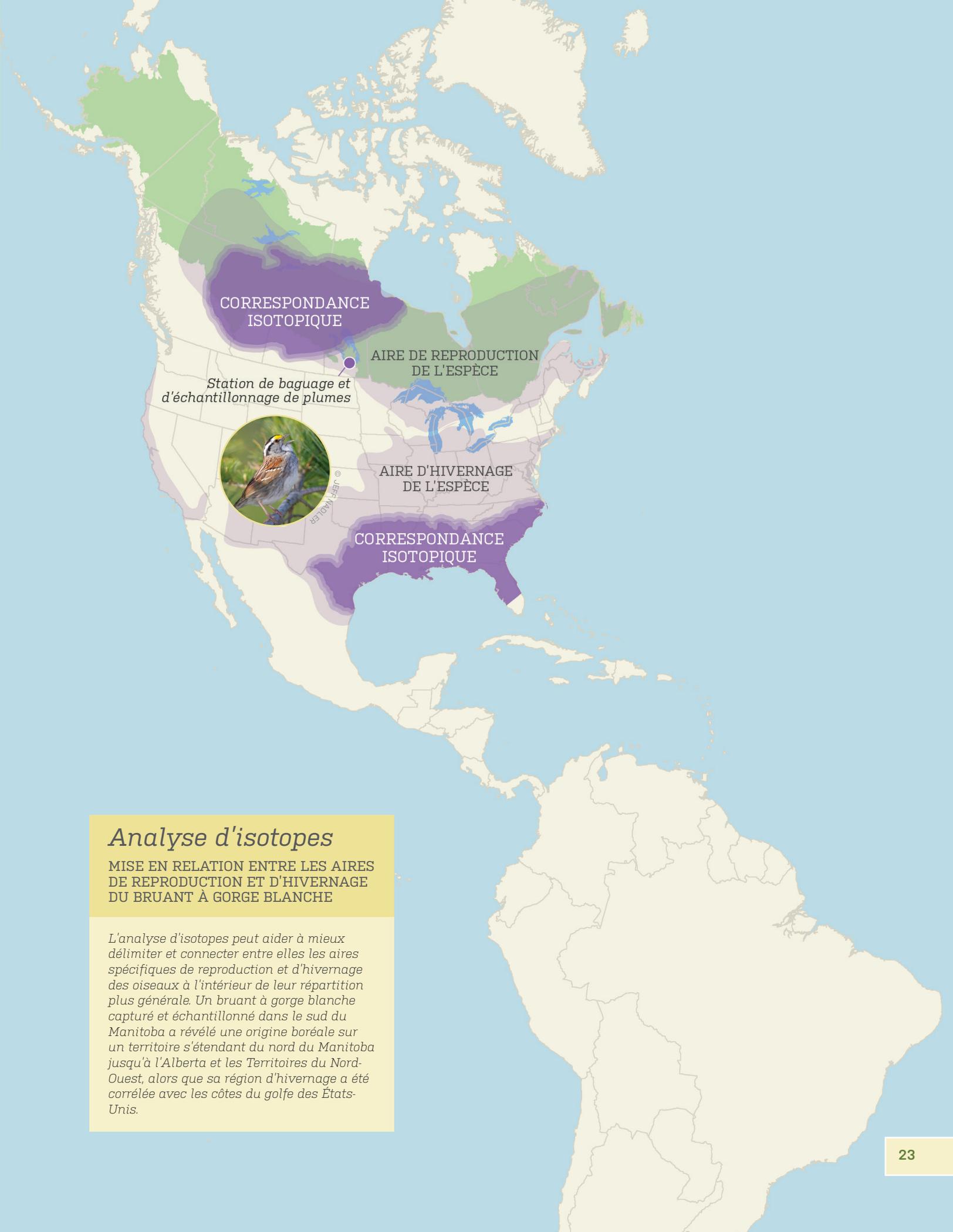
Une étude de 2005 sur les rapports isotopiques d'hydrogène provenant de plumes de bruants à gorge blanche capturés au printemps dans le sud du Manitoba ont mis en évidence que ces oiseaux nichaient dans des secteurs éloignés de la forêt boréale, entre le nord du Manitoba à l'ouest jusqu'au sud des Territoires du Nord-Ouest, et qu'ils passaient l'hiver sur les côtes du golfe des États-Unis (Mazerolle et coll. 2005).

Une étude publiée en 2010 sur le quiscal rouilleux, une espèce reproductrice de la forêt boréale qui a connu une baisse de 90 % de sa population au cours des 50 dernières années, a révélé pour la première fois que les oiseaux reproducteurs de l'est du Canada hivernaient aux États-Unis à l'est des Appalaches, tandis que les

populations de l'ouest du Canada allaient massivement dans la vallée du Mississippi pendant l'hiver (Hobson et coll. 2010). Un article récent s'est appuyé sur cette technique pour analyser la biogéographie de la population de l'aigle royal de l'est de l'Amérique du Nord nichant au Québec et au Labrador. Il a été découvert que l'aigle royal migre à « saute-mouton », et que les oiseaux de la répartition la plus septentrionale de l'aire de reproduction hivernent le plus au sud, en effectuant essentiellement un « saute-mouton » par-dessus l'aire de reproduction des oiseaux du sud de la répartition (Nelson et coll. 2015).

Lors d'une étude en 2015, des plumes échantillonnées sur des parulines rayées capturées à des stations de baguage de migration ont été analysées avec cette technique. Les résultats ont montré que les populations de cette même espèce utilisent des voies de migration différentes au printemps et à l'automne. Fait intéressant, les oiseaux adultes et les jeunes provenant de l'aire de reproduction de la région boréale de l'Alaska et de l'ouest du Canada ont migré d'ouest en est à l'automne. Les parulines rayées capturées aux sites de baguage du Massachusetts et de la Pennsylvanie étaient principalement issues de ces populations occidentales, alors que celles capturées dans le Maine et les Maritimes étaient plutôt originaires de l'est du Canada (Holberton et coll. 2015).

Une remarquable compilation de résultats provenant d'une analyse d'isotopes stables faite sur 15 espèces d'oiseaux chanteurs migrateurs capturés à différentes stations d'observation d'oiseaux du Canada a fait l'objet d'une publication en 2015 et a permis d'élucider, pour la première fois, les origines géographiques probables des oiseaux migrateurs surveillés à chacune des stations (Hobson et coll. 2015). Essentiellement, l'étude a fourni un atlas de la distribution des origines de reproduction des oiseaux migrateurs des espèces étudiées. Par exemple, il a été montré que la plupart des parulines flamboyantes capturées aux stations de baguage du sud de l'Ontario étaient originaires de l'est de l'Ontario et du sud du Québec. Les parulines à croupion jaune capturées aux mêmes stations provenaient du nord-ouest de l'Ontario et de plus loin au nord au Québec et au Labrador (Hobson et coll. 2015). Les analyses ont également mis en évidence que les oiseaux capturés à l'automne semblaient représenter une proportion plus importante de la distribution reproductrice que ceux capturés au printemps (Hobson et coll. 2015).



Station de baguage et d'échantillonnage de plumes

Analyse d'isotopes

MISE EN RELATION ENTRE LES AIRES DE REPRODUCTION ET D'HIVERNAGE DU BRUANT À GORGE BLANCHE

L'analyse d'isotopes peut aider à mieux délimiter et connecter entre elles les aires spécifiques de reproduction et d'hivernage des oiseaux à l'intérieur de leur répartition plus générale. Un bruant à gorge blanche capturé et échantillonné dans le sud du Manitoba a révélé une origine boréale sur un territoire s'étendant du nord du Manitoba jusqu'à l'Alberta et les Territoires du Nord-Ouest, alors que sa région d'hivernage a été corrélée avec les côtes du golfe des États-Unis.



MARQUEURS GÉNÉTIQUES

Une technique dont les applications demeurent quelque peu limitées pour étudier la connectivité des oiseaux migrateurs est l'utilisation des marqueurs génétiques – lesquels sont uniques à des secteurs bien précis de l'aire de reproduction d'une population – pour connaître les origines des oiseaux capturés pendant leur migration ou sur leur territoire d'hivernage (Coiffat et coll. 2009, Robinson et coll. 2010, Irwin et coll. 2011, Ruegg et coll. 2014).

La difficulté avec cette technique est qu'il faille trouver pour chaque espèce les marqueurs génétiques et leurs relations avec la géographie de l'aire de reproduction de l'espèce doivent être étudiées et cartographiées. S'il est possible de trouver des marqueurs uniques correspondant à différents secteurs de l'aire de reproduction, on peut alors échantillonner un grand nombre d'oiseaux sur les sites de halte migratoire et d'hivernage afin de déterminer leurs origines.

L'exemple le plus éloquent du grand potentiel de cette méthodologie a été démontré dans une étude publiée en 2014 qui s'est intéressée aux populations de paruline à calotte noire, un joyeux oiseau jaune vif à calotte noire largement répandu dans l'aire de reproduction de la forêt boréale ainsi qu'à l'ouest des États-Unis (Ruegg et coll. 2014). Les chercheurs ont utilisé de nouvelles techniques permettant de séquencer rapidement l'ADN



© JEFF NADLER

L'aire de reproduction des parulines à calotte noire s'étend sur presque tout le territoire de la forêt boréale de l'Amérique du Nord jusqu'au sud de la Colombie-Britannique et au nord-ouest des États-Unis, ainsi que dans certaines zones des Rocheuses, en haute altitude. Elles hivernent habituellement au Mexique et en Amérique Centrale.

afin de pouvoir sélectionner de grands échantillons d'oiseaux provenant de différents endroits. Puis, ils ont élaboré une carte présentant les endroits où des oiseaux en provenance de différents secteurs de l'aire de reproduction avaient hiverné ainsi que le moment et leur itinéraire de migration.

Par exemple, il a été démontré que les parulines à calotte noire hivernant sur la péninsule du Yucatán au Mexique

provenaient presque exclusivement de populations nichant à l'est du Canada et au nord-est des États-Unis, alors que celles qui hivernaient au centre du Mexique étaient originaires de l'ouest du Canada et de l'Alaska (Ruegg et coll. 2014). Jusqu'à ce jour, cette étude a fourni un niveau de données des plus détaillées de la vaste connectivité entre les aires de reproduction et d'hivernage pour des oiseaux chanteurs.

Toute l'étendue de l'aire de reproduction de l'espèce

AIRE DE REPRODUCTION ASSOCIÉE

AIRE D'HIVERNAGE ASSOCIÉE



Marqueurs génétiques

CONNECTIVITÉ MIGRATOIRE DE LA PARULINE À CALOTTE NOIRE

Une fois identifiés et cartographiés, les marqueurs génétiques peuvent déterminer de quelles parties de l'aire de reproduction provient un individu d'une espèce en particulier. Un projet sur la paruline à calotte noire a trouvé que les individus hivernant le plus à l'est, comme sur la péninsule du Yucatán, étaient corrélés à la région boréale orientale de la répartition de l'aire de reproduction de l'espèce, alors que les individus qui passaient l'hiver dans le centre du Mexique et sur la côte pacifique mexicaine étaient originaires de la région boréale occidentale s'étendant au sud jusqu'à la Colombie-Britannique. Les graphiques circulaires montrent la proportion d'individus à l'intérieur de ces aires d'hivernage pour lesquels on a trouvé des aires de reproduction correspondantes situées plus au nord.



DÉTECTION RADIO ET AUDIO

Depuis de nombreuses décennies, la technologie radar sert à étudier la migration des oiseaux, particulièrement la migration nocturne (Gauthreaux 1992, Bridge et coll. 2011). Cependant, les récentes avancées de la technologie radar et l'augmentation de la puissance informatique des algorithmes d'analyse ont maintenant permis d'accroître le nombre d'applications des technologies radars dans le domaine de la recherche sur la migration des oiseaux (Gauthreaux et Belser 2003, Gauthreaux et coll. 2003).

Aux États-Unis et dans certaines régions d'Europe, des images radars météorologiques provenant d'un très grand nombre de stations radars et mises à la disposition du public ont permis d'étudier bien des questions concernant le temps, le volume et la direction des déplacements de migration d'oiseaux nocturnes à grande échelle (Bridge et coll. 2011, Farnsworth et coll. 2015, Van Doren et coll. 2015). Les nouvelles techniques de modélisation statistique fournissent des estimations quant à la densité des oiseaux et leur vélocité pendant les migrations nocturnes (Bridge et coll. 2011). Des radars utilisés à petite échelle ont été déployés pour étudier l'altitude des oiseaux migrants et leurs façons de se déplacer en relation avec leur environnement géographique ou les obstacles d'origine anthropique (Fijn et coll. 2015).

Une application particulièrement prometteuse de cette technologie à des fins de planification de la conservation du territoire pour les oiseaux a fait l'objet d'une étude en 2014. Cette recherche s'est servi de radars météorologiques provenant de différentes stations du nord-est des États-Unis pour identifier des régions ayant de fortes densités d'oiseaux migrants pendant la migration automnale (Buler et Dawson 2014). Des zones ont été identifiées à petite et grande échelles sur l'ensemble des États-Unis, lesquelles représentaient un arrêt migratoire pour un grand nombre d'oiseaux. Une recherche similaire a identifié d'importantes haltes le long des côtes du golfe des États-Unis (Lafleur et coll. 2016). L'information ainsi obtenue pourrait être exploitée dans le domaine de la conservation pour servir à mettre en place des mesures bénéfiques pour les oiseaux migrants (Desholm et coll. 2014).

DÉTECTION AUDIO DES OISEAUX MIGRATEURS NOCTURNES

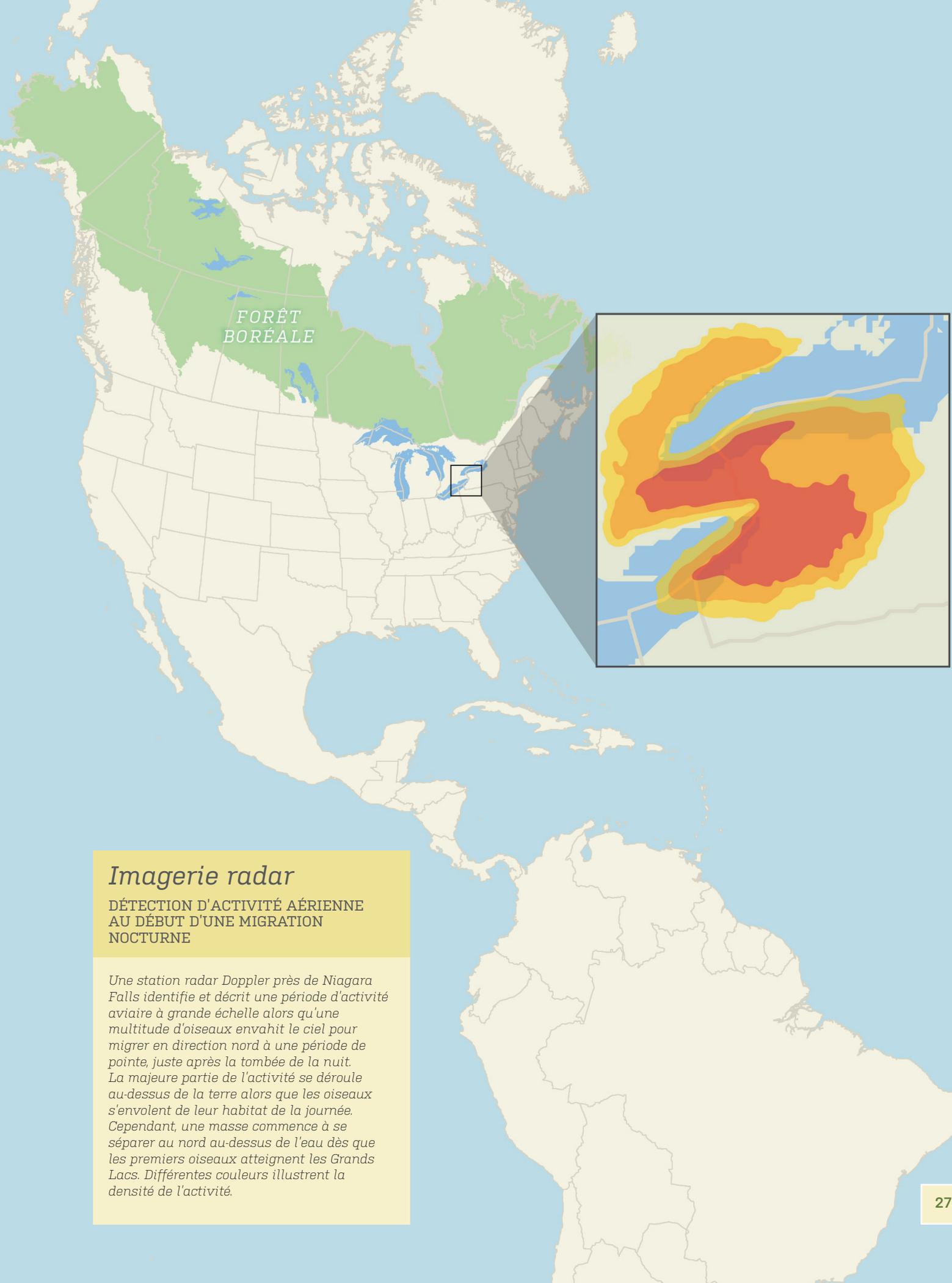
Bien que les radars arrivent à détecter le volume global et la direction (et parfois l'altitude) des migrations nocturnes d'oiseaux, ils ne peuvent révéler l'identité spécifique des oiseaux (Farnsworth et coll. 2004). En revanche, un grand nombre d'oiseaux se déplaçant la nuit émettent des cris qui peuvent servir à identifier l'espèce à laquelle ils appartiennent. Certains cris

nocturnes, notamment ceux de certaines espèces de grives, ont été identifiés depuis au moins une centaine d'années, alors que d'autres oiseaux ont le même cri de jour comme de nuit, ce qui les rend facilement identifiables. Toutefois, pour un grand nombre d'espèces, notamment les parulines et les bruants, ce n'est qu'au cours des dix ou vingt dernières années que nous sommes parvenus à reconnaître leurs cris; d'autres cris nous demeurent à ce jour inconnus (Evans et Rosenberg 2000, Evans et O'Brien 2002).

La détection des cris nocturnes d'oiseaux pour comprendre la migration a bondi considérablement depuis les dix dernières années grâce au développement et au raffinement de technologies qui permettent d'utiliser simultanément de nombreux appareils d'enregistrement automatisé et des logiciels aidant à trier et à détecter automatiquement les cris (Farnsworth 2005, Keen et coll. 2014, Sanders et Mennill 2014). Le développement d'algorithmes d'apprentissage de réseaux complexes de neurones permettant de rapidement trier et identifier des cris à partir d'enregistrement audio s'est avéré encore plus prometteur.

Couplée à des études de technologie radar, la détection audio a permis d'atteindre une compréhension beaucoup plus détaillée des espèces qui effectuent des migrations à grande échelle ainsi que sur la période de leurs déplacements et leurs abondances relatives (Farnsworth et coll. 2004, Van Doren et coll. 2015). Une étude, qui s'est servie d'une série d'enregistrements automatisés dans le nord de New York, a permis de documenter les déplacements migratoires nocturnes du goglu pendant l'automne (Evans et Mellinger 1999). Une étude ayant mis en place un réseau d'enregistrement automatisé dans le Maine a démontré pour la première fois que le tarin des pins, un petit pinson ayant d'importantes incursions hivernales au sud, se rendant à l'est du Canada et des États-Unis environ tous les deux ans, effectuait parfois des migrations nocturnes à grande échelle (Watson et coll. 2011), alors que les recherches précédentes soutenaient que cet oiseau ne migrait que le jour.

⁴ La plupart des oiseaux, tout particulièrement les oiseaux chanteurs, migrent essentiellement la nuit. Quelques oiseaux de grande taille, comme les oiseaux aquatiques ou de rivage, peuvent migrer le jour ou la nuit. Les oiseaux qui volent des jours durant au-dessus de l'eau doivent, de toute évidence, poursuivre un vol sans escale de jour comme de nuit.



Imagerie radar

DÉTECTION D'ACTIVITÉ AÉRIENNE
AU DÉBUT D'UNE MIGRATION
NOCTURNE

Une station radar Doppler près de Niagara Falls identifie et décrit une période d'activité aviaire à grande échelle alors qu'une multitude d'oiseaux envahit le ciel pour migrer en direction nord à une période de pointe, juste après la tombée de la nuit. La majeure partie de l'activité se déroule au-dessus de la terre alors que les oiseaux s'envolent de leur habitat de la journée. Cependant, une masse commence à se séparer au nord au-dessus de l'eau dès que les premiers oiseaux atteignent les Grands Lacs. Différentes couleurs illustrent la densité de l'activité.



SCIENCE CITOYENNE

La science citoyenne — la participation de tout citoyen à collecte de données pouvant servir à des fins d'analyse scientifique — n'est pas un concept nouveau, surtout dans le monde de l'ornithologie.

L'un des premiers et plus anciens projets de science citoyenne parmi tous est le Recensement des oiseaux de Noël (projet coordonné par Études d'Oiseaux Canada). Ce recensement d'oiseaux a maintenant plus de 100 ans d'existence et suscite la participation de plus de 70 000 personnes chaque année au moment de recenser de l'information sur les oiseaux dans plus de 2 000 sites partout au monde.

Les avancées les plus importantes de la science citoyenne pour comprendre les déplacements et les fluctuations de populations d'oiseaux dans diverses vastes régions géographiques ont commencé à voir le jour depuis les deux dernières décennies grâce aux applications informatiques modernes, la technologie Internet et aussi les techniques de plus en plus sophistiquées de modélisation statistique (Devictor et coll. 2010, Bridge et coll. 2011, Supp et coll. 2015).

Aujourd'hui, il existe des centaines de projets de science citoyenne sur les oiseaux, et certains d'entre eux se concentrent sur une espèce ou une région géographique en particulier, alors que d'autres projets sont conçus pour recueillir des données pouvant servir à vérifier des



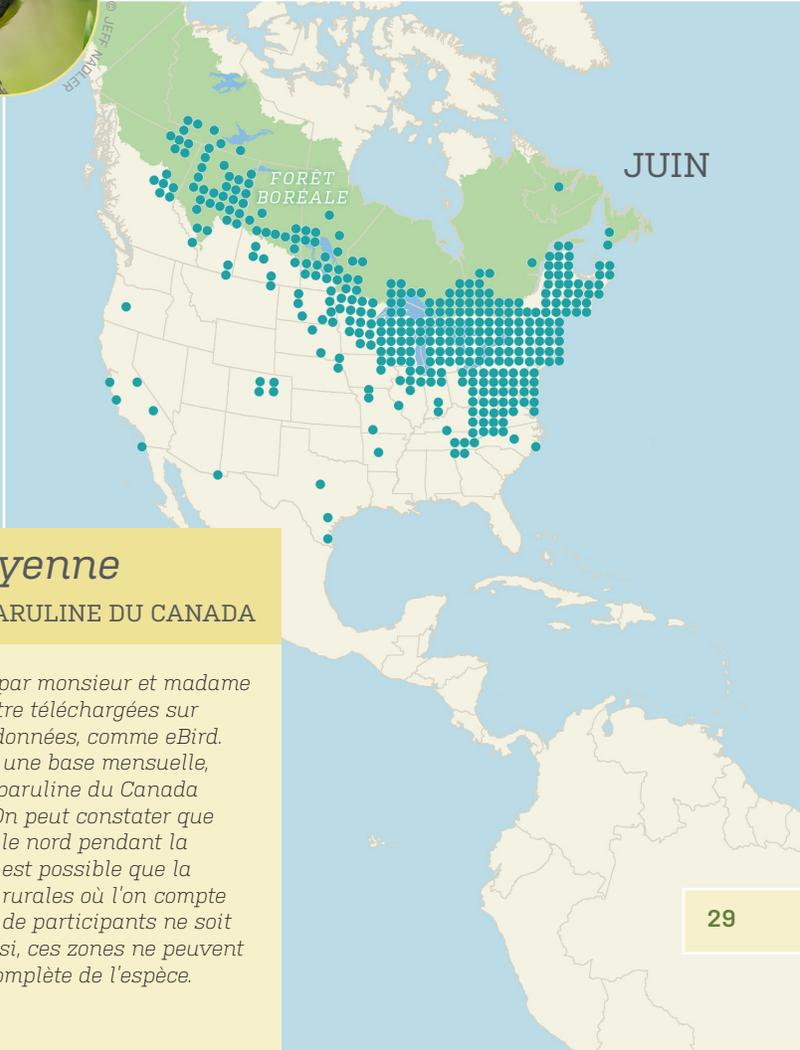
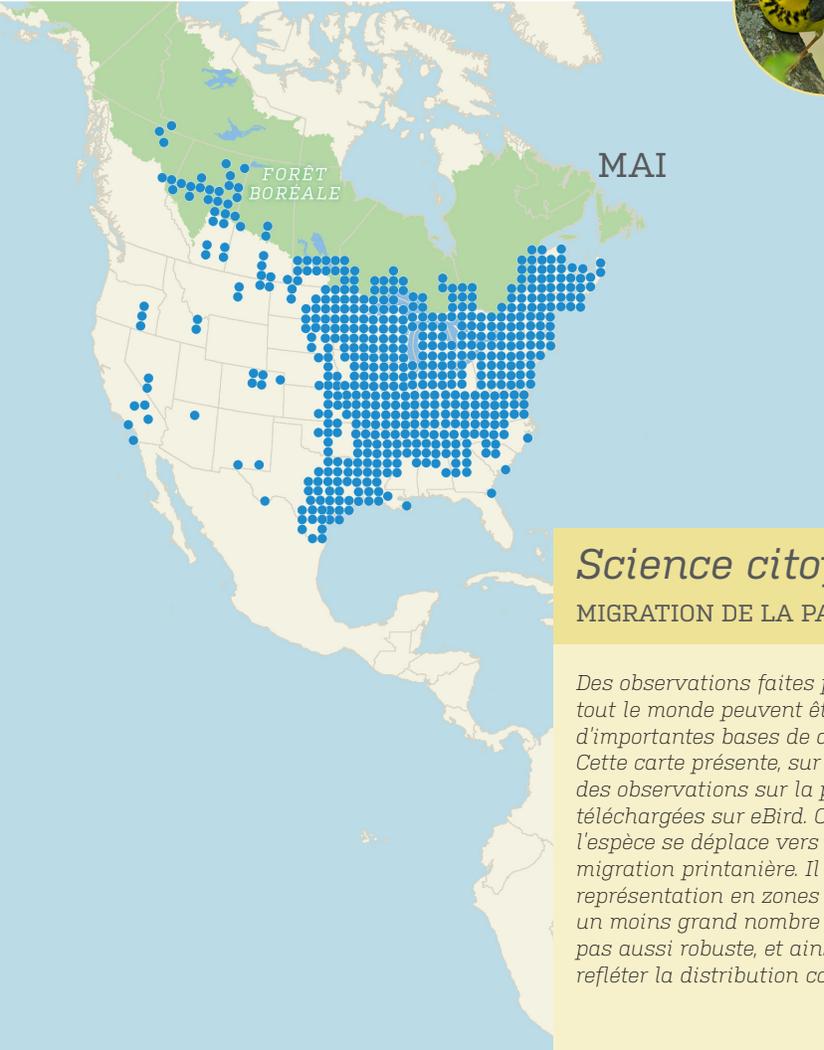
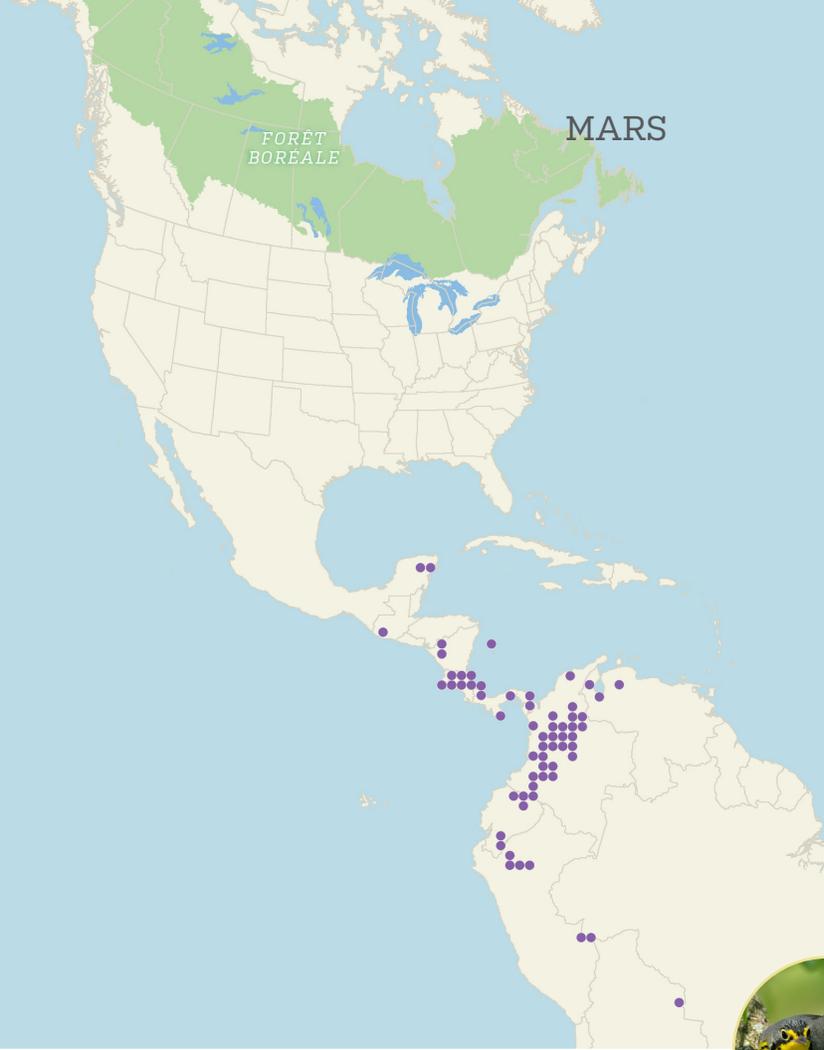
© JEFF NADLER

En raison de l'important déclin de la paruline du Canada – une baisse de population de plus de 70 % – l'Initiative internationale de conservation pour la paruline du Canada déploie des efforts transfrontaliers pour préserver cet oiseau migrateur.

hypothèses précises. Un des projets les plus ambitieux et innovants en science citoyenne est eBird, un projet conjoint entre Cornell Laboratory of Ornithology et National Audubon Society (Sullivan et coll. 2014). Le projet eBird offre un portail Web centralisé où tout un chacun peut rapporter des observations sur des oiseaux de partout au monde. La base de données de eBird compte maintenant plus de six

millions de listes de reconnaissance des oiseaux, et est l'une des plus importantes dans le monde (Sullivan et coll. 2014).

Les scientifiques peuvent puiser à même cette source riche de données pour répondre à des questions d'envergure continentale auxquelles ils auraient difficilement pu répondre avant l'existence de cette base de données (La Sorte et coll. 2015a, 2015b). Une étude publiée en 2016 s'est servie des nouvelles approches de modélisation en utilisant les millions d'observations eBird de toute l'Amérique afin de suivre, pour la toute première fois, les voies, les vitesses et les distances de migration pour des populations entières de plus de 100 espèces, et principalement pendant leurs allées et venues entre les trois Amériques (La Sorte et coll. 2016).



Science citoyenne

MIGRATION DE LA PARULINE DU CANADA

Des observations faites par monsieur et madame tout le monde peuvent être téléchargées sur d'importantes bases de données, comme eBird. Cette carte présente, sur une base mensuelle, des observations sur la paruline du Canada téléchargées sur eBird. On peut constater que l'espèce se déplace vers le nord pendant la migration printanière. Il est possible que la représentation en zones rurales où l'on compte un moins grand nombre de participants ne soit pas aussi robuste, et ainsi, ces zones ne peuvent refléter la distribution complète de l'espèce.

Conclusions et recommandations

Au cours des 100 dernières années, depuis la signature de la Convention concernant les oiseaux migrateurs, d'incroyables avancées ont vu le jour grâce aux efforts concertés de conservation des États-Unis et du Canada. Alors que s'ouvre devant nous un nouveau siècle de conservation des oiseaux, les menaces qui pèsent sur les populations d'oiseaux sont très variées et nécessitent un vaste ensemble de solutions.

Les nouvelles avancées technologiques à notre disposition pour étudier les oiseaux nous permettent d'accroître de manière exponentielle nos connaissances en matière de protection et de gestion des populations d'oiseaux et de leurs habitats. Nous en avons appris davantage sur les responsabilités que se partagent les pays, les provinces, les états, les gouvernements des Premières Nations et les autres intervenants afin de pouvoir garantir la survie des différentes espèces d'oiseaux. À chacune des étapes de leur cycle de vie, les oiseaux migrateurs ont besoin d'habitats intacts sur de très vastes échelles : des aires de reproduction aux aires d'hivernage en passant par les habitats de haltes migratoires. Les connaissances acquises démontrent que les cibles originales de protection des habitats doivent maintenant être nettement supérieures. Dans les dernières vastes régions écologiquement intactes de la Terre – la forêt boréale du Canada et de l'Alaska – il est impératif de protéger contre les perturbations industrielles à grande échelle au moins la moitié de la superficie, tout en mettant en place des mesures durables avant-gardistes et des moyens de surveillance indépendants dans les zones où les ressources naturelles pourraient être exploitées à l'échelle industrielle.

La protection et le maintien des populations d'oiseaux dans les circonstances actuelles nécessitent la collaboration de différents partenaires qui mettent en pratiques une idéologie moderne de conservation sur des territoires intacts où les oiseaux se portent bien. C'est pour cette raison qu'il est tout aussi impératif que les gouvernements et les communautés des Premières Nations soient soutenus lors de leurs prises de décisions concernant l'avenir de leurs territoires. Le renforcement et le maintien des capacités des gouvernements et des communautés des Premières Nations doivent constituer une priorité qui assure leur progression dans un nouvel avenir prospère où règne un équilibre entre la conservation et le développement industriel des terres de la région de la forêt boréale du Canada et de l'Alaska. Les gouvernements de niveau fédéral, provincial et de l'État doivent investir massivement pour offrir aux communautés les ressources financières nécessaires à la formation et l'embauche de planificateurs de l'utilisation du territoire, de gestionnaires, et de surveillants et patrouilleurs du territoire, tous d'origine autochtone. Ce modèle a connu de belles réussites en Australie où des programmes de patrouilleurs autochtones emploient plus 700 personnes d'origine autochtone pour gérer de vastes territoires ayant une importance vitale sur le plan culturel et écologique. Le Canada et l'Alaska doivent en faire autant et mettre de tels programmes en place.

Alors que nous soulignons le centième anniversaire de conservation des oiseaux en Amérique, le temps est également venu de progresser dans ce nouveau siècle avec de nouvelles idées issues des fascinantes découvertes de recherche sur la migration. Il faut aussi prendre conscience que la réussite des efforts de conservation repose sur la reconsidération d'anciens paradigmes et l'établissement de partenariats nouveaux, parfois même inhabituels. L'enthousiasme et l'espoir seront au rendez-vous pour la conservation des oiseaux si nous parvenons à faire germer ces nouvelles idées et si nous continuons à apprendre et à nous adapter comme les oiseaux le font depuis des millions d'années.

RECOMMANDATIONS

ENCOURAGER ET FINANCER LA RECHERCHE SUR LES OISEAUX MIGRATEURS

- Il faut continuer à encourager et à financer la recherche sur tous les aspects de la migration (les voies, la connectivité, les périodes, etc.) afin de comprendre l'ensemble des facteurs qui influencent l'avenir de toutes les espèces d'oiseaux sur les aires de reproduction et d'hivernage ainsi que pendant la migration. Les collaborations et les partenariats interculturels et internationaux qui veillent à la conservation des espèces sur l'ensemble de leur cycle de vie doivent recevoir un appui continu et poursuivre leur développement. Des organismes comme Sea Duck Joint Venture, Boreal Partners in Flight, International Rusty Blackbird Technical Working Group et l'Initiative internationale de conservation de la paruline du Canada sont tous des modèles à reproduire et à soutenir.

PROTÉGER AU MOINS 50 % DE LA FORÊT BORÉALE

- Afin de maintenir les populations d'oiseaux migrateurs et l'ensemble de toutes les espèces florales et fauniques ainsi que les processus écologiques, au moins 50 % d'un écosystème ou d'un territoire à vaste échelle doivent être incorporés à un réseau d'aires protégées à l'abri de toute perturbation industrielle, incluant l'exploitation forestière, les activités et l'exploration minières, l'exploration et l'extraction pétrolière et gazière, l'agriculture et la production d'hydroélectricité.
- Le réseau des aires de conservation doit inclure de très vastes étendues de territoire — de l'ordre d'au moins 10 000 à 20 000 km² (2,5 à 5 millions d'hectares) en superficie — pour maintenir des populations d'oiseaux migrateurs et de gros mammifères, mais aussi, pour offrir une diversité d'habitats suffisante et assurer le plein fonctionnement des écosystèmes, et pour servir de réservoirs de biodiversité devant les changements climatiques.
- Au moment de la planification, il faut considérer les effets cumulatifs du développement sur des périodes de temps importantes (p. ex. : en décennies) afin de pouvoir garantir que l'ensemble des conséquences de l'utilisation du territoire sont comprises et prises en compte. Étant donné la vitesse sans précédent à laquelle les conséquences des changements climatiques affectent les systèmes écologiques, tout particulièrement dans les régions du nord, la viabilité des populations fauniques est de plus en plus dépendante de la gestion du territoire, c'est-à-dire, de la protection de grandes aires intactes d'habitats et du maintien de la connectivité du paysage.

LES DÉCISIONS CONCERNANT L'UTILISATION DU TERRITOIRE DOIVENT RELEVER DES GOUVERNEMENTS DES PREMIÈRES NATIONS ET DES COMMUNAUTÉS LOCALES

- Les décisions concernant l'utilisation du territoire dans les régions de la forêt boréale du Canada et de l'Alaska seront déterminantes pour l'avenir d'un grand nombre de populations d'oiseaux. Ces décisions doivent relever de la responsabilité des gouvernements et des communautés des Premières Nations. Ils sont indissociables de ce territoire. Toute décision doit respecter le principe de « consentement éclairé, libre et préalable » selon lequel les peuples autochtones ont le droit de déterminer et de définir les priorités et les stratégies de développement ou d'utilisation de leurs terres, territoires et autres ressources.
- La conservation des terres doit être adaptée aux utilisations traditionnelles du territoire des Autochtones et gérée ou co-gérée par des gouvernements autochtones. Dans tous les cas, il faut protéger les valeurs et les utilisations traditionnelles, incluant la chasse, le piégeage, la cueillette de plantes comme source de nourriture, de matériel et de médecine ainsi que les pratiques spirituelles ou cérémoniales. Les gouvernements de niveau fédéral et provincial doivent investir massivement pour offrir aux communautés des ressources financières nécessaires à la formation et l'embauche de planificateurs de l'utilisation du territoire, de gestionnaires ainsi que de surveillants ou patrouilleurs du territoire, tous d'origine autochtone. Il faut trouver des moyens de faire avancer de tels programmes dans les communautés autochtones en offrant des formations et de l'équipement afin d'augmenter les bases de données qui sont souvent maigres dans les régions isolées du nord.

Ouvrages Cités

- Baldassarre, G. 2014. *Ducks, geese, and swans of North America*. Vol. 1. Baltimore: JHU Press.
- Baldwin, E.A. 2011. Twenty-Five Years Under the Convention on Migratory Species: Migration Conservation Lessons from Europe. *Environmental Law* 41(2):535.
- BirdLife International. 2013. *State of the world's birds: indicators for our changing world*. BirdLife International, Cambridge, UK.
- Boere, G.C. 1991. The Bonn Convention and the conservation of migratory birds. Pp. 345-360. In: T. Salathe (ed.), *Conserving migratory birds*. ICBP Technical Publication no. 12. International Council for Bird Preservation, Cambridge, UK.
- Bridge, E.S., J.F. Kelly, A. Contina, R.M. Gabrielson, R.B. MacCurdy, and D.W. Winkler. 2013. Advances in tracking small migratory birds: a technical review of light level geolocation. *Journal of Field Ornithology* 84(2):121-137.
- Bridge, E.S., K. Thorup, M.S. Bowlin, P.B. Chilson, R.H. Diehl, R.W. Fléron, P. Hartl, R. Kays, J.F. Kelly, W.D. Robinson, and M. Wikelski. 2011. Technology on the move: recent and forthcoming innovations for tracking migratory birds. *BioScience* 61(9):689-698.
- Brown, J.M., and P.D. Taylor. 2015. Adult and hatch-year Blackpoll Warblers exhibit radically different regional-scale movements during post-fledging dispersal. *Biology Letters* 11(12):20150593. DOI: 10.1098/rsbl.2015.0593.
- Buler, J.J., and D.D. Dawson. 2014. Radar analysis of fall bird migration stopover sites in the northeastern U.S. *Condor* 116(3):357-370.
- Carlson M., J. Wells, and M. Jacobson. 2015. Balancing the relationship between protection and sustainable management in Canada's boreal forest. *Conservation and Society* 13(1):13-22.
- Chabot, A.A., K.A. Hobson, S.L. Van Wilgenburg, G.J. McQuat, and S.C. Loughheed. 2012. Advances in linking wintering migrant birds to their breeding-ground origins using combined analyses of genetic and stable isotope markers. *PLoS ONE* 7(8):e43627.
- Chubbs, T.E., P.G. Trimper, G.W. Humphries, P.W. Thomas, L.T. Elson, and D.K. Laing. 2008. Tracking seasonal movements of adult male Harlequin Ducks from central Labrador using satellite telemetry. *International Journal of Waterbird Biology* 31(Special Publication 2):173-182.
- Cioc, M. 2009. *The Game of Conservation: International Treaties to Protect the World's Migratory Animals*. Columbus: Ohio State University Press.
- Coiffait, L., C.P.F. Redfern, R.M. Bevan, J. Newton, and K. Wolff. 2009. The use of intrinsic markers to study bird migration. *Ringed & Migration* 24(3):169-174.
- Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada (COSEWIC). 2016. *Candidate Wildlife Species*. Available at: http://www.cosewic.gc.ca/eng/sct3/index_e.cfm#2 (Accessed March 2016).
- DeLuca, W.V., B.K. Woodworth, C.C. Rimmer, P.P. Marra, P.D. Taylor, K.P. McFarland, S.A. Mackenzie, and D.R. Norris. 2015. Transoceanic migration by a 12 g songbird. *Biology Letters* 11(4):20141045.
- Desholm, M., R. Gill, T. Bøvith, and A.D. Fox. 2014. Combining spatial modelling and radar to identify and protect avian migratory hot-spots. *Current Zoology* 60(5):680-691.
- Devictor, V., R.J. Whittaker, and C. Beltrame. 2010. Beyond scarcity: citizen science programmes as useful tools for conservation biogeography. *Diversity and Distributions* 16(3):354-362.
- Dorsey, K. 1998. *The Dawn of Conservation Diplomacy: US-Canadian Wildlife Protection Treaties in the Progressive Era*. Seattle: University of Washington Press.
- Evans, W.R., and D.K. Mellinger. 1999. Monitoring grassland birds in nocturnal migration. *Studies in Avian Biology* 19:219-229.
- Evans, W.R., and K.V. Rosenberg. 2000. Acoustic monitoring of night migrating birds: a progress report. In: R.E. Bonney, D.N. Pashley, and R. Cooper (eds.), *Strategies for bird conservation: creating the Partners in Flight planning process*. Proceedings of the 3rd Partners in Flight Workshop. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, Utah.
- Evans, W.R., and M. O'Brien. 2002. *Flight Calls of Migratory Birds: Eastern North American Birds*. Ithaca: Old Bird Inc.
- Faaborg, J., R.T. Holmes, A.D. Anders, K.L. Bildstein, K.M. Dugger, S.A. Gauthreaux, P. Heglund, K.A. Hobson, A.E. Jahn, D.H. Johnson, S.C. Latta, D.J. Levey, P.P. Marra, C.L. Merkord, E. Nol, S.I. Rothstein, T.W. Sherry, T.S. Sillett, F.R. Thompson, and N. Warnock. 2010. Recent advances in understanding migration systems of New World land birds. *Ecological Monographs* 80(1):3-48. DOI: 10.1890/09-0395.1.
- Farnsworth, A. 2005. Flight calls and their value for future ornithological studies and conservation research. *Auk* 122(3):733-746.
- Farnsworth, A., S.A. Gauthreaux, and D. van Blaricom. 2004. A comparison of nocturnal call counts of migrating birds and reflectivity measurements on Doppler radar. *Journal of Avian Biology* 35(4):365-369.
- Farnsworth, A., B.M. Van Doren, W.M. Hochachka, D. Sheldon, K. Winner, J. Irvine, J. Geevarghese, and S. Kelling. 2015. A characterization of autumn nocturnal migration detected by weather surveillance radars in the northeastern US. *Ecological Applications*, advance online publication. DOI: 10.1890/15-0023.1.
- Fijn, R.C., K.L. Krijgsveld, M.J. Poot, and S. Dirksen. 2015. Bird movements at rotor heights measured continuously with vertical radar at a Dutch offshore wind farm. *Ibis* 157(3):558-566.
- Francis, C., P.D. Taylor, and Z. Crysler. 2016. *BOU Proceedings – Birds in time and space: avian tracking and remote sensing*. Available at: <http://www.bou.org.uk/bouproc-net/avian-tracking/poster-francis-etal.pdf> (Accessed April 2016).
- Fraser, K.C., B.J.M. Stutchbury, C. Silverio, P.M. Kramer, J. Barrow, D. Newstead, N. Mickle, B.F. Cousens, J.C. Lee, D.M. Morrison, T. Shaheen, P. Mammenga, K. Applegate, and J. Tautin. 2012. Continent-wide tracking to determine migratory connectivity and tropical habitat associations of a declining aerial insectivore. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 279:4901-4906.
- Fraser, K.C., C. Silverio, P. Kramer, N. Mickle, R. Aepli, and B.J. Stutchbury. 2013. A trans-hemispheric migratory songbird does not advance spring schedules or increase migration rate in response to record-setting temperatures at breeding sites. *PLoS ONE* 8(5):e64587.
- Fuller, M.R., J.J. Millsbaugh, K.E. Church, and R.E. Kenward. 2005. Wildlife radiotelemetry. Pp. 377-417. In: C.E. Braun (ed.) *Techniques for Wildlife Investigations and Management*. The Wildlife Society, Bethesda, Maryland.
- Gaston, K.J., T.M. Blackburn, and K.K. Goldewijk. 2003. Habitat conversion and

- global avian biodiversity loss. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 270(1521):1293–1300.
- Gauthreaux, S.A., C.G. Belser, and D. Blaricom. 2003. Using a network of WSR-88D weather surveillance radars to define patterns of bird migration at large spatial scales. In: P. Berthold, E. Gwinner, and E. Sonnenschein (eds.), *Avian Migration*. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Gauthreaux, S.A. 1992. The use of weather radar to monitor long term patterns of trans-gulf migration in spring. In: J.M. Hagan III and D.W. Johnston (eds), *Ecology and Conservation of Neotropical Migrant Landbirds*. Washington, DC: Smithsonian Institution Press.
- Gauthreaux, S.A., and C.G. Belser. 2003. Radar ornithology and biological conservation. *Auk* 120(2):266–277.
- Gill, R.E., T. Piersma, G. Hufford, R. Servranckx, and A. Riegen. 2005. Crossing the ultimate ecological barrier: evidence for an 11000-km-long nonstop flight from Alaska to New Zealand and eastern Australia by bar-tailed godwits. *Condor* 107(1):1–20.
- Gill, R.E., T.L. Tibbitts, D.C. Douglas, C.M. Handel, D.M. Mulcahy, J.C. Gottshalck, N. Warnock, B.J. McCaffery, P.F. Battley, and T. Piersma. 2009. Extreme endurance flights by landbirds crossing the Pacific Ocean: ecological corridor rather than barrier? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 276(1656):447–457.
- Gill, R.E., D.C. Douglas, C.M. Handel, T.L. Tibbitts, G. Hufford, and T. Piersma. 2014. Hemispheric-scale wind selection facilitates bar-tailed godwit circum-migration of the Pacific. *Animal Behaviour* 90:117–130.
- Hallworth, M.T., T.S. Sillett, S.L. Van Wilgenburg, K.A. Hobson, and P.P. Marra. 2015. Migratory connectivity of a Neotropical migratory songbird revealed by archival light level geolocators. *Ecological Applications* 25(2):336–347.
- Hobson, K.A. 2007. Isotopic tracking of migrant wildlife. Chapter 6. Pp. 155–175. In: R. Michener and K. Lajtha (eds.), *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*, Second Edition. Boston: Blackwell Publishers.
- Hobson, K.A., and K.J. Kardynal. 2015. Western Veeries Use an Eastern Shortest-Distance Pathway: New Insights to Migration Routes and Phenology Using Light-Level Geolocators. *Auk* 132(3):540–550.
- Hobson, K.A., and K.J. Kardynal. 2016. An isotope ($\delta^{34}\text{S}$) filter and geolocator results constrain a dual feather isoscape ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$) to identify the wintering grounds of North American Barn Swallows. *Auk* 133(1):86–98.
- Hobson, K.A., and L.I. Wassenaar. 1997. Linking breeding and wintering grounds of Neotropical migrant songbirds using stable hydrogen isotopic analysis of feathers. *Oecologia* 109(1):142–148.
- Hobson, K.A., R. Greenberg, S.L. Van Wilgenburg, and C. Mettke-Hofmann. 2010. Migratory Connectivity in the Rusty Blackbird: Isotopic Evidence From Feathers of Historical and Contemporary Specimens. *Condor* 112(4):778–788.
- Hobson, K.A., K.P. McFarland, L.I. Wassenaar, C.C. Rimmer, and J.E. Goetz. 2001. Linking breeding and wintering grounds of Bicknell's Thrushes using stable isotope analyses of feathers. *Auk* 118(1):16–23.
- Hobson, K.A., S.L. Van Wilgenburg, E.H. Dunn, D.J.T. Hussell, P.D. Taylor, and D.M. Collister. 2015. Predicting origins of passerines migrating through Canadian migration monitoring stations using stable-hydrogen isotope analyses of feathers: a new tool for bird conservation. *Avian Conservation and Ecology* 10(1):3. DOI: 10.5751/ACE-00719-100103.
- Holberton, R.L., S.L. Van Wilgenburg, A.J. Leppold, and K.A. Hobson. 2015. Isotopic evidence of "loop migration" and use of the Gulf of Maine Flyway by both western and eastern breeding populations of Blackpoll Warblers. *Journal of Field Ornithology* 86(3):213–228.
- Holland, R.A., K. Thorup, and M.C. Wikeiski. 2007. Where the wild things go. *Biologist* 54(4):214–219.
- International Boreal Conservation Science Panel (IBCSP). 2013. *Conserving the World's Last Great Forest is Possible: Here's How*. International Boreal Conservation Science Panel. Available at: <http://borealscience.org/wp-content/uploads/2013/07/conserving-last-great-forests1.pdf> (Accessed March 2016).
- Irwin, D.E., J.H. Irwin, and T.B. Smith. 2011. Genetic variation and seasonal migratory connectivity in Wilson's warblers (*Wilsonia pusilla*): species-level differences in nuclear DNA between western and eastern populations. *Molecular Ecology* 20(15):3102–3115.
- Jehl, J.R. Jr., J. Klima, and R.E. Harris. 2001. Short-billed Dowitcher (*Limnodromus griseus*). In: A. Poole and F. Gill (eds.), *The Birds of North America*, No. 564. Philadelphia: The Birds of North America, Inc.
- Jetz, W., D.S. Wilcove, and A.P. Dobson. 2007. Projected Impacts of Climate and Land-Use Change on the Global Diversity of Birds. *PLoS Biology* 5(6):e157. DOI:10.1371/journal.pbio.0050157.
- Johnson, J.A., S.M. Matsuoka, D.F. Tessler, R. Greenberg, and J.W. Fox. 2012. Identifying Migratory Pathways Used by Rusty Blackbirds Breeding in Southcentral Alaska. *Wilson Journal of Ornithology* 124(4):698–703.
- Keen, S., J.C. Ross, E.T. Griffiths, M. Lanzone, and A. Farnsworth. 2014. A comparison of similarity-based approaches in the classification of flight calls of four species of North American wood-warblers (*Parulidae*). *Ecological Informatics* 21:25–33.
- Kenward, R.E. 2001. *A manual of wildlife radio tagging*. London: Academic Press.
- Kroodsmas, D.E. 1984. Songs of the Alder Flycatcher (*Empidonax alnorum*) and Willow Flycatcher (*Empidonax traillii*) are innate. *Auk* 101(1):13–24.
- Lafleur, J.M., J.J. Buler, and F.R. Moore. 2016. Geographic position and landscape composition explain regional patterns of migrating landbird distributions during spring stopover along the northern coast of the Gulf of Mexico. *Landscape Ecology*: 1–13.
- La Sorte, F.A., D. Fink, W.M. Hochachka, A. Farnsworth, A.D. Rodewald, K.V. Rosenberg, B.L. Sullivan, D.W. Winkler, C. Wood, and S. Kelling. 2014. The role of atmospheric conditions in the seasonal dynamics of North American migration flyways. *Journal of Biogeography* 41(9):1685–1696.
- La Sorte, F.A., D. Fink, W.M. Hochachka, and S. Kelling. 2016. Convergence of broad-scale migration strategies in terrestrial birds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 238(1823). DOI: 10.1098/rspb.2015.2588.
- La Sorte, F.A., W.M. Hochachka, A. Farnsworth, D. Sheldon, B.M. Van Doren, D. Fink, and S. Kelling. 2015a. Seasonal changes in the altitudinal distribution of nocturnally migrating birds during autumn migration. *Royal Society Open Science* 2(12):150347.
- La Sorte, F.A., W.M. Hochachka, A. Farnsworth, D. Sheldon, D. Fink, J. Geevarghese, K. Winner, B.M. Van Doren,

- and S. Kelling. 2015b. Migration timing and its determinants for nocturnal migratory birds during autumn migration. *Journal of Animal Ecology* 84(5):1202-1212.
- Laughlin, A.J., C.M. Taylor, D.W. Bradley, D. Leclair, R.C. Clark, R.D. Dawson, P.O. Dunn, A. Horn, M. Leonard, D.R. Sheldon, D. Shutler, L.A. Whittingham, D. Winkler, and D.R. Norris. 2013. Integrating information from geolocators, weather radar, and citizen science to uncover a key stopover area of an aerial insectivore. *Auk* 130(2):230-239.
- Locke, H. 2013. Nature needs half: a necessary and hopeful new agenda for protected areas. *Parks: The International Journal of Protected Areas and Conservation* 19(2):13-22.
- Marra, P.P., D. Hunter, and A.M. Perrault. 2011. Migratory connectivity and the conservation of migratory animals. *Environmental Law Review* 41(2):317-354.
- Mazerolle, D.F., K.A. Hobson, and L.I. Wassenaar. 2005. Stable isotope and band-encounter analyses delineate migratory patterns and catchment areas of white-throated sparrows at a migration monitoring station. *Oecologia* 144(4):541-549.
- McKinnon, E.A., K.C. Fraser, and B.J. Stutchbury. 2013. New discoveries in landbird migration using geolocators, and a flight plan for the future. *Auk* 130(2):211-222.
- McKinnon, E.A., K.C. Fraser, C.Q. Stanley, and B.J.M. Stutchbury. 2014. Tracking from the Tropics reveals behaviour of juvenile songbirds on their first spring migration. *PLoS ONE* 9(8):e105605. DOI: 10.1371/journal.pone.0105605.
- Mills, A.M., B.G. Thurber, S.A. Mackenzie, and P.D. Taylor. 2011. Passerines use nocturnal flights for landscape-scale movements during migration stopover. *Condor* 113(3):597-607. <http://www.bioone.org/doi/abs/10.1525/cond.2011.100186>
- Mitchell, G.W., A.E.M. Newman, M. Wikelski, and D.R. Norris. 2012. Timing of breeding carries over to influence migratory departure in a songbird: an automated radio-tracking study. *Journal of Animal Ecology* 81(5):1024-1033. DOI: 10.1111/j.1365-2656.2012.01978.x.
- Nelson, S.K. 1997. Marbled Murrelet (*Brachyramphus marmoratus*). In: A. Poole and F. Gill (eds.), *The Birds of North America*, No. 276. The Academy of Natural Sciences, Philadelphia, Pennsylvania, and The American Ornithologists' Union, Washington, D.C.
- Nelson, D.M., M. Braham, T.A. Miller, A.E. Duerr, J. Cooper, M. Lanzone, J. Lemaitre, and T. Katzner. 2015. Stable hydrogen isotopes identify leapfrog migration, degree of connectivity, and summer distribution of Golden Eagles in eastern North America. *Condor* 117(3):414-429.
- Petersen, M.R., J.B. Grand, and C.P. Dau. 2000. Spectacled Eider (*Somateria fischeri*). In: A. Poole and F. Gill (eds.) *The Birds of North America*, No. 547. Cornell Laboratory of Ornithology, Ithaca, New York, and The Academy of Natural Sciences, Philadelphia, Pennsylvania.
- Petersen, M.R., W.W. Larned, and D.C. Douglas. 1999. At-sea distribution of Spectacled Eiders: A 120-year-old mystery resolved. *Auk* 116(4):1009-1020.
- Pimm, S.L., and P. Raven. 2000. Biodiversity—Extinction by numbers. *Nature* 403(6772): 843-845.
- Robert, M., G. H. Mittelhauser, B. Jobin, G. Fitzgerald, and P. Lamothe. 2008. New insights on Harlequin Duck population structure in eastern North America as revealed by satellite telemetry. *Waterbirds* 31(sp2): 159-172.
- Robertson, B.A., R. MacDonald, J.V. Wells, P. Blancher, and L. Bevier. 2011. Boreal migrants in winter bird communities. Chapter 7. Pp. 85-94. In: J.V. Wells (ed.), *Boreal birds of North America*. Studies in Avian Biology (No. 41). Berkeley: University of California Press.
- Robinson, W.D., M.S. Bowlin, I. Bisson, J. Shamoun-Baranes, K. Thorup, R.H. Diehl, T.H. Kunz, S. Mabey, and D.W. Winkler. 2010. Integrating concepts and technologies to advance the study of bird migration. *Frontiers in Ecology and the Environment* 8(7):354-361.
- Ruegg, K.C., E.C. Anderson, K.L. Paxton, V. Apkenas, S. Lao, R.B. Siegel, D.F. Desante, F. Moore, and T.B. Smith. 2014. Mapping migration in a songbird using high-resolution genetic markers. *Molecular Ecology* 23(23):5726-5739.
- Runge, C.A., J.E. Watson, S.H. Butchart, J.O. Hanson, H.P. Possingham, and R.A. Fuller. 2015. Protected areas and global conservation of migratory birds. *Science* 350(6265):1255-1258.
- Rushing, C.S., T.B. Ryder, J.F. Saracco, and P.P. Marra. 2014. Assessing migratory connectivity for a long-distance migratory bird using multiple intrinsic markers. *Ecological Applications* 24(3):445-456.
- Rushing, C.S., T.B. Ryder, and P.P. Marra. 2016. Quantifying drivers of population dynamics for a migratory bird throughout the annual cycle. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 283(1823):445-456.
- Sala, O.E., F.S. Chapin, J.J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber-Sanwald, L.F. Huenneke, R.B. Jackson, A. Kinzig, and R. Leemans. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287(5459):1770-1774.
- Sanders, C.E., and D.J. Mennill. 2014. Acoustic monitoring of nocturnally migrating birds accurately assesses the timing and magnitude of migration through the Great Lakes. *Condor* 116(3):371-383.
- Sandlos, J. 2013. Nature's nations: the shared conservation history of Canada and the USA. *International Journal of Environmental Studies* 70(3):358-371.
- Sauer, J.R., J.E. Hines, J.E. Fallon, K.L. Pardieck, D.J. Ziolkowski Jr., and W.A. Link. 2015. *The North American Breeding Bird Survey, Results and Analysis 1966 - 2013*. Version 01.30.2015. USGS Patuxent Wildlife Research Center, Laurel, Maryland.
- Schmiegelow, F.K.A., S.G. Cumming, S. Harrison, S. Leroux, K. Lisgo, R. Noss, and B. Olsen. 2006. *Conservation beyond crisis management: A conservation-matrix model*. BEACONS Discussion Paper No. 1. Department of Renewable Resources, University of Alberta, Edmonton, Alberta.
- Sea Duck Joint Venture. 2015. *Atlantic and Great Lakes sea duck migration study: Progress report June 2015*. Available at: http://seaduckjv.org/wp-content/uploads/2014/12/AGLSDMS-Progress-Report-June2015_web.pdf (Accessed April 2016).
- Seavy, N.E., D.L. Humple, R.L. Cormier, and T. Gardali. 2012. *Establishing the breeding provenance of a temperate-wintering North American passerine, the Golden-crowned Sparrow, using light-level geolocation*. *PLoS ONE* 7(4):e34886.
- Slattery, S.M., J.L. Morissette, G.G. Mack, and E.W. Butterworth. 2011. *Waterfowl Conservation Planning: Science Needs and Approaches*. Chapter 3. Pp. 23-40. In: J.V. Wells (ed.) *Boreal Birds of North America*. Studies in Avian Biology (No. 41). Berkeley: University of California Press.
- Smith, A.D., P.W. Paton, and S.R. McWilliams. 2014. *Using nocturnal flight calls to assess the fall migration of warblers and sparrows along a coastal ecological barrier*. *PLoS ONE* 9(3):e92218.

- Stanley, C.Q., M. MacPherson, K.C. Fraser, E.A. McKinnon, and B.J.M. Stutchbury. 2012. Repeat Tracking of Individual Songbirds Reveals Consistent Migration Timing but Flexibility in Route. *PLoS ONE* 7(7):e40688. DOI: 10.1371/journal.pone.0040688.
- Semple, J.B., and G.M. Sutton. 1932. Nesting of Harris's Sparrow (*Zonotrichia querula*) at Churchill, Manitoba. *Auk* 49(2):166-183. DOI: 10.2307/4077028.
- Stutchbury, B.J., S.A. Tarof, T. Done, E. Gow, P.M. Kramer, J. Tautin, J.W. Fox, and V. Afanasyev. 2009. Tracking long-distance songbird migration by using geolocators. *Science* 323(5916):896-896.
- Stutchbury, B.J., K.C. Fraser, C. Silverio, P. Kramer, B. Aepli, N. Mickle, M. Pearman, A. Savage, and J. Mejeur. 2016. Tracking mated pairs in a long-distance migratory songbird: migration schedules are not synchronized within pairs. *Animal Behaviour* 114:63-68.
- Sullivan, B.L., J.L. Aycrigg, J.H. Barry, R.E. Bonney, N. Bruns, C.B. Cooper, T. Damoulas, A.A. Dhondt, T. Dietterich, A. Farnsworth, and D. Fink. 2014. The eBird enterprise: an integrated approach to development and application of citizen science. *Biological Conservation* 169(1):31-40.
- Supp, S.R., F.A. La Sorte, T.A. Cormier, M.C.W. Lim, D.R. Powers, S.M. Wethington, S. Goetz, and C.H. Graham. 2015. Citizen-science data provides new insight into annual and seasonal variation in migration patterns. *Ecosphere* 6(1):1-19.
- Taylor, P.D., S.A. Mackenzie, B.G. Thurber, A.M. Calvert, A.M. Mills, L.P. McGuire, and C.G. Guglielmo. 2011. Landscape movements of migratory birds and bats reveal an expanded scale of stopover. *PLoS ONE* 6(11):e27054. DOI: 10.1371/journal.pone.0027054.
- Thomas, P.W., G.H. Mittelhauser, T.E. Chubbs, P.G. Trimper, R.I. Goudie, G.J. Robertson, S. Brodeur, M. Robert, S.G. Gilliland, and J.-P.L. Savard. 2008. Movements of Harlequin Ducks in eastern North America. *Waterbirds* 31(sp2):188-193.
- United States Geological Survey (USGS). 2016. *A Brief History about the origins of Bird Banding*. Available at: <https://www.pwrc.usgs.gov/BBL/homepage/historyNew.cfm> (Accessed April 2016).
- Van Doren, B.M., D. Sheldon, J. Geevarghese, W.M. Hochachka, and A. Farnsworth. 2015. Autumn morning flights of migrant songbirds in the northeastern United States are linked to nocturnal migration and winds aloft. *Auk* 132(1):105-118.
- Watson, M.L., J.V. Wells, and R.W. Bavis. 2011. First detection of night flight calls by pine siskins. *The Wilson Journal of Ornithology* 123(1):161-164.
- Watts, B.D., B.R. Truitt, F.M. Smith, E.K. Mojica, B.J. Paxton, A.L. Wilke, and A.E. Duerr. 2008. Whimbrel tracked with satellite transmitter on migratory flight across North America. *Wader Study Group Bulletin* 115:119-121.
- Webster, M.S., P.P. Marra, S.M. Haig, S. Bensch, and R.T. Holmes. 2002. Links between worlds: unraveling migratory connectivity. *Trends in Ecology and Evolution* 17(2):76-83.
- Wells, J.V. 2007. *Birders' Conservation Handbook: 100 North American Birds at Risk*. Princeton: Princeton University Press.
- Wells, J.V. 2010. From the Last of the Large to the Remnants of the Rare: Bird Conservation at an Ecoregional Scale. Pp. 121-137. In: S.C. Trombulak and R. Baldwin (eds.) *Landscape-scale Conservation Planning*. Dordrecht, Netherlands: Springer Science+Business Media B.V.
- Wells, J.V. 2012. *Tenacious Whimbrels Can Handle Hurricanes, Not Habitat Loss*. National Geographic - Voices. Available at: <http://voices.nationalgeographic.com/2012/09/25/tenacious-whimbrels-can-handle-hurricanes-not-habitat-loss/> (Accessed March 2016).
- Wells, J.V., and P. Blancher. 2011. Global role for sustaining bird populations. Chapter 2. Pp. 7-22. In: J.V. Wells (ed.), *Boreal Birds of North America*. Studies in Avian Biology (No. 41). Berkeley: University of California Press.
- Wells, J., F. Reid, M. Darveau, and D. Childs. 2013. *Ten Cool Canadian Biodiversity Hotspots: How a New Understanding of Biodiversity Underscores the Global Significance of Canada's Boreal Forest*. Boreal Songbird Initiative, Seattle, Washington, Ducks Unlimited Inc., Memphis, Tennessee, and Ducks Unlimited Canada, Stonewall, Manitoba.
- Wells, J., D. Childs, F. Reid, K. Smith, M. Darveau, and V. Courtois. 2014. *Boreal Birds Need Half: Maintaining North America's Bird Nursery and Why it Matters*. Boreal Songbird Initiative, Seattle, Washington, Ducks Unlimited Inc., Memphis, Tennessee, and Ducks Unlimited Canada, Stonewall, Manitoba.
- Wells, J., D. Schindler, S. Pimm, V. Courtois, K. Smith, J. Schaefer, J. Jacobs, and P. Raven. 2015. Domestic Policy Focus Highly Important For Protecting Primary Forests. *Conservation Letters* 8(2):148-149. DOI:10.1111/consl.12165.
- Wilcove, D.S., D. Rothstein, J. Dubow, A. Phillips, and E. Losos. 1998. Quantifying threats to imperiled species in the United States. *BioScience* 48(8):607-615.
- Wilcove, D.S., and M. Wikelski. 2008. Going, going, gone: Is animal migration disappearing? *PLoS Biology* 6(7):e188. DOI: 10.1371/journal.pbio.0060188.
- Wilson, E.O. 2016. *Half-Earth*. New York: W. W. Norton & Company.
- Wood, C., B. Sullivan, M. Iliff, D. Fink, and S. Kelling. 2011. eBird: Engaging Birders in Science and Conservation. *PLoS Biology* 9(12):e1001220. DOI: 10.1371/journal.pbio.1001220.
- Woodworth, B.K., C.M. Francis, and P.D. Taylor. 2014. Inland flights of young red-eyed vireos *Vireo olivaceus* in relation to survival and habitat in a coastal stopover landscape. *Journal of Avian Biology* 45(4):387-395.

BOREAL SONGBIRD INITIATIVE
1904 Third Avenue, Suite 305
Seattle, Washington 98101
www.borealbirds.org

CORNELL LAB OF ORNITHOLOGY
159 Sapsucker Woods Road
Ithaca, New York 14850
www.birds.cornell.edu

DUCKS UNLIMITED INC.
One Waterfowl Way
Memphis, Tennessee 38120
www.ducks.org

DUCKS UNLIMITED CANADA
P.O. Box 1160
Stonewall, Manitoba R0C 2Z0
www.ducks.ca

ENVIRONMENT FOR THE AMERICAS
5171 Eldorado Springs Drive, Suite N Boulder,
Colorado 80303
www.birdday.org