



CEC
CCA
CCE

Outils géospatiaux pour faire l'inventaire et la surveillance des abeilles indigènes d'Amérique du Nord

Recommandations stratégiques et
cartographie des zones prioritaires



Citer comme suit :

CCE (2025). *Outils géospatiaux pour faire l'inventaire et la surveillance des abeilles indigènes d'Amérique du Nord : Recommandations stratégiques et cartographie des zones prioritaires*, Montréal, Canada, Commission de coopération environnementale, viii + 40 p.

La présente publication a été préparée par la consultante Olivia Carril pour le Secrétariat de la Commission de coopération environnementale. Les auteurs assument l'entière responsabilité de l'information qu'elle contient, et cette information ne reflète pas nécessairement les vues de la CCE ou des gouvernements du Canada, du Mexique ou des États-Unis.

À propos de l'auteur :

Spécialiste de l'inventaire des abeilles indigènes, Olivia Carril possède une longue expérience de l'utilisation d'outils géospatiaux et de bases de données. En tant qu'éducatrice et autrice, elle a présenté et animé de nombreuses discussions, et elle est très au fait de la recherche et des activités sur lesquelles portaient les ateliers de la CCE sur les abeilles indigènes.

Le présent rapport peut être reproduit en tout ou en partie sans le consentement préalable du Secrétariat de la CCE, à condition que ce soit à des fins éducatives et non lucratives, et que la source soit mentionnée. La CCE souhaiterait néanmoins recevoir un exemplaire de toute publication ou de tout écrit qui s'inspire du présent document.

Sauf indication contraire, le contenu de cette publication est protégé en vertu d'une licence Creative Commons : Paternité – Pas d'utilisation commerciale – Pas de modification.



© Commission de coopération environnementale, 2025

ISBN : 978-2-89700-370-8

Available in English – ISBN: 978-2-89700-369-2

Disponibile en español – ISBN: 978-2-89700-371-5

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2025

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives Canada, 2025

Photo de la page de couverture : Halicte vert (*Agapostemon virescens*) sur une fleur rouge, Wirestock

Renseignements sur la publication

Type de publication : publication de projet

Date de parution : juin 2025

Langue d'origine : anglais

Processus d'examen et d'assurance de la qualité :

Dernier examen par les parties : décembre 2024

QA389

Projet : Plan opérationnel pour 2022/Promotion de la conservation des pollinisateurs en Amérique du Nord

Renseignements additionnels :

Commission de coopération environnementale

1001, boulevard Robert-Bourassa

Bureau 1620

Montréal (Québec) H3B 4L4

Canada

Tél. : 514 350-4300; téléc. : 438 701-1434

info@cec.org/www.cec.org



COMMISSION
DE COOPÉRATION
ENVIRONNEMENTALE

Table des matières

Liste des abréviations et des sigles	iv
Résumé	v
Sommaire	vi
Remerciements	vii
1 Contexte	1
2 Définitions	2
3 État de la science	4
3.1 Le savoir sur la répartition des abeilles s'acquiert lentement	4
3.2 Un outil géospatial idéal pour analyser la répartition des abeilles	5
3.3 Outils géospatiaux existants	8
4 Création d'un outil de visualisation de données sur les abeilles	12
4.1 Données manquantes	12
4.1.1 <i>Fiches muséales non numérisées : une ressource inexploitée et un important investissement</i>	13
4.1.2 <i>Études contemporaines : précieuses à l'échelle locale, difficiles à utiliser à l'échelle mondiale</i>	14
4.1.3 <i>Données de science participative : abondantes, mais souvent peu détaillées</i>	15
4.1.3 <i>Connaissances écologiques traditionnelles (CET) : une ressource sous-utilisée et mal comprise</i>	16
4.2 Sous-échantillonnage : endroits non priorités pour les relevés ou la surveillance d'abeilles	17
4.2.1 <i>Territoires sous-échantillonnés prioritaires pour la recherche sur les abeilles</i>	18
4.2.1 <i>Autres régions prioritaires</i>	23
4.3 Portails de données : réunir toutes les données existantes en un seul endroit	25
4.4 Visualisation des données : la vraie fonction d'un outil géospatial	27
4.5 Exportation de données : la meilleure façon de partager les données sur les abeilles	29
5 Conclusions : l'importance de pouvoir visualiser des données géoréférencées sur les abeilles	30
Bibliographie	31

Liste des figures

Figure 1 – Processus d’analyse de la répartition des abeilles 6

Figure 2 – Régions d’Amérique du Nord hautement prioritaires pour l’échantillonnage d’abeilles
indigènes afin de combler les écarts des savoirs sur la répartition des espèces 18

Liste des abréviations et des sigles

CCE	Commission de coopération environnementale
ACE	Accord de coopération environnementale
GBIF	<i>Global Biodiversity Information Facility</i> (Système mondial d'information sur la biodiversité)
SIG	Système d'information géographique
ZFP	Zone à fort potentiel
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature
SCAN	Symbiota Collections of Arthropods Network
SGCN	<i>Species of Greatest Conservation Need</i> (espèces ayant le plus besoin de conservation)

Résumé

Les pollinisateurs jouent un rôle crucial dans la protection des écosystèmes naturels et pour assurer notre sécurité alimentaire. Leur déclin représente une grave menace pour l'environnement et pour la population, compte tenu de leur fonction dans la reproduction d'un grand nombre d'espèces cultivées et de plantes sauvages. Des mesures proactives sont nécessaires pour assurer la conservation des pollinisateurs à l'échelle continentale. Des spécialistes des abeilles indigènes du Canada, du Mexique et des États-Unis utilisent divers outils géospatiaux de prise de décisions afin de fournir aux intervenant-es des données exhaustives pour agir de façon éclairée en matière de conservation. Ces outils peuvent faciliter des activités de recherche ciblées et favoriser la sensibilisation et la mobilisation du public, en particulier dans les zones prioritaires désignées pour l'inventaire et la surveillance d'abeilles indigènes. En unissant leurs efforts et en partageant leurs connaissances, les spécialistes d'Amérique du Nord ont voulu harmoniser les objectifs des gestionnaires de terres, responsables des politiques, scientifiques et éducateur-trices : ils ont déterminé des outils géospatiaux existants, proposé des améliorations et créé des cartes des aires de répartition des espèces d'abeilles communes. Fondé sur la technologie et la collaboration, ce travail vise à soutenir la conservation des pollinisateurs dans toute l'Amérique du Nord et à sauvegarder ces espèces vitales pour les générations à venir.

Sommaire

Les pollinisateurs assurent la reproduction d'une grande partie des espèces cultivées et des plantes sauvages. Ils sont donc essentiels à la durabilité des écosystèmes naturels, à notre sécurité alimentaire et au bien-être humain. Or, divers facteurs entraînent le déclin mondial des populations de pollinisateurs, ce qui constitue une grave menace pour l'environnement et la population.

Dans le cadre d'ateliers organisés par la Commission de coopération environnementale, des spécialistes des abeilles indigènes d'Amérique du Nord ont affiné et mis en œuvre des outils géospatiaux de prise de décision en vue d'aider les gestionnaires de terres, universitaires, chercheur-euses et autres spécialistes à prioriser les inventaires et la surveillance des abeilles indigènes. Ils ont établi des objectifs de conservation, étudié les outils géospatiaux disponibles, suggéré des améliorations, créé des cartes d'aires de répartition et déterminé les zones prioritaires pour faire l'inventaire et la surveillance des abeilles.

Le présent rapport offre des stratégies essentielles pour promouvoir la conservation des pollinisateurs partout en Amérique du Nord en vue d'appuyer et de favoriser la collaboration à l'échelle continentale. Il décrit les outils existants et propose l'élaboration de ressources géospatiales exhaustives et faciles à utiliser en vue d'aider les chercheur-euses, intervenant-es, gestionnaires de terres et responsables des politiques à mieux comprendre les populations d'abeilles et à établir les priorités en ce qui concerne la conservation. Il souligne en outre l'urgence d'agir pour promouvoir la santé à long terme des communautés de pollinisateurs.

En matière de collecte et d'utilisation de données sur les abeilles, les défis connus comprennent la nécessité de numériser les données historiques, le manque de standardisation des fiches actuelles, la capacité d'intégrer les données de science participative et l'intégration des connaissances écologiques traditionnelles. Les stratégies proposées pour relever ces défis comprennent : prioriser la numérisation, encourager les travaux de taxonomie, reconnaître les contributions de la science participative et collaborer avec les communautés autochtones.

À partir d'avis de spécialistes, on a cerné les zones prioritaires pour l'inventaire, la surveillance et la conservation des abeilles en Amérique du Nord, en insistant sur les régions riches en espèces et les zones sous-échantillonnées. Pour déterminer de façon effective ces priorités, l'outil géospatial idéal devrait réunir des données provenant de diverses sources, permettre de visualiser les occurrences d'abeilles à différentes échelles spatiales, intégrer des données sur les spécimens et faciliter le partage des données et la participation communautaire.

Remerciements

Ont pris part aux ateliers de la CCE sur les abeilles indigènes (d’octobre 2022 à avril 2023) :

*Avis : Les affiliations des participant-es aux ateliers mentionnés dans le présent rapport sont indiquées à titre informatif seulement. À noter que la participation de ces personnes aux ateliers était à titre personnel ou professionnel, en tant que spécialistes. Les opinions et points de vue exprimés dans le rapport sont ceux des participant-es et ne reflètent pas les prises de position des organisations auxquelles ces personnes sont affiliées.

Pour le Canada :

Greg Mitchell – Environnement et Changement climatique Canada (membre du comité directeur du projet de la CCE)

Steve Javorek – Agriculture et Agroalimentaire Canada (membre du comité directeur du projet de la CCE)

André-Philippe Drapeau Picard – Insectarium de Montréal

Jennifer Heron – British Columbia Ministry of Water, Land and Resource Stewardship (ministère de l’Eau, des Terres et de l’Intendance des ressources de la Colombie-Britannique)

John Klymko – Centre de données sur la conservation du Canada atlantique

Syd Cannings – Environnement et Changement climatique Canada

Pour le Mexique :

Ignacio J. March Mifsut – *Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas* (Conanp, Commission nationale des aires naturelles protégées) (membre du comité directeur du projet de la CCE)

Yosuki Raygoza – *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad* (Conabio, Commission nationale sur la connaissance et l’utilisation de la biodiversité) (membre du comité directeur du projet de la CCE)

Adrián Ghilardi – *Laboratorio Nacional de Análisis y Síntesis Ecológica* (Laboratoire national d’analyses et de synthèse écologiques), *Universidad Nacional Autónoma de México* (Université nationale autonome de Mexico)

Mauricio Quesada – *Universidad Nacional Autónoma de México*

Ismael Hinojosa-Díaz – *Universidad Nacional Autónoma de México*

Óscar Martínez – *El Colegio de la Frontera Sur*

Rémy Vandame – *El Colegio de la Frontera Sur*

Ricardo Ayala – *Instituto de Biología* (Institut de biologie), *Universidad Nacional Autónoma de México*

Javier Quezada – *Universidad Autónoma de Yucatán* (Université autonome du Yucatán)

Carlos Aurelio Medina-Flores – *Universidad Autónoma de Zacatecas* (Université autonome de Zacatecas)

Carlos A. Cultid-Medina – *Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías* (Conseil national des sciences humaines, des sciences et de la technologie), *Instituto de Ecología, A.C. (Inecol) Centro Regional del Bajío*

Pour les États-Unis :

James Weaver – *US Fish and Wildlife Service* (Service des pêches et de la faune) (membre du comité directeur du projet de la CCE)

Ryan Drum – *US Fish and Wildlife Service* (membre du comité directeur du projet de la CCE)

Brianne Du Clos – University of California, Riverside

Casey Burns – *US Bureau of Land Management* (Bureau de la gestion des terres)

Jonathan Koch – *US Department of Agriculture* (USDA, ministère de l'Agriculture) – *Agricultural Research Service* (ARS, Service de recherche agricole)

Lora Morandin – Pollinator Partnership

Sarina Jepsen – The Xerces Society for Invertebrate Conservation

Tamara Smith – *US Fish and Wildlife Service*

Melanie Kirby – Institute of American Indian Arts

Dianna Cox-Foster – USDA ARS – Pollinating Insect Biology, Management, Systematics Research (Biologie des insectes pollinisateurs, gestion et recherche systématique)

Jon Koch – USDA ARS – Pollinating Insect Biology, Management, Systematics Research

Hien Ngo – *Climate Adaptation Science Centers* (Centres scientifiques d'adaptation au climat) (USGS)/Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

Facilitation et coordination :

Olivia Carril

Kristen Birdshire

Commission de coopération environnementale :

Antoine Asselin-Nguyen

Nicole Goñi

1 Contexte

Les pollinisateurs sont essentiels pour les écosystèmes naturels, la sécurité alimentaire et le bien-être humain, puisqu'ils assurent la reproduction de 75 à 85 % des espèces cultivées et de 80 à 90 % des angiospermes sauvages. Le déclin des pollinisateurs dans le monde, que l'on attribue à la dégradation et à la perte d'habitats, à l'agriculture intensive, à l'utilisation excessive de produits agrochimiques, aux espèces invasives, aux agents pathogènes et aux changements climatiques, a des conséquences graves sur l'environnement naturel et le bien-être humain. Il exige donc une action urgente. Il est de plus en plus vital de reconnaître les avantages sociaux, économiques et environnementaux que les pollinisateurs procurent aux collectivités, à la production alimentaire et au fonctionnement des écosystèmes naturels (CCE, 2020). Face à des pertes élevées de pollinisateurs, il sera de plus en plus important de mettre au point et de maintenir des outils efficaces de prise de décisions et de communication qui vont renforcer la mobilisation des intervenant·es et la participation communautaire, en particulier à l'échelle continentale.

Créée par le Canada, le Mexique et les États-Unis dans le cadre de l'Accord de libre-échange et de l'Accord de coopération environnementale (ACE), la Commission de coopération environnementale (CCE) est une organisation internationale qui promeut une collaboration directe et la participation du public. Elle favorise la conservation, la protection et l'amélioration de l'environnement nord-américain dans le contexte d'une expansion des réseaux commerciaux, économiques et sociaux, au profit des générations présentes et futures.

À partir de ses travaux continus sur les papillons monarques et autres pollinisateurs, la CCE a tenu des réunions en 2019 et 2020 en vue de renforcer la conservation des pollinisateurs à l'échelle régionale et ainsi garantir des avantages à l'échelle locale. Ces réunions visaient à cerner les écarts des savoirs sur les pollinisateurs et la santé de leurs espèces, à discuter de moyens pour inciter les communautés locales à multiplier les initiatives bonnes pour les pollinisateurs et à les informer sur les bienfaits écologiques et socio-économiques des pollinisateurs. On a constaté qu'il y avait d'importants écarts des savoirs à combler dans le cadre de travaux futurs, en particulier par rapport aux abeilles indigènes.

Dans la foulée de ses travaux sur les pollinisateurs, la CCE a lancé un nouveau projet intitulé « Promotion de la conservation des pollinisateurs en Amérique du Nord », qui s'inscrit dans son plan opérationnel pour 2022 (CCE, 2022). Les collaborations dans le cadre de ce projet ont compris l'échange d'enseignements tirés, de pratiques exemplaires et de stratégies pour éclairer les inventaires et la surveillance d'abeilles indigènes. On voulait ainsi trouver des façons de fournir des données plus fiables aux gestionnaires de terres et aux personnes qui prennent les décisions afin de mieux appuyer les mesures de conservation à l'échelle de l'Amérique du Nord, en incorporant de nouveaux outils susceptibles de remédier à la pénurie de données utiles. En outre, le projet a promu des outils de prise de décision et des matériels de communication efficaces, pour mieux organiser et prioriser l'inventaire d'abeilles indigènes et les activités de surveillance à long terme, et pour sensibiliser davantage la

population à l'importance des abeilles indigènes. Enfin, il visait aussi à faciliter la science participative et l'engagement communautaire dans les trois pays.

Au total, cinq rencontres ont eu lieu : deux réunions en ligne au début du mois de mai 2022, une réunion en personne à Santa Fe, au Nouveau-Mexique (États-Unis), en octobre 2022, une réunion en ligne en janvier 2023 et une dernière rencontre en personne à Mexico (Mexique), en avril 2023. Ces réunions ont rassemblé des spécialistes de la pollinisation du Canada, du Mexique et des États-Unis pour discuter du perfectionnement et de la mise en œuvre d'outils géospatiaux de prise de décision, à l'usage des gestionnaires de terres, universitaires, chercheur·euses, éducateur·trices, spécialistes, responsables des politiques et autres publics clés dans toute l'Amérique du Nord. Ces outils peuvent aider à cerner les zones prioritaires pour l'inventaire et la surveillance à long terme d'abeilles indigènes dans chaque pays. Ils peuvent aussi favoriser une recherche plus ciblée, fournir des données plus utiles pour éclairer les activités de conservation et de sensibilisation, et stimuler la curiosité du public et l'engagement communautaire.

Ces réunions visaient : 1) à faire de la conservation des abeilles et de la gestion des abeilles indigènes des objectifs pour les responsables de politiques, les scientifiques et les éducateur·trices; 2) à analyser les outils géospatiaux existants qui permettraient d'atteindre ces objectifs; 3) à suggérer des améliorations à apporter aux outils géospatiaux, pour atteindre les objectifs énoncés; 4) à créer des cartes d'aires de répartition modélisées de niches écologiques pour les espèces d'abeilles communes, afin d'accroître l'utilité de certains outils géospatiaux; 5) à déterminer les zones où l'inventaire et la surveillance des abeilles nous aideraient le plus à comprendre leur répartition.

2 Définitions

Il était nécessaire que les participant·es partagent la même compréhension des concepts de base afin d'avoir le même cadre de référence. Ces concepts comprennent :

Outil géospatial : outil cartographique basé sur un système d'information géographique (SIG) qui aide les utilisateur·trices à mieux comprendre les abeilles : leurs aires de répartition, leurs zones d'occupation et leur abondance. Cet outil peut révéler des tendances dans le temps – en matière de dynamique des populations – et s'appuyer sur des sources de données sous-jacentes qui fournissent des renseignements précis sur les abeilles (par exemple : nom de l'espèce, préférences florales, habitat de nidification et phénologie) et les zones géographiques qu'elles occupent (par exemple : écorégion, climat, utilisation des terres, propriété, habitat, type de sol, coordonnées de l'endroit où les spécimens ont été collectés, etc.).

Point chaud : zone où les abeilles sont très nombreuses. Il peut également s'agir d'une zone qui abrite de nombreuses espèces intéressantes, y compris des espèces dont la conservation est préoccupante et des espèces aux niveaux élevés d'endémisme. Les participant·es ont reconnu que les points chauds sont fonction de l'échelle et qu'ils peuvent apparaître ou disparaître, selon

l'échelle retenue. On a également constaté que les points chauds sont relatifs; ils peuvent passer inaperçus en cas de collecte insuffisante de données historiques, et peuvent faussement apparaître comme étant plus riches en espèces que la zone environnante par suite d'un échantillonnage plus important. En outre, d'un point de vue conceptuel et fonctionnel, les points chauds dépendent de la notion inverse de points froids.

Point froid : zone caractérisée par une richesse moindre d'espèces. On peut aussi définir un point froid comme une zone artéfactuelle où une collecte négligeable, voire aucune collecte, n'a eu lieu. Les participant-es ont reconnu qu'une grande discrétion s'impose quand on « dépriorise » des points froids présumés, compte tenu du manque potentiel de points de données que peut contenir un outil géospatial. Il est important de noter que le terme « point froid » ne signifie pas que ces zones ne suscitent aucune préoccupation ou sont sans valeur sur le plan de la conservation.

Espèces menacées, espèces en péril, espèces SGCN (*Species of Greatest Conservation Need, espèce nécessitant les mesures de conservation les plus urgentes*) : chaque pays partage un lexique similaire pour décrire les organismes aux populations en baisse ou en péril. Plus précisément, les États-Unis et le Canada ont reconnu le classement de l'état de conservation suivant, établi par NatureServe : 1) gravement en péril, 2) en péril, 3) vulnérable, 4) apparemment en sécurité, 5) en sécurité. Ce classement s'appuie sur des critères comme l'étendue de l'aire de répartition, l'abondance, l'évolution de la population et les menaces potentielles. Le Canada a de plus reconnu les espèces en péril au moyen de classifications comme : 1) disparues, 2) disparues du pays, 3) en voie de disparition, 4) menacées ou 5) préoccupantes. Il a aussi reconnu les espèces pour lesquelles on n'a pas suffisamment de données et qui ne sont pas en péril. Les États-Unis ont reconnu les espèces inscrites sur la liste fédérale en vertu de l'*Endangered Species Act* (Loi sur les espèces en voie de disparition) : 1) en danger, 2) menacées, 3) proposées ou 4) candidates. Chaque État américain dispose de son propre système de classification, tout comme de nombreuses provinces canadiennes. Dans la même veine, le Mexique reconnaît les espèces qui sont : 1) disparues, 2) en danger, 3) menacées et 4) sous protection spéciale. Tout le monde était au fait des travaux de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), qui s'appuie sur des spécialistes, sur un processus d'examen approfondi et sur toutes les données disponibles pour établir une liste rouge des espèces menacées.

Intervenant-es : personnes dont le travail comprend la conservation et la gestion des abeilles au sein de nombreux organismes, secteurs et postes et dans de nombreuses fonctions. Plus précisément, il s'agit de communautés autochtones, de responsables de politiques à l'échelle de la ville ou du comté, ou à l'échelle infranationale (État/province/territoire) ou nationale, d'agriculteur-trices, de cultivateur-trices et d'autres agronomes, d'organismes à but non lucratif, de journalistes, de scientifiques (tels que des taxonomistes) et d'agent-es d'intelligence des données, ainsi que de gestionnaires de terres (directeur-trices et gestionnaires d'aires protégées, gestionnaires de bassins versants et urbanistes), de biologistes et d'écologistes

gouvernementaux, et de spécialistes des espèces menacées et en voie d'extinction. Voici des exemples d'intervenantes : producteurs-trices de bleuets qui veulent en savoir plus sur la répartition de *Habropoda laboriosa* et sur le caractère approprié de l'habitat proche dans les zones où se trouvent des bleuetières; l'*US Bureau of Land Management* (Bureau de gestion des terres des États-Unis); les biologistes de la faune chargés de déterminer les habitats susceptibles d'abriter le *Bombus occidentalis*, une espèce en déclin; les gestionnaires des ressources naturelles de l'*US National Park Service* (Service des parcs nationaux des États-Unis) qui souhaitent dresser un inventaire des espèces d'abeilles présentes sur leur territoire; les taxonomistes au Mexique qui recherchent toutes les zones où un taxon particulier pourrait être présent; et les zoologistes au Canada, dont le travail consiste à déterminer quelles espèces d'abeilles sont en péril, à partir d'une comparaison entre les répartitions actuelles et les répartitions historiques.

Données standardisées : fiches de spécimens d'abeilles qui sont générées dans le cadre de travaux de standardisation des méthodologies (p. ex., la documentation de l'échantillonnage) pour que les scientifiques puissent comparer les populations d'abeilles dans des zones plus vastes et sur de nombreuses années. On peut employer des normes internationales amplement éprouvées – y compris Darwin Core, Plinian Core et les normes du *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF, Système mondial d'information sur la biodiversité) – pour différents types de fiches et d'ensembles de données cartographiques.

3 État de la science

3.1 Le savoir sur la répartition des abeilles s'acquiert lentement

Historiquement, les percées dans l'étude des abeilles indigènes ont été graduelles et parfois précaires. Pendant de nombreuses années, on a documenté les découvertes au moyen de listes de localités et des cartes statiques. Autrefois, comme aujourd'hui, une bonne partie de l'information relative à la localité de provenance d'une abeille n'existe que sur l'étiquette apposée en dessous de celle-ci dans un musée ou une collection privée. Cette information peut très bien ne jamais avoir été saisie dans une base de données numérique. Des estimations récentes laissent croire que, sur les huit millions de spécimens d'abeilles qui composent les collections d'insectes en Amérique du Nord, un peu plus de deux millions (25 %) ont été numérisés (Cheshire et coll., 2023). Il reste donc à enregistrer numériquement quelque six millions de spécimens, répartis dans des endroits probablement concentrés dans les États-Unis contigus. Même les données numériques enregistrées posent des problèmes d'exactitude : beaucoup de fiches anciennes indiquent un nom de lieu qui est vague ou qui englobe une ville ou un comté en entier, ce qui complique leur utilisation pour associer les abeilles à un habitat, aux populations de végétaux ou à l'évolution de l'aire de répartition.

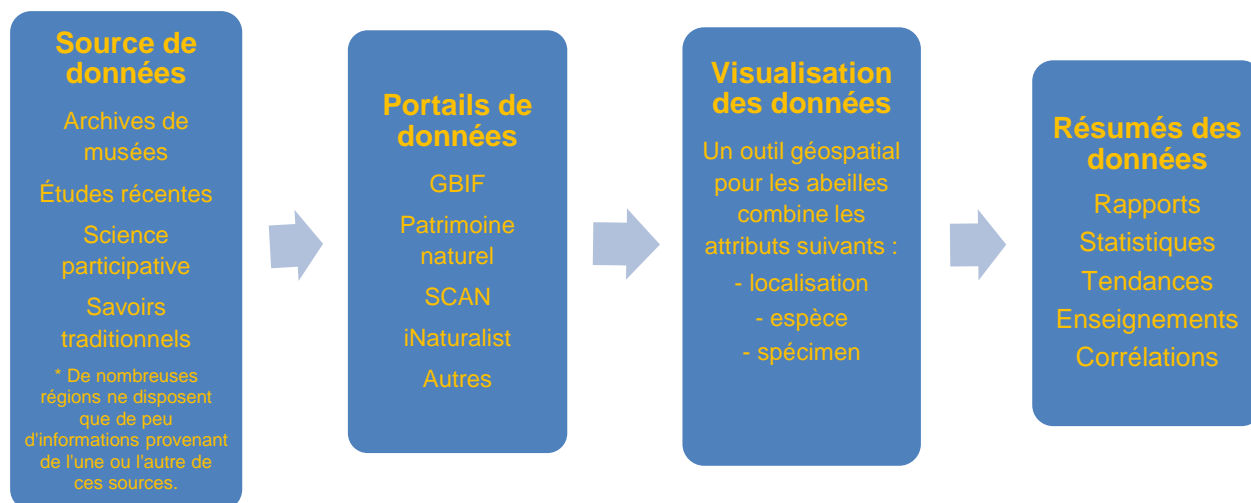
L'avènement d'outils géospatiaux, qui analysent les fiches numérisées d'insectes, nous aide à mieux comprendre les populations d'abeilles et à prévoir leur évolution. Dans le cas de données qui ont été

enregistrées numériquement et qui sont relativement précises, on a créé des outils SIG pour établir facilement une corrélation entre des fiches d'observation numérisées et les caractéristiques sous-jacentes de la zone où sont présentes les abeilles. Ainsi, notre capacité à comprendre les besoins des abeilles en matière de ressources et d'habitat, et leur intersection avec l'activité humaine ont considérablement progressé (par exemple, Saturni et coll., 2016; El Qadi, 2017; Westerfelt et coll., 2018; Du Clos et coll., 2020; Soroye et coll., 2020; Woodard et coll., 2020; Zattara, 2021; Orr et coll., 2022). Les recherches récentes sur les abeilles ont couramment recours aux outils géospatiaux pour éclairer d'importants travaux relatifs à la dynamique des populations, aux services écosystémiques et à la conservation des abeilles. Ces outils géospatiaux peuvent être mis à jour instantanément en réponse à des changements de systèmes et à d'autres décisions de gestion. Ils peuvent collecter diverses données provenant de nombreuses sources afin de mieux informer les utilisateur-trices de la situation actuelle et des tendances. On peut également les superposer à d'autres couches d'information pour donner une image plus complète de la répartition, du type d'habitat, du degré de fonctionnement de l'écosystème et de l'effet des décisions clés de gestion. Comme ces outils s'appuient sur des bases de données relationnelles, ils peuvent intégrer et stocker plusieurs types de métadonnées (par exemple, associations végétales, habitat, date) en un seul endroit.

3.2 Un outil géospatial idéal pour analyser la répartition des abeilles

Le processus de création de sommaires de données comporte plusieurs étapes, à commencer par la collecte de données à partir de toutes les sources disponibles (y compris, éventuellement, des relevés dans des zones où les abeilles sont peu connues) par le biais d'un portail de données qui conserve toutes les métadonnées connexes. On transmet ensuite cet ensemble de données à une interface utilisateur qui présente les données sur les abeilles superposées sur des cartes qui contiennent des données de nature géographique, écologique ou politique, soit des attributs propres à chaque spécimen (déterminant, sexe de l'abeille, date de collecte, etc.). Idéalement, les données sur les abeilles comprennent aussi des attributs propres à l'espèce (nidification, régime alimentaire, sociabilité, etc.), et des composants peuvent servir à interpréter la dynamique des populations d'abeilles, la diversité bêta, les zones où sont concentrés les relevés, ou encore les zones où les populations ou espèces d'abeilles sont les plus menacées (figure 1).

Figure 1 – Processus d'analyse de la répartition des abeilles



L'outil géospatial idéal répondrait à un ensemble de besoins essentiels déterminés par les chercheur-euses et les intervenant-es. Les principaux objectifs des chercheur-euses et intervenant-es qui étudient les abeilles sont présentés ci-dessous. Malgré les nombreuses priorités des personnes qui étudient les abeilles, un outil géospatial bien conçu aiderait la plupart d'entre elles.

1. *Identifier les espèces en péril, prioriser les espèces d'abeilles pour évaluer leur état à l'échelle nationale, et faire un suivi des espèces inscrites.* L'identification des espèces d'abeilles dont la conservation est préoccupante sur les plans infranational et national constitue une grande responsabilité pour de nombreux-ses responsables de politiques. Comprendre où se trouvent les espèces d'intérêt, où elles sont courantes ou rares et où elles se trouvent à la limite de leur aire de répartition permet de cibler les travaux de surveillance, de relevés et d'établissement de rapports afin d'informer les responsables de politiques sur les espèces dont la conservation est la plus préoccupante.
2. *Comprendre l'aire de répartition d'une espèce et viser un groupe d'abeilles en particulier.* Les gestionnaires de terres et méliittologues veulent un outil qui, en plus de cibler les espèces en péril, les aidera à mieux comprendre le savoir acquis à propos d'espèces en particulier. À l'heure actuelle, les bourdons et leur répartition font l'objet d'une attention particulière, étant donné l'importance de cette information pour comprendre les effets des agents pathogènes et pesticides, des changements climatiques et des espèces envahissantes.
3. *Documenter les points chauds et froids de la biodiversité des abeilles.* Il peut être important, pour différentes raisons et dans différents pays, de connaître les zones reconnues pour leur abondance élevée ou faible d'espèces d'abeilles. Par exemple, aux États-Unis, une tâche prioritaire des gestionnaires qui supervisent de vastes territoires consiste à déterminer les

régions où la diversité des abeilles est élevée, ou encore les régions où l'on trouve une ou plusieurs espèces d'intérêt, pour y mener en priorité des mesures de conservation ou de restauration. Au Mexique, l'analyse des aires de répartition d'espèces pour déterminer les points froids, là où la diversité des abeilles est faible (soit parce que l'échantillonnage n'est pas adéquat, soit en raison d'une baisse naturelle de la diversité), permettrait de cibler les États et les aires protégées nationales où l'on doit effectuer des relevés ou qu'il faut prioriser en matière de conservation. Au Canada, la documentation des aires de répartition des espèces permettrait de désigner les zones où des abeilles à risque pourraient être présentes. Enfin, des cartes de répartition d'espèces pourraient renforcer les travaux d'établissement de protocoles standardisés de surveillance à long terme des abeilles, de manière à générer des données statistiquement fiables.

4. *Dresser des listes d'aires protégées, de provinces, de territoires, d'États ou d'autres unités territoriales.* Les listes qui comprennent des données sur la présence, et idéalement sur l'abondance, des abeilles sont importantes et utiles aux gestionnaires de terres, responsables de politiques, éducateur·trices et autres personnes pour déterminer quelles espèces d'abeilles exigent plus d'attention dans une région donnée. Ces listes permettent également de déterminer les potentiels pollinisateurs d'espèces végétales rares et les espèces d'abeilles non indigènes; elles peuvent aussi contribuer à l'élaboration de guides d'identification pour les espèces courantes d'abeilles dans une région. En outre, ces listes pourraient aider les éducateur·trices à apprendre aux communautés locales quelles abeilles vivent dans leur région.
5. *Associer les abeilles à la flore, au sol et à l'habitat d'une zone en particulier.* On appuiera davantage les mesures pour réduire la perte d'habitat si l'on comprend les liens étroits qui unissent les abeilles et leur milieu environnant. On pourra guider les travaux de maintien des populations d'abeilles dans des zones d'intérêt en cernant d'importantes ressources florales, en particulier les espèces végétales que prisent les abeilles spécialisées, et en déterminant leurs préférences en matière de sol et de nidification.
6. *Établir des liens avec les menaces (actuelles ou nouvelles) qui existent sur le territoire et utiliser ces données pour prédire ou modéliser des menaces et la réponse des espèces.* Aux États-Unis et probablement ailleurs, la reconnaissance des menaces contre divers organismes est un important facteur des évaluations environnementales de sites, et de nombreux gestionnaires de terres trouveraient fort utile la capacité de modéliser la santé des pollinisateurs dans ces sites. Un des aspects consiste à évaluer la menace que pourraient représenter les ruchers, les réseaux solaires, les lignes de transport d'électricité, les effets de l'éclaircissement et du brûlage, ainsi que d'autres catégories de menaces définies dans le [système de classification des menaces de l'Union internationale pour la conservation de la nature](#).

Même s'il n'est pas axé sur des objectifs, un outil de surveillance des abeilles utile devrait aussi :

7. *Permettre d'évaluer les tendances spatiales et temporelles relatives aux populations d'abeilles.* Idéalement, on pourrait utiliser un outil géospatial pour visualiser ou évaluer les fluctuations des populations d'abeilles dans le temps et l'espace, relativement aux changements passés ou prédits aux conditions environnementales.

8. *Comprendre des données exhaustives*, puisées à partir de toutes les données numérisées disponibles. Un tel outil devrait appuyer les travaux pour ajouter de nouvelles données non numérisées. Il devrait inclure autant de métadonnées que possible, y compris les dates de collecte, la localisation précise et les données florales. L'outil doit permettre de prédire les occurrences en fonction des associations avec le climat, l'habitat et la présence de ressources florales.
9. *Permettre le téléchargement de fiches filtrées en vue d'analyses additionnelles « hors ligne »*. Étant donné la multitude de façons dont différent-es intervenant-es peuvent utiliser les données géoréférencées, la capacité de classer rapidement et efficacement les données en fonction d'objectifs précis ou d'aspects géographiques permettra d'accroître l'utilisation de tout outil géospatial, en ce qui concerne l'accessibilité de ses données.

3.3 Outils géospatiaux existants

À l'heure actuelle, les outils géospatiaux facilitent et améliorent l'étude des abeilles et les travaux de conservation. Les outils géospatiaux existants ont un potentiel considérable d'appuyer la recherche sur les abeilles grâce à l'interfaçage des métadonnées avec les fiches de localisation d'abeilles, comme en témoignent leurs nombreuses applications créatives et leur diversité (voir ci-dessous). Les résultats d'une enquête menée auprès des employé-es de BLM (présenté-es lors de ces ateliers) ont montré que les biologistes de la faune et spécialistes de la conservation utilisent les outils géospatiaux pour déterminer les lieux où ont été répertoriées des espèces en péril, par exemple le bourdon à tache rousse (*Bombus affinis*), une espèce en voie de disparition. On les utilise également pour déterminer les endroits où l'on pourrait exiger des permis et des consultations, conformément aux lois sur les espèces en voie de disparition ou d'autres lois similaires visant les espèces protégées, et pour prioriser les activités de conservation additionnelles, comme les relevés, la gestion de l'habitat et la recherche. D'autres se servent des outils géospatiaux pour montrer au public et aux intervenant-es de la conservation le travail que l'on a (ou n'a pas) accompli pour comprendre les populations d'abeilles dans une région donnée. Par exemple, on peut rapidement saisir et visualiser les points chauds et froids en vue d'une évaluation systématique. Les biologistes de terrain s'en servent pour déterminer des lieux précis (géoréférencés) où l'on sait que des espèces particulières sont présentes, afin de déterminer ce que l'on sait sur ces occurrences précises, et ainsi planifier de futurs relevés. Les chercheur-euses qui travaillent dans le secteur des ressources naturelles et de l'agriculture s'en servent pour identifier les espèces d'abeilles susceptibles d'être présentes à proximité des champs de cultures. Les taxonomistes s'en servent pour clarifier les difficultés liées aux définitions des espèces. Enfin, les méliittologues se servent des outils géospatiaux pour tester des modèles qui établissent une corrélation entre les abeilles et le climat, la couverture terrestre, les changements d'affectation des sols ou la structure du paysage, le sol et les peuplements végétaux.

Il existe à l'heure actuelle de nombreux outils pour examiner les questions sur la répartition des abeilles et leur population; cependant, bon nombre de ces outils sont localisés ou ont une fonction unique. On peut dire que les outils géospatiaux sont inhérents à l'étude contemporaine des abeilles d'Amérique du Nord; de nombreux outils existent, mais chacun est adapté aux besoins d'intervenant-es précis-es et à

leurs objectifs. Idéalement, un outil centralisé ou un nombre réduit d'outils pourrait répondre aux besoins de la majorité des personnes qui étudient les abeilles, quels que soient leurs objectifs. Voici un résumé des outils existants qui ont été développés pour répondre aux besoins de certaines recherches et de la gestion des terres. À noter qu'il ne s'agit pas d'une liste de portails de données, mais bien d'une liste d'outils pour visualiser les fiches d'abeilles à partir de données extraites d'un portail de données.

1. [North American Bee Distribution Tool](#). Créé dans Power BI et géré par l'*US Fish and Wildlife Service*, l'outil *Bee Tool* inclut des données mises à jour du GBIF (y compris des données provenant d'iNaturalist). À ce jour, le *Bee Tool* assimile et affiche graphiquement les données provenant de 2,92 millions de fiches et documente 4 225 taxons d'abeilles à l'échelle du Canada, du Mexique et des États-Unis. Grâce à une solide base de données géoréférencées, l'outil offre une interface graphique intuitive pour répondre rapidement et efficacement aux besoins des utilisateur-trices. Il permet principalement de voir toutes les occurrences d'abeilles à la fois à l'échelle infranationale et nationale; plus précisément, l'outil comprend une carte interactive qu'on peut rapidement mettre à jour à l'aide de simples menus déroulants et d'échelles mobiles afin d'affiner les résultats en réponse à des questions précises. En particulier, il présente des données de l'*US Environmental Protection Agency* (EPA, Agence de protection de l'environnement), ce qui permet aux utilisateur-trices de sélectionner les abeilles en fonction des désignations d'écorégions (c.-à-d. aux niveaux I, II et III). Il. Par ailleurs, il comprend des diagrammes à secteurs interactifs qui montrent les proportions d'espèces dans chaque classement [NatureServe](#); les utilisateur-trices peuvent ainsi sélectionner et afficher les espèces SGCN sur la carte principale. On peut également sélectionner certaines espèces d'abeilles par parcelle de terrain des principales agences foncières du gouvernement américain (par exemple, US Forest Service, US Fish and Wildlife Service, US National Park Service et US Bureau of Land Management). Cette fonctionnalité pourrait facilement s'appliquer au Canada et au Mexique. L'outil comprend aussi des filtres pour la date de collecte ou d'observation, ainsi que pour les renseignements phénologiques. De plus, les utilisateur-trices peuvent exporter des dossiers numériques épurés (p. ex., des ensembles de données) qui indiquent en détail les espèces d'abeilles documentées pour des unités territoriales ou des écorégions précises.
2. [Bees of Mesoamerica](#). Afin d'analyser la répartition et les tendances démographiques des espèces d'abeilles en Méso-Amérique, on a numérisé des fiches provenant de musées, de collections privées et d'universités que l'on a saisies dans un outil cartographique. Créé avec l'aide de Ricardo Ayala et de Rémy Vandame, cet outil comprend 335 000 fiches datant de 1842 à aujourd'hui.
3. [Explorador de cambio climático y biodiversidad \(Explorateur du changement climatique et de la biodiversité\)](#). Créé par Adrián Ghilardi, cet outil présente des données climatiques pour les régions du Mexique, y compris les températures réelles et prévues, et les proportions régionales de fragmentation de l'habitat.
4. [Barómetro de la Conservación de la Biodiversidad \(baromètre de conservation de la biodiversité\)](#). Cet outil, également créé par Adrian Ghilardi et ses collègues, affiche de manière exhaustive des renseignements sur les unités territoriales, y compris la proportion et le type de

couverture végétale, les changements touchant la couverture des espèces d'arbres et de plantes au fil du temps, et les différents niveaux de l'état de conservation des écosystèmes.

5. [Bumble Bee Atlas](#). Ces cartes, élaborées par la Xerces Society, sont basées sur des données de science participative, utilisées pour suivre et surveiller les bourdons en particulier, et contribuer à leur conservation. Selon Sarina Jepsen, les participant·es et bénévoles choisissent un carré dans une grille établie couvrant un État ou une région, et recensent systématiquement les bourdons à l'aide de photos et de méthodes de non-rétention. Les cartes interactives comprennent de nombreuses observations d'un océan à l'autre, de la côte Pacifique jusqu'au sud du Canada. Les relevés couvrent bien les grandes plaines, mais les régions situées à l'est du Mississippi, le grand bassin et les déserts chauds d'Amérique du Nord sont relativement sous-représentés.
6. [BeeBDC](#). On a récemment créé un nouveau « package » R qui contient un ensemble de données de travail relatives aux fiches « nettoyées » de spécimens d'abeilles provenant de tous les principaux dépôts publics (Dorey et coll., 2023). Par « nettoyées », on entend des fiches mises à jour où les noms d'espèces correspondent aux versions courantes des noms taxonomiques d'abeilles et des noms de pays, ainsi qu'aux dates de collecte. Les spécimens y sont classés selon la qualité et l'exactitude de la fiche de l'abeille.
7. [Cartes des bourdons à tache rousse](#). Cette carte des zones à fort potentiel (ZFP) a été générée à l'aide d'un modèle ArcGIS, avec la participation de Tamara Smith, de Steven Choy et d'autres biologistes de l'USFWS. Cette carte interactive accessible au public présente différentes couches qui mettent en évidence les endroits où la présence de *Bombus affinis* est la plus probable, à partir de récentes données d'occurrence et des déplacements prévus dans divers types de couverture terrestre. Les données intègrent des renseignements sur la localité et des fiches d'observation détaillés, par exemple, la dernière année où le bourdon a été observé. On a élaboré une deuxième carte (la « carte à quadrillage ») pour hiérarchiser les relevés et autres travaux de conservation.
8. [Abeilles citoyennes](#). Créé par le Laboratoire Fournier de l'Université Laval, au Québec, en collaboration avec l'Insectarium de Montréal, ce projet de science participative vise à inventorier les abeilles et les syrphes sur l'ensemble du territoire québécois. Une fois par mois, de mai à septembre, on installe des pièges à eau pendant 24 heures. Les abeilles et les syrphes qu'on y récolte sont envoyés à des taxonomistes, qui identifient les spécimens et enregistrent les données dans une base de données géoréférencée. Les renseignements cartographiques comprennent le nom de l'espèce et le nombre de spécimens pour chaque terrain échantillonné (Rondeau et coll., 2023).
9. [Pollinators of British Columbia](#). Créé par Laura Melissa Guzmán et ses collaborateur·trices et présenté par Lora Morandin, cet outil convivial permet aux naturalistes en herbe et passionnés de découvrir les liens entre les populations régionales de plantes et de pollinisateurs en Colombie-Britannique. L'interface simple de l'outil comprend des menus déroulants grâce auxquels les utilisateur·trices peuvent sélectionner des caractéristiques particulières, notamment l'abondance des pollinisateurs, les plantes indigènes ou non indigènes, et le type de plante.

10. **Bee Mapper**. Brianne Du Clos a créé cet outil tout particulièrement pour les producteur-trices de bleuets. Il cartographie sur deux niveaux la présence d'abeilles à proximité des bleuetières, en indiquant la distance de vol des petites abeilles (± 250 verges) et des grandes abeilles (1 000 verges). De plus, il incorpore des couches pour la couverture terrestre et l'abondance prévue d'abeilles indigènes; les producteur-trices peuvent ainsi visualiser numériquement les pollinisateurs les plus courants à l'échelle locale et les ressources de leur habitat.
11. **Discover Life**. Ce site Web comprend un certain nombre d'outils destinés aux mélittologues. À partir des données du Global Biodiversity Information Facility ([GBIF](#)), dépôt de données largement reconnu qui contient des fiches pour des musées, des projets et d'universités partout au Canada, au Mexique et aux États-Unis, ainsi que d'ensembles de données historiques publiées, Discover Life génère des cartes exploitables qui peuvent afficher des données à des échelles plus réduites au fur et à mesure que l'on grossit le plan. On finit par accéder à la fiche du spécimen, qui inclut la phénologie et des données de localisation exactes. Pour chaque espèce, on inclut également des données connues sur les plantes ainsi que des photos de l'insecte. Discover Life a aussi inclus des clés interactives pour identifier les spécimens, mais, en ce qui concerne les abeilles, on privilégie les espèces de l'est du Canada et des États-Unis plutôt que les espèces de l'ouest, du Mexique ou du nord-ouest du Canada.
12. **NatureServe**. NatureServe est un site Web en pleine expansion qui regroupe toute l'information connue relative aux organismes (pas seulement les abeilles) et à leur situation quant à la conservation. Y sont consignées les menaces par suite d'une analyse documentaire approfondie, tout comme les occurrences estimées, l'information sur le cycle biologique et la viabilité des populations.
13. **iNaturalist**. Cet outil de science participative en ligne de documentation d'organismes vivants à l'aide de photographies géoréférencées comprend plus de deux millions d'observations d'abeilles de partout dans le monde. Il documente le lieu et la phénologie, et permet aux utilisateur-trices de donner leur avis sur le nom d'une espèce, ce qui accroît de façon exponentielle la puissance de l'outil en permettant à plus que quelques spécialistes d'identifier les spécimens. Cet outil atténue en quelque sorte le goulot d'étranglement taxonomique qui nuit à l'inventaire et à la surveillance scientifique. L'outil comprend des options pour créer des atlas pour différentes régions géographiques ou périodes de l'année. En revanche, comme les observations se font à partir de photos, l'identification des espèces à petite échelle est impossible pour certains spécimens, et les documents de référence manquent. Au Mexique, [iNaturalistMX](#) (Naturalista) offre un service similaire qui permet aux utilisateur-trices de partager leurs propres observations et d'apprendre à partir d'observations et d'information sur l'histoire naturelle compilées et fournies par d'autres personnes.

D'autres outils de saisie de données à plus petite échelle existent. Par exemple, le [site web Bees of Canada](#), qui est un portail d'information sur la répartition et l'histoire naturelle des abeilles, qui comprend les plantes hôtes, les préférences en matière de nidification et autres renseignements. [Bugguide.net](#) est un autre outil utile qui résume l'information relative à l'histoire naturelle des spécimens de pollinisateurs et pour interagir avec une communauté de passionné-es des insectes; ce site rassemble de l'information facile à utiliser sur l'histoire naturelle, mais la visualisation des données

cartographiques relatives à la répartition des abeilles est au mieux rudimentaire. Enfin, [iDigBees](#) est le fruit d'une collaboration qui vise à rendre accessibles uniquement les données de la base de données SCAN (voir Portails de données, ci-dessous) sur une plateforme géospatiale.

De nombreuses applications utiles existent, mais les chercheur-euses, scientifiques, responsables de politiques et autres intervenant-es déplorent les limites des outils géospatiaux disponibles aujourd'hui. Essentiellement, les chercheur-euses sont contraints d'utiliser plusieurs outils pour atteindre un objectif donné. Un outil géospatial unique et complet, conçu en fonction des besoins des intervenant-es, pourrait atteindre plusieurs objectifs fondamentaux. La modification d'un outil déjà disponible ou le regroupement d'éléments de plusieurs applications déjà existantes pourrait énormément accroître l'utilisabilité de ce type d'analyse.

4 Création d'un outil de visualisation de données sur les abeilles

Un outil géospatial communément utilisable doit s'appuyer sur un portail de données fiable qui puise à partir de toutes les données disponibles et produit des sommaires de données utiles, évolutifs et judicieux (figure 1). Chacun des éléments (sources de données, portails de données, visualisations de données et sommaires de données) comportera des défis. Nous les examinons tour à tour ci-après, en soulignant les défis actuels et en proposant des solutions.

4.1 Données manquantes

Un des problèmes des actuels outils géospatiaux est le manque de fiches pour alimenter la visualisation. Un outil géospatial optimal doit reposer sur une solide base de données d'occurrences d'abeilles. Une fiche doit au minimum inclure un nom d'espèce (ou de genre) d'abeille ainsi que des coordonnées géographiques ou autres informations sur la localité si l'on veut qu'une visualisation de données sur une abeille soit utile. Idéalement, la fiche relative au spécimen comprend également une date et, le cas échéant, la plante que butinait l'abeille au moment de la capture. Deux principales raisons expliquent le manque de données. D'abord, elles peuvent avoir été enregistrées, et exister sous une forme quelconque, sans avoir été numérisées pour être compatibles avec des outils de visualisation. Ensuite, de vastes régions d'Amérique du Nord demeurent insuffisamment étudiées; même en tenant compte de toutes les données existantes, on pourrait encore manquer d'information sur les abeilles dans ces régions. Nous examinerons chacune de ces situations ci-après.

Il existe de nombreuses fiches sur les abeilles qui demeurent inexploitées et auxquelles les scientifiques n'ont pas accès; on peut classer ces fiches dans quatre catégories. Plus de deux millions de fiches uniques sont actuellement disponibles en Amérique du Nord aux fins d'analyse, mais elles représentent probablement moins du quart de toutes les données existantes relatives aux spécimens (Cobb et coll., 2019; Chesshire et coll., 2023). On peut classer les données non publiées dans quatre catégories différentes.

4.1.1 Fiches muséales non numérisées : une ressource inexploitée et un important investissement

Les données historiques sur les abeilles représentent un véritable trésor, mais seule une faible proportion de celles-ci a été numérisée. Les fiches historiques portent entre autres sur des spécimens qui se trouvent dans des collections gérées par des organismes fédéraux (par exemple, les agences des parcs nationaux, les services de recherche agricole, l'US Fish and Wildlife Service, l'US Geological Survey et d'autres), des universités, des États, des comtés, des parcs régionaux, des musées et des collections privées. Les spécimens d'insectes fichés à partir de ces collections proviennent peut-être d'une expédition, d'une étude financée, d'un projet étudiant ou d'une collecte opportuniste par un ou une entomologiste. Les données historiques portent donc sur des millions de spécimens qui ont été collectés et conservés, sans jamais avoir été documentés numériquement. Cobb et coll. (2019) répertorient plus de 223 collections d'insectes en Amérique du Nord. La numérisation de ces fiches comporte de nombreux défis, surtout en ce qui concerne le financement plutôt limité et en baisse (surtout le financement axé sur les projets), ce qui ne facilite aucunement l'entretien ou le maintien à long terme de la base de données ou des spécimens. Aux États-Unis, l'utilisation de données historiques avec des outils géospatiaux n'est possible que si elles sont directement associées à la personne qui a conçu l'outil, ou si elles ont été téléversées dans un serveur public qui stocke les données générées par différents utilisateurs. Cette situation pose problème, car le téléversement sur des serveurs publics nécessite souvent une approbation difficile à obtenir pour les personnes qui ne représentent pas une organisation gouvernementale ou un établissement d'enseignement. Outre les fiches non numérisées, de nombreux spécimens ont été collectés et conservés, sans que l'espèce n'ait été identifiée. Une étape additionnelle est donc nécessaire avant de pouvoir numériser ces spécimens. Une pénurie de taxonomistes, déjà débordés par divers projets, exacerbe ce problème.

Les fiches plus anciennes sont rarement le fruit d'une collecte systématique dans une région donnée. Leur report sur une carte peut donc paraître comme de simples points aléatoires ou, en cas de renseignements vagues sur la localité, elles ne donnent pas une idée claire de l'endroit où se trouvait l'abeille. Les fiches qui sont le fruit d'une collecte systématique emploient souvent des méthodologies différentes d'une région à l'autre. Elles ne sont comparables qu'à des fins d'analyse quantitative dans la région de collecte, ou si les méthodes d'échantillonnage étaient similaires. De plus, même la numérisation de toutes les fiches historiques ne changerait rien au fait que de vastes régions d'Amérique du Nord ont été si rarement échantillonnées qu'on ne sait pratiquement rien à leur sujet.

Stratégies pour intégrer plus de données historiques

1. **Prioriser l'aide pour identifier et numériser les grandes collections d'institutions sous-financées** afin d'inclure toutes les fiches existantes; cette solution exigerait probablement une importante contribution financière.
2. **Utiliser de nouveaux portails de données, comme le *Pollinator Knowledge Network* (réseau de connaissances sur les pollinisateurs) de l'USDA**, ce qui pourrait simplifier le téléversement des données, comparativement aux portails en place, comme celui du GBIF.

3. **Utiliser la modélisation de niches écologiques pour représenter plus précisément les aires de répartition des abeilles** avec les données dont nous disposons déjà pourrait alléger les difficultés des zones sous-échantillonnées : en utilisant des techniques informatiques pour analyser les variables environnementales et les données d'occurrence des espèces pour prédire leur répartition, et ainsi combler les écarts de savoir sur la répartition des abeilles, en particulier dans les régions où la collecte de données est faible.
4. **Favoriser l'identification des spécimens de musée qui demeurent sans nom ou non identifiés dans les collections**, afin de multiplier le nombre de fiches à numériser (voir la collecte de métadonnées, ci-après).
5. **Intensifier les futures collectes dans les zones où l'échantillonnage nous aiderait le plus à comprendre la dynamique des populations d'abeilles ou leur répartition.**

4.1.2 Études contemporaines : précieuses à l'échelle locale, difficiles à utiliser à l'échelle mondiale

Les fiches contemporaines sont plus standardisées que les ensembles de données plus anciens, mais les méthodes de standardisation varient considérablement. On comprend de mieux en mieux la valeur de la standardisation à l'échelle nationale, voire mondiale, ce qui favorise l'élaboration de techniques de collecte applicables de façon méthodique à de vastes régions. À mesure que progresse la standardisation des données, elle fera de plus en plus partie intégrante des futures recherches sur les abeilles et des bases de données qui stockent cette information. Par exemple, les données standardisées devraient consigner l'absence de même que la présence d'abeilles, de sorte qu'elles seront uniques (et massives) comparativement à d'autres sources de données. D'un point de vue géospatial, les méthodes de collecte standardisées pourraient aussi retarder ou limiter l'accès à de précieuses données sur les aires de répartition des espèces d'abeilles comparativement à une collecte plus opportuniste, qui peut offrir plus de souplesse pour collecter des données sur des sites adjacents qui ont plus de ressources. Autre élément important : l'obstacle taxonomique, c'est-à-dire les défis et limites propres à la classification et à l'identification précises des espèces d'abeilles. Cet obstacle empêche par la suite la diffusion prompte des données et une parfaite compréhension des populations d'abeilles.

Stratégies pour intégrer des données actuelles

1. L'*United States National Native Bee Monitoring Research Coordination Network* (RCN, réseau national de coordination de la recherche sur la surveillance des abeilles indigènes aux États-Unis) est en train d'élaborer une stratégie standard pour collecter et stocker les données sur les abeilles. Idéalement, cette stratégie appuierait les travaux sur la visualisation des données.
2. L'*US Bureau of Land Management*, principal organisme fédéral chargé de la gestion des terres aux États-Unis, est en train d'élaborer un protocole standard qui s'aligne sur les objectifs plus généraux du RCN en matière de conservation des abeilles.
3. Un financement additionnel pour des taxonomistes spécialistes des abeilles et l'élaboration de nouveaux outils d'identification des abeilles atténueraient considérablement le goulot d'étranglement taxonomique. On espère que la technologie de l'ADNe [ADN environnemental] permettra de répondre à de nombreuses questions taxonomiques. À l'heure actuelle, toutefois,

cette technologie est coûteuse, et les banques d'ADN sont incomplètes. Il est essentiel de maintenir la participation de taxonomistes pour confirmer les identifications et maintenir l'exactitude de l'ADN de référence.

4.1.3 Données de science participative : abondantes, mais souvent peu détaillées

Toute personne possédant un appareil photo ou un téléphone peut générer des données de science participative. Cela permet d'augmenter considérablement le nombre d'échantillons à ficher pour une zone donnée. Ces données sont habituellement générées par des naturalistes en herbe, le plus souvent grâce à des photographies téléversées sur des sites Web comme iNaturalist, Naturalista et BugGuide.net. D'autres personnes peuvent ainsi participer à l'identification des espèces, mais aussi à la conservation des photos et de leurs métadonnées. En outre, ces données proviennent généralement de bénévoles, donc le financement nécessaire au travail d'identification des abeilles sur le terrain est infime. Or, l'identification précise de certaines espèces d'abeilles exige un examen microscopique, donc les photographies à elles seules ne suffisent pas.

Comme ces fiches sont créées à partir de photographies, il est rare que des spécimens physiques y soient associés. Ainsi, les données de science participative permettent de collecter suffisamment d'information pour cartographier la répartition d'espèces d'intérêt facilement identifiables, mais elles peuvent être moins complètes et possiblement moins précises dans le cas d'espèces difficiles, voire impossibles à identifier à partir de photographies. Ces sites s'appuient également sur la vaste expertise d'une poignée de taxonomistes capables d'identifier les abeilles à partir de photos, d'après leurs connaissances de la morphologie grossière de l'abeille, de son aire de répartition la plus probable et de sa phénologie.

Stratégies pour intégrer plus de données de science participative

1. Les bases de données qui puisent l'information d'endroits multiples devraient indiquer les fiches issues de la science participative et devraient comprendre un filtre pour les extraire. La capacité de retirer ces fiches est essentielle pour les utilisateur-trices qui ont besoin de données plus précises.
2. Les publications qui tirent leur information de bases de données issues de la science participative devraient mentionner le nom des taxonomistes qui identifient les abeilles à partir de photographies. L'identification des abeilles en ligne exige énormément de temps et de soins, et ce travail fastidieux doit être souligné.
3. Les naturalistes amateurs peuvent également participer à la collecte de spécimens dans le cadre de projets de science participative hybrides, comme les *Abeilles citoyennes*, ou l'[Oregon Bee Atlas](#) du programme Master Melittologist.

4.1.3 Connaissances écologiques traditionnelles (CET) : une ressource sous-utilisée et mal comprise

Les terres tribales et autochtones abritent souvent des colonies d'abeilles vastes, mais mal documentées.

« Les connaissances écologiques traditionnelles sont l'accumulation continue de savoirs, de pratiques et de croyances à propos des relations entre les êtres vivants dans un écosystème particulier, acquises par les peuples autochtones depuis des centaines ou des milliers d'années, par leur contact direct avec l'environnement, transmises d'une génération à l'autre et utilisées pour maintenir la vie. » (National Park Service, 2023) [*traduction*]

Il est essentiel de travailler avec les Premières Nations et les peuples autochtones pour intégrer non seulement leur savoir historique des abeilles dont ils ont la charge, mais aussi les données qu'ils pourraient collecter à l'avenir, afin de connaître parfaitement les populations d'abeilles à l'échelle de l'Amérique du Nord. Aux États-Unis, les terres tribales couvrent 227 000 kilomètres carrés (87 800 milles carrés), soit à peu près à la superficie de l'État de l'Idaho. Au Canada, des peuples autochtones gèrent 6,3 % de la masse terrestre totale. Les terres tribales ou réserves n'existent pas au Mexique, mais près de 10 % de la population mexicaine s'identifie comme Autochtone, et 6 % des ménages comptent une personne qui parle une langue autochtone. En outre, les Mexicain-es autochtones vivent principalement dans plusieurs des régions où le nombre d'espèces d'abeilles est le plus élevé du pays, selon les prédictions.

Le modèle de pensée des tribus autochtones ne partage pas nécessairement les mêmes hypothèses que les scientifiques éduqués en Occident. Par exemple, les scientifiques formés à l'université et les peuples autochtones de certaines régions du Mexique interprètent différemment le concept d'espèce; par conséquent, on pourrait aussi définir différemment le concept de biodiversité dans ces régions.

Stratégies pour intégrer plus de connaissances écologiques traditionnelles

1. Pour collaborer avec les premiers peuples, les parties devront avoir des conversations réfléchies et accepter de prendre en compte plusieurs points de vue sur l'utilisation des terres et la conservation des pollinisateurs. Il faudra peut-être élargir le lexique relatif aux spécimens d'abeilles dans les bases de données pour inclure les CET.
2. On doit s'assurer d'inclure les noms autochtones dans les bases de données numériques sur les abeilles, en consultation avec les communautés autochtones et dans le respect de leurs pratiques culturelles et systèmes de connaissances. Une approche collaborative pourrait enrichir les bases de données grâce à des perspectives diverses et nourrir une compréhension et un respect mutuels.

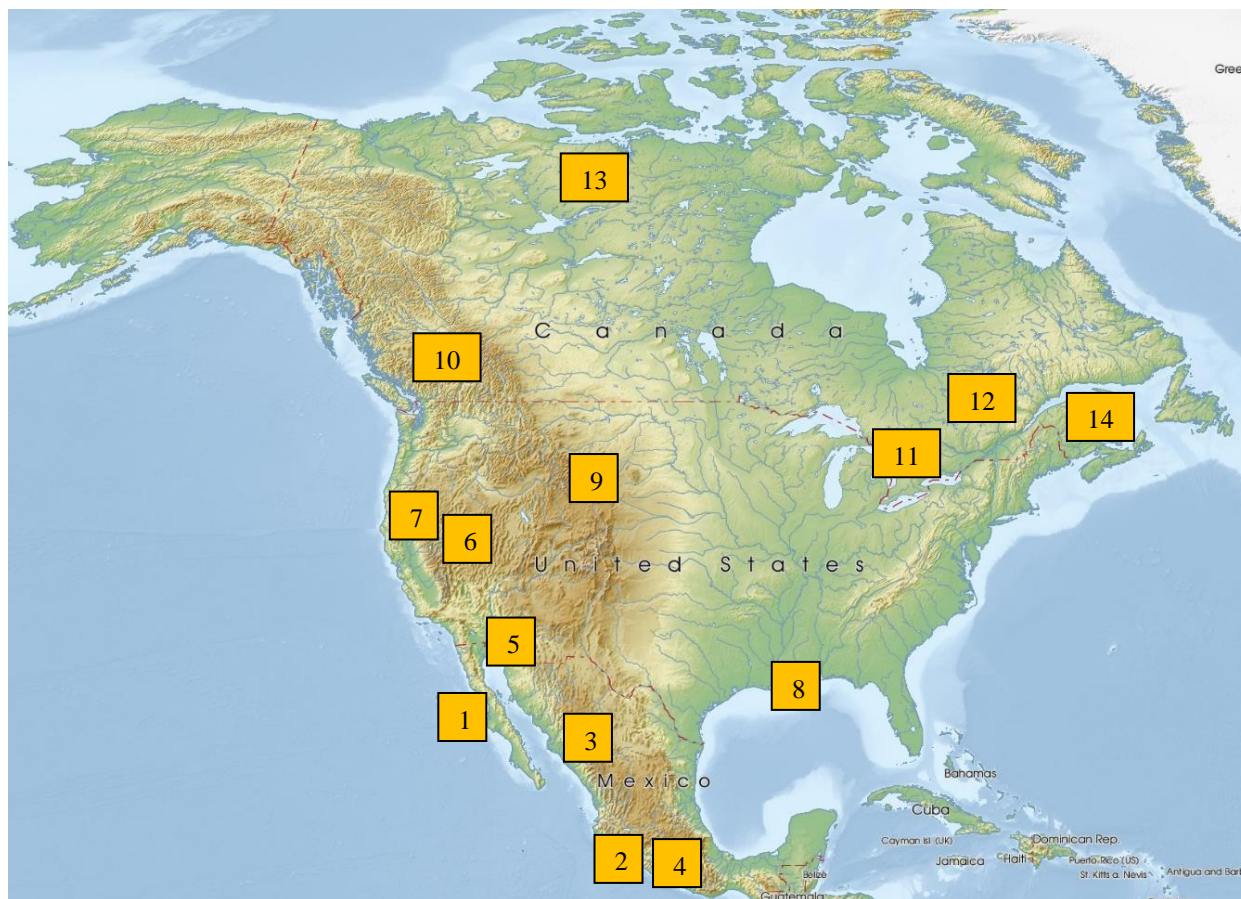
4.2 Sous-échantillonnage : endroits non priorisés pour les relevés ou la surveillance d'abeilles

Même la documentation de tous les spécimens existants et la publication de toute cette documentation ne diminueraient pas le besoin de poursuivre les échantillonnages sur le territoire nord-américain. En matière de gestion des espèces et des habitats, les zones se répartissent en deux catégories : 1) les zones qu'il faudrait échantillonner, parce qu'elles sont mal connues; 2) les zones qu'il faudrait échantillonner afin de documenter immédiatement les changements dans la diversité des abeilles, soit parce qu'on y trouve de nombreuses espèces et que les données historiques y sont fiables, soit parce que l'habitat est tout particulièrement menacé.

De vastes régions d'Amérique du Nord demeurent gravement sous-échantillonnées. Le continent nord-américain est vaste – 24,3 millions de kilomètres carrés (9,4 millions de milles carrés) –, et ses écorégions s'étendent de la toundra arctique et de la taïga aux forêts pluviales tempérées et tropicales, aux prairies et aux déserts chauds et froids. L'altitude varie de plus de 6 000 m (20 000 pieds) à près de 100 m (282 pieds) sous le niveau de la mer. On estime que plusieurs milliers d'espèces d'abeilles sont présentes au Mexique (environ 2 000), aux États-Unis (environ 4 000) et au Canada (environ 900). Beaucoup d'entre elles ont été identifiées uniquement comme des espèces morphologiques ou portent des noms qui n'ont pas été publiés (voir, par exemple, Urban-Duarte et coll., 2021); c'est pourquoi il est difficile d'estimer la diversité des abeilles dans chaque région. Peu surprenant donc que, dans de nombreuses régions du continent, les espèces d'abeilles ne soient pas bien documentées, et qu'il existe relativement peu de listes annotées pour les écorégions, les habitats ou les régions politiques. Si certaines des régions moins bien documentées peuvent n'abriter que quelques espèces, tout porte à croire qu'une poignée de régions au Canada, au Mexique et aux États-Unis abritent probablement une grande et riche diversité d'espèces d'abeilles. Pour des raisons de conservation, et pour mieux comprendre la biogéographie des abeilles, leurs relations avec les plantes et leur évolution, il est essentiel de prioriser ces régions à des fins de relevés et de surveillance. En outre, il est essentiel de combler ces lacunes afin de créer des outils de visualisation géographique des abeilles qui comprennent des modèles de niches écologiques exacts et d'autres types de capacités prévisionnelles.

4.2.1 Territoires sous-échantillonnés prioritaires pour la recherche sur les abeilles

Figure 2 – Régions d'Amérique du Nord hautement prioritaires pour l'échantillonnage d'abeilles indigènes afin de combler les écarts des savoirs sur la répartition des espèces



- 1) Baja California, Mexique
- 2) Sierra Madre del Sur, Mexique
- 3) Altiplano, Mexique
- 4) Terres arides de l'État d'Oaxaca, Mexique
- 5) Désert de Chihuahua, Mexique et États-Unis
- 6) Désert du grand bassin, États-Unis
- 7) Est de la Sierra Nevada, États-Unis
- 8) Sud-est des États-Unis
- 9) Vestiges des prairies à herbes courtes et hautes, États-Unis et Canada
- 10) Bassins intérieurs de l'Ouest, Canada
- 11) Zone carolinienne, Canada
- 12) Plaines à forêts mixtes, Canada
- 13) Habitats arctiques et boréals, Canada et États-Unis
- 14) Provinces maritimes, Canada.

Des spécialistes ont déterminé que les régions ci-après sont prioritaires. Leurs opinions ont été recueillies en avril 2023 à l'occasion de l'atelier de la CCE sur les abeilles indigènes et elles constituent de précieux points de départ pour les activités d'inventaire et de surveillance menées en Amérique du Nord. Bien qu'il soit le fruit d'un consensus entre les spécialistes présentes à l'atelier, ces choix n'ont rien de statique et pourraient évoluer au fil du temps en fonction de la recherche, de nouvelles données et de l'évolution des besoins en matière de conservation.

1. **Baja California, Mexique.** Cette péninsule unique n'a jamais fait l'objet d'un échantillonnage approfondi des abeilles (Ayala et coll., 1993; Falcon-Brindis et Leon-Cortes, 2022). Si elle fait partie du désert du Sonora, objet d'études beaucoup plus nombreuses, son évolution a suivi une trajectoire tout autre au cours des 5,5 millions d'années précédentes, étant donné son isolement (Garcillán et coll., 2020). Avec une longueur de 1 300 kilomètres, la péninsule de Baja est la deuxième plus longue au monde. La mer qui l'entoure influe grandement sur son climat et son écosystème. Des plages de palmiers aux *sky islands* (hauts sommets verdoyants entourés de déserts), cette région comprend de nombreux habitats uniques. Cette région, qui s'étend sur 30 degrés de latitude, comprend des zones désertiques au nord et des écorégions plus mésiques au sud. Cette diversité d'habitats laisse entrevoir la possibilité d'une faune apicole unique et diversifiée avec au moins quelques espèces endémiques. À titre indicatif, près de 20 % des espèces de plantes vasculaires sont endémiques, de même que 57 des 84 espèces de reptiles (Grismer, 2002). Parmi les invertébrés, près de 40 % des scorpions et 45 % des coléoptères ténébrionidés sont également endémiques. Une étude limitée des abeilles dans seulement six sites de la région a révélé la présence de 151 espèces de 48 genres (Falcon-Brindis et Leon-Cortes, 2022). De 30 à 70 % de la faune apicole est probablement exclusive à la région, et les taux d'endémisme montent vers le sud (Ayala et coll., 1993). Fait intéressant, il semble que la plupart des abeilles connues dans cette région proviennent des zones situées au nord, aux États-Unis, mais que peu d'entre elles se trouvent sur le territoire mexicain, qui est linéairement plus proche. Enfin, on doit prioriser cette région, car l'expansion rapide des centres urbains et l'utilisation croissante des terres à des fins agricoles menacent ses espaces sauvages et la transformeront avant que les espèces d'abeilles puissent être entièrement recensées.
2. **Sierra Madre del Sur, en particulier les montagnes de l'État du Guerrero et d'Atoyac, au Mexique.** La Sierra Madre del Sur est une chaîne de montagnes qui s'étend sur plus de 1 000 km parallèlement à la côte Pacifique, depuis l'ouest de l'État du Guerrero jusqu'au sud de l'État d'Oaxaca. Les montagnes sont escarpées et accidentées, avec des roches d'origine volcanique et un climat qui varie, allant d'un climat tempéré à un climat subhumide. Cette région est connue pour son exceptionnelle biodiversité, qui abrite une flore et une faune très variées. Elle comprend des forêts de chênes des marais qui se prolongent vers le sud jusqu'au Costa Rica, et vers le nord jusqu'au Nouveau-Mexique et en Arizona. On y trouve également de nombreuses forêts tropicales sèches. Cette combinaison unique d'écosystèmes, qui comprend des forêts tropicales humides, des forêts de nuages et des forêts alpestres, abrite de nombreuses espèces endémiques et rares, ce qui en fait un point chaud de la biodiversité (Gonzalez-Iturbe et coll., 2018; Myers et coll., 2000). En outre, des études laissent entrevoir des taux élevés de spéciation chez les abeilles de la région, étant donné la topographie variée et l'isolement qu'elle entraîne (Duennes et coll., 2017). Cette région est aux prises avec la déforestation, les changements d'affectation des terres, la destruction des habitats et les changements climatiques (Santos-Moreno et coll., 2017).
3. **Plateau mexicain (Altiplano), Mexique.** Vaste région composée de terrains de haute altitude, l'Altiplano mexicain se trouve au centre du Mexique. Les hautes terres couvrent une grande partie du pays, et d'importantes variations topographiques et différences d'altitude produisent une diversité d'habitats dans cette région : forêts alpestres, prairies, déserts broussailleux, zones

humides et terres agricoles. Des indices laissent croire qu'un certain nombre d'espèces d'abeilles présentes dans la région sont endémiques, y compris des genres et sous-genres entiers (Ayala et coll., 1993). En outre, plusieurs genres d'Amérique du Nord atteignent ici leur diversité maximale, notamment *Centris*, *Exomalopsis* (Timberlake, 1980), *Mexalictus* et plusieurs *Panurginae*.

4. **Terres arides de l'État d'Oaxaca, Mexique.** Située dans le sud du Mexique, principalement dans l'État d'Oaxaca, cette région semi-aride abrite une flore et une faune uniques qui comprennent non seulement des espèces endémiques, mais aussi des espèces situées aux limites septentrionales et méridionales de leurs aires de répartition. Cette région s'étend entre la Sierra Madre del Sur et l'axe volcanique transversal et comprend des espèces associées au désert du Sonora au nord (notamment de nombreux cactus ciérges et près de 3 000 autres espèces de plantes vasculaires), ainsi que des éléments des écorégions qui dominent plus au sud (Ayala et coll., 1993).
5. **Désert de Chihuahua, Mexique et États-Unis.** Le désert de Chihuahua s'étend du sud-ouest des États-Unis au nord du Mexique. Couvrant plus de 360 000 kilomètres carrés (140 000 milles carrés), c'est l'un des plus grands déserts d'Amérique du Nord. Cette vaste région compte de nombreuses oasis, des espèces endémiques et une grande variété de plantes et d'animaux qui se sont adaptées à des conditions arides et semi-arides. On sait depuis longtemps que les régions arides d'Amérique du Nord abritent le plus grand nombre d'espèces d'abeilles (Michener, 2007; Orr, 2022). Peu d'études sur les abeilles ont été menées dans le désert de Chihuahua, mais celles qui ont été réalisées laissent croire à la présence d'une faune apicole diversifiée et abondante (McAlister, 2012; Minckley et Ascher, 2012; Minckley et coll., 1999; Kazenel et coll., 2020; Munguia-Soto et coll., 2022). Cette faune est riche en abeilles spécialistes (Minckley et coll., 2000), mais le surpâturage (Cane, 2011; Minckley, 2014), l'utilisation des terres à des fins urbaines (Hostetler et McIntyre, 2001) et les changements climatiques (Argueta-Guzmán et coll., 2022; Munguia-Soto et coll., 2022) menacent leur existence. Fait intéressant, il semble que les déserts de Chihuahua et de Sonora, situé directement à l'ouest, abritent des faunes apicoles distinctes (Ayala et coll., 1993).
6. **Désert du grand bassin, y compris les sky islands, États-Unis.** Quelques études sur les abeilles ont été menées dans le sud du Nevada (Griswold et coll., 1999), qui comprend le désert Mojave, mais le reste de l'État demeure en grande partie sous-échantillonné. Au nord, 647 espèces d'abeilles ont été recensées dans le bassin de Columbia; au sud, près de 700 espèces d'abeilles sont documentées dans le seul comté de Clark, mais la vaste zone située entre les deux, longue de quelque 750 km (490 milles), demeure relativement inconnue (Orr, 2021; Chesshire, 2023). Il est probable que cette région abrite une grande diversité de plusieurs familles d'abeilles, en particulier les *Megachilidae* (Griswold et coll., 2014), et les *sky islands* montagneuses pourraient abriter des espèces d'abeilles endémiques qu'on n'a pas encore découvertes; ces hauts sommets ont très certainement servi de refuge à des espèces de bourdons d'Amérique du Nord (Koch et coll., 2018). Dans les régions méridionales de l'État, on a déjà recensé plusieurs espèces d'abeilles rares et probablement en péril qui sont étroitement liées à des plantes hôtes à la répartition géographique limitée (Portman et coll., 2019). En outre, plusieurs groupes d'abeilles semblent originaires de cette région de l'est du désert Mojave (Griswold et Mille, 2010; Nelson

et Griswold, 2015). Vers le nord, le vaste désert du grand bassin abrite 92 espèces du seul genre *Anthidium* (Gonzalez et coll., 2014). Dans l'ensemble de l'État, la conversion des terres, en particulier pour des parcs solaires, et l'étalement urbain croissant représentent une menace pour les espèces d'abeilles (McCoshum et Geber, 2020).

7. **Est de la Sierra Nevada et les monts Cascade, États-Unis.** Sur le flanc occidental du grand bassin, la partie orientale de la cordillère de Sierra Nevada, qui s'étend du sud de la Californie presque jusqu'à l'Oregon, ainsi que les monts Cascade de l'Oregon demeurent une région où de nouvelles découvertes demeurent possibles, et où l'on pourrait clarifier les cartes d'aires de répartition. Les changements climatiques menacent fortement cette région, de même que la suppression d'activités de réduction des matières combustibles les feux incontrôlés inhabituels qui en résultent, qui sont susceptibles d'entraîner d'importants changements aux populations des communautés d'abeilles. On gagnerait à prioriser la collecte dans cette région afin d'établir des bases de référence pour les espèces avant qu'il ne soit trop tard pour le faire.
8. **Sud-est des États-Unis.** Les relevés d'abeilles dans le sud-est des États-Unis sont importants, car nous connaissons mal la répartition des abeilles dans cette région. Des études antérieures y ont trouvé des abeilles aux habitats uniques, notamment des champs de dunes le long d'îles-barrières et de plaines côtières. Plusieurs espèces d'abeilles de la région semblent provenir de régions désertiques et néotropicales et représentent d'importantes disjonctions (Cane, 1996). Si cette région n'est probablement pas aussi riche en abeilles que certaines régions occidentales, comme en témoignent les nombreux relevés locaux et de petite portée (Jones et Jones, 1980; Pascarella et coll., 1999; Little, 2013; Deyrup et coll., 2002; Owens et coll., 2018; Stephenson et coll., 2018; Bartholomew, 2004; Bartholomew et coll., 2006; Hall et Ascher, 2010; Schlueter et Steward, 2015), on y trouve néanmoins des espèces d'abeilles uniques et méconnues. La présence d'une composante verticale de l'habitat laisse supposer des habitats uniques en leur genre. Une étude a révélé qu'une proportion notable de la communauté d'abeilles butinait dans les arbres lorsque les ressources plus proches du sol étaient rares (Ulyshen et coll., 2010). Les habitats forestiers de la région, allant de forêts de feuillus tempérées aux pinèdes, abritent des populations d'abeilles intactes et stables. Or, ces populations sont menacées par des forêts malsaines à cause de la prévention d'incendies depuis un siècle (Hanula, 2015; Odanaka, 2019; Ulyshen, 2021), par les espèces de fourmis envahissantes (Ulyshen et Horn, 2023), par les changements climatiques et par la perte d'habitats attribuable à l'étalement urbain.
9. **Vestiges des prairies à herbes courtes et hautes, États-Unis et Canada.** Il y a 200 ans, les prairies occupaient la majeure partie du centre de l'Amérique du Nord; les prairies à herbes courtes et à herbes hautes étaient le théâtre de la migration d'énormes troupeaux de bisons, d'antilopes, de cerfs et d'originaux (Samson et coll., 2004). Les perturbations créées par ces troupeaux d'animaux à sabots ont favorisé une incroyable diversité d'espèces de plantes herbacées et leurs pollinisateurs (Knapp et coll., 1999; McMillan, 2019). Certaines espèces d'abeilles rares, notamment *Florilegus*, *Cemolobus* et *Anthemurgus* (Carril et Wilson, 2022), étaient peut-être plus abondantes autrefois dans les vastes régions du centre des États-Unis et du Canada (Carper et coll., 2019). Aujourd'hui, il ne reste que des vestiges de cette vaste écorégion, mais ils pourraient nous informer sur des communautés d'abeilles qui sont maintenant rares et difficiles à trouver intactes. Pour donner une idée de la diversité d'abeilles

que peuvent abriter les vestiges des prairies à herbes courtes et hautes : dans seulement trois sites d'un hectare dans les prairies à herbes mixtes du sud du Canada, on a pu recenser plus de 100 espèces d'abeilles au cours de deux années d'échantillonnage (Patenaude, 2007). On a fait des découvertes similaires dans des vestiges de prairies à herbes hautes dans l'Illinois (Griffin et coll., 2017; Tonietto et coll., 2017) et dans l'Iowa (Hendrix et coll., 2010). Ici, même les terres où domine l'agriculture semblent encore abriter un grand nombre d'abeilles (Arathi et coll., 2019), ce qui porte à croire que la conservation de ces vestiges pourrait jouer un rôle important dans la conservation des abeilles indigènes de cette région.

10. **Bassins intérieurs de l'Ouest canadien.** Les prairies dominent le paysage entre les chaînes de montagnes intérieures de l'Ouest canadien. On pense que de toutes les régions du Canada, ces zones présentent la plus grande diversité d'abeilles par unité de surface (Sheffield et coll., 2014), même s'il s'agit de la plus petite des écozones du pays (environ 57,000 km²). Plusieurs écorégions plus vastes convergent ici, y compris une partie des prairies du grand bassin ainsi que des zones de transition des forêts sèches (Shorthouse, 2010). Ces deux types d'habitats se trouvent à l'extrémité nord de la région, et on s'attend à ce que des abeilles associées aux plantes herbacées du sous-étage se trouvent également à l'extrémité nord. Les recherches limitées qui ont été menées dans la région laissent présumer d'une faune unique, dont plusieurs espèces qu'on ne trouve nulle part ailleurs au Canada (Gibbs, 2010; Sheffield et coll., 2011; Heron et Sheffield, 2015). En revanche, ce sont aussi les régions qui ont été les plus profondément transformées (Blackburn, 2010) par leur conversion en terres cultivées et l'utilisation de pesticides (Shorthouse, 2010; Vankosky, 2017), le pâturage du bétail (Samson et coll., 2004) et l'urbanisation (Javorek et Grant, 2011).
11. **Zone carolinienne, Canada.** Cette région occupe principalement la partie sud de l'Ontario et s'étend vers le sud et le nord-est des États-Unis. Son climat, plus doux que celui des régions environnantes, favorise une gamme diversifiée d'espèces végétales et animales, dont certaines que l'on trouve généralement plus au sud. On mène peu d'études sur les abeilles dans la région, mais une modeste étude portant sur seulement trois prairies dans cette région a recensé 124 espèces, et on prédit la présence d'un nombre bien plus élevé (Richards et coll., 2012). D'autres études ont fait état de nombres tout aussi élevés comparativement aux régions avoisinantes (MacKay et Knerer, 1979; Grixti et Packer, 2006; Taylor, 2007). Composées de paysages karstiques, de savanes de chênes, de prairies, de forêts de feuillus et de zones humides, ces nombreuses zones de transition contribuent probablement à la variété et à l'abondance élevées d'abeilles.
12. **Plaines à forêts mixtes, Canada.** Les plaines à forêts mixtes du Canada comprennent un mélange de conifères et de feuillus et constituent une zone de transition entre les forêts plus boréales et septentrionales et celles dominées par les feuillus du sud du Canada. La région se situe principalement dans les parties méridionales du centre du Canada, en Ontario et au Québec. Comme il s'agit d'une zone de transition écologique, la composition des communautés d'abeilles y est probablement distincte; cependant, peu de relevés et d'activités de surveillance permettent d'appuyer cette supposition (voir cependant : Grixti et Packer, 2006; Proctor et coll., 2012; Syer, 2016; Liczner et coll., 2023). Cette région est susceptible de manifester les effets des changements climatiques de manière plus prononcée que d'autres régions qui ne comprennent

pas ce même mélange d'écosystèmes boréaux et tempérés, surtout en ce qui a trait aux espèces de bourdons (Colla, 2010). Il est important de noter que les régions comprises la zone carolinienne et les plaines à forêts mixtes canadiennes se chevauchent et que les forêts caroliniennes du Canada se trouvent dans l'écozone des plaines à forêts mixtes.

13. **Habitats boréaux et arctiques, Canada et États-Unis.** Les climats de l'extrême nord ne sont probablement pas des points chauds de la biodiversité des abeilles, pour ce qui est du nombre d'espèces et de leur abondance, mais ils témoignent de notre compréhension limitée des aires de répartition des espèces d'abeilles. De plus, à mesure que le climat change, c'est dans ces régions que l'on verra probablement de nouvelles fluctuations des températures mensuelles, des décalages du cycle saisonnier et des changements dans la période de floraison d'importantes plantes herbacées qui attirent les pollinisateurs. Le groupe de travail CAFF (Conservation of Arctic Flora and Fauna) de l'Arctic Council pilote le Cadre de surveillance des pollinisateurs de l'Arctique (en cours d'élaboration), qui effectue des relevés d'abeilles dans ces régions et met en place des zones pour la surveillance à long terme. Ces travaux devraient bientôt fournir de l'information importante sur la dynamique des populations d'abeilles. Riche en bourdons (Sakagami et Toda, 1986; Laverty et Harder, 1988; Hicks et Sheffield, 2021), mais pas en abeilles solitaires (Burns et coll., 2022), cette vaste région abrite des abeilles qui ont su s'adapter à la saison courte et au climat froid, et l'on y documente fréquemment l'expansion des aires de répartition (p. ex., Ratzlaff, 2018).
14. **Provinces maritimes, Canada.** Avec ses 10 parcs nationaux et une cinquantaine d'îles, cette région offre une occasion unique d'étudier une faune apicole côtière qui vit à des latitudes septentrionales. Les habitats varient des plages et dunes aux forêts intérieures mixtes acadiennes et boréales. Au printemps, les fleurs sauvages à floraison précoce prédominent, et les abeilles qui les butinent comprennent les populations les plus orientales et/ou septentrionales de certaines espèces (Michener, 2000). Il en va de même pour des espèces d'halictes de l'île du Cap-Breton, au nord (Packer, 1989). La région comprend également des zones agricoles, notamment pour la culture de bleuets à feuilles étroites, de canneberges et de pommes, et l'intersection de zones d'habitat sauvage et d'environnements agricoles y est répandue (p. ex., Martins et coll., 2015; Moisan-DeSerres et coll., 2015; Martins et coll., 2018; Slupik et coll., 2022; Vega et coll., 2023). Les abeilles de cette région devraient être prioritaires au moment de documenter les aires de répartition des abeilles à l'échelle de l'Amérique du Nord. L'établissement d'espèces végétales non indigènes et invasives, qui perturbent les réseaux de pollinisateurs (Stubbs et coll., 2007) et la perte d'habitats (Gervais et coll., 2017) constituent des menaces pour les pollinisateurs de cette région.

4.2.1 Autres régions prioritaires

Au-delà des écosystèmes uniques et riches en espèces endémiques, ou encore de ceux qui sont sous-échantillonnés, d'autres territoires méritent une attention particulière pour des relevés intensifs d'abeilles. Ces zones sont choisies pour diverses raisons, notamment pour mieux comprendre les tendances de la dynamique des populations d'abeilles, pour suivre la biodiversité des abeilles dans des

zones connues comme des points chauds et pour surveiller les pollinisateurs associés aux systèmes agricoles.

1. **Zones qui ont déjà été échantillonnées.** Les zones qui ont fait l'objet d'un échantillonnage rigoureux et méthodique par le passé devraient être échantillonnées de nouveau à l'avenir afin de documenter tout changement dans les populations d'abeilles. Des travaux pour établir des données de base sont déjà en cours, mais ils mettront de nombreuses années pour faire la lumière sur la santé et les tendances des populations d'abeilles. Les relevés historiques standardisés sur les abeilles sont rares, mais ceux qui existent offrent l'occasion de surveiller beaucoup plus tôt les changements dans les communautés d'abeilles en général, et pour certaines espèces d'abeilles en particulier. Par exemple, dans le parc national Pinnacles, en Californie, on surveille les communautés d'abeilles depuis près de 30 ans, de sorte que l'on comprend très bien les fluctuations naturelles des communautés d'abeilles (Meiners et coll., 2019; Messinger et Griswold, 2002). De même, la documentation méticuleuse des interactions entre plantes et pollinisateurs, rassemblée il y a plus de 130 ans dans l'Illinois, constitue un ensemble de données qui permet aux scientifiques de revoir et de réévaluer la façon dont les interactions entre pollinisateurs ont évolué au cours d'un siècle marqué par le changement d'affectation des terres (Burkle et coll., 2013). Depuis plus de deux décennies, dans le Seville National Wildlife Refuge, au Nouveau-Mexique, on évalue annuellement les populations d'abeilles à l'aide de pièges passifs. Ces travaux ont généré d'importants renseignements sur la variation du renouvellement saisonnier des espèces d'abeilles par rapport aux fluctuations climatiques (Kazenel et coll., 2020). Il existe une poignée d'endroits en Amérique du Nord où l'on a mené des études méthodiques par le passé. De nouvelles études réalisées aux mêmes endroits, même si la faune y est bien connue, pourraient fournir d'importants renseignements sur la dynamique des populations d'abeilles. On pourrait de façon très efficace échantillonner de nouveau de nombreuses zones qui l'ont souvent été dans le cadre de projets de maîtrise ou de doctorat, en suivant la même méthodologie, ou une méthodologie similaire. Plusieurs parcs nationaux des États-Unis ont aussi été systématiquement échantillonnés, et ces régions représentent un point de référence par rapport à certaines des perturbations qui frappent les habitats en dehors de zones protégées. Des échantillonnages répétés dans ces endroits pourraient donc être instructifs. Les parcs nationaux ayant fait l'objet d'un échantillonnage standardisé sont les suivants : Yosemite, Grand Staircase Escalante National Monument, Bandelier National Monument, Carlsbad et Zion.
2. **Zones qui sont des points chauds connus.** On doit aussi prioriser les zones connues pour leur grande richesse en espèces, car c'est là que l'on pourrait le mieux documenter un important changement dans la richesse régionale ou locale de la communauté en général. Sans surprise, certaines des zones qui comprennent le plus grand nombre d'espèces d'abeilles sont aussi celles que l'on a étudiées à fond, habituellement de façon méthodique et standardisée. Par exemple, au Rocky Mountain Biological Laboratory, au Colorado (États-Unis), on effectue systématiquement des relevés d'abeilles depuis des décennies, parallèlement à des travaux sur les plantes. Cette activité fournit de précieuses données sur l'évolution de la phénologie des plantes et des abeilles au fil du temps (Stemkovski et coll., 2020; Gezon et coll., 2015; Forrest et

Thomson, 2011). Les zones qui affichent une exceptionnelle diversité d'abeilles pourraient faire l'objet d'une surveillance en vue d'évaluer les changements documentés. Par exemple, Cane, Minckley et coll. (2000; 2006; 1999) ont rigoureusement échantillonné des communautés de créosotiers dans la région de Phoenix et de Tucson. Un nouvel échantillonnage de ces communautés pourrait fournir d'importants renseignements sur les variations dans la présence/l'absence et dans la diversité/abondance d'abeilles, en comparant les résultats contemporains à ceux, souvent standardisés dans le temps ou l'espace, qui datent de 20 ou 30 ans.

3. **Zones agricoles.** Les systèmes agricoles qui dépendent ou tirent parti des pollinisateurs sont des zones souvent négligées, mais d'une grande importance pour l'échantillonnage normalisé (Steffan-Dewenter et coll., 2005; Klein et coll., 2007). Les régions agricoles font souvent l'objet de plus d'échantillonnage que les autres types de terres en raison des nombreux projets agricoles, à petite ou à grande échelle, qui bénéficient d'un financement. Or, ces divers projets manquent souvent de standardisation, plusieurs d'entre eux ne sont jamais documentés, et la couverture varie largement entre différentes cultures et diverses régions géographiques (Schindler et coll., 2013). Compte tenu du rôle crucial des abeilles dans la pollinisation des cultures et des problèmes touchant la santé et l'approvisionnement des abeilles domestiques, il est essentiel de comprendre les populations d'abeilles, leurs tendances et les facteurs à l'origine de leur déclin. Nous devons impérativement prioriser l'échantillonnage standardisé dans les zones agricoles partout en Amérique du Nord.

4.3 Portails de données : réunir toutes les données existantes en un seul endroit

Si les points de données géoréférencés sont importants pour les analyses, les métadonnées connexes le sont tout autant. Chaque fiche contient des métadonnées qui comprennent la date de collecte, l'association florale, le cas échéant, des renseignements taxonomiques (quant à l'espèce idéalement) et le lieu de collecte. Les métadonnées de chaque fiche devraient également inclure la méthode de collecte (par exemple, filet, piège à eau, photographie), ainsi qu'une mesure de la précision du lieu. On pourrait flouter des fiches sensibles, grâce à des permissions d'accès, et signaler et potentiellement exclure, au besoin, celles pour lesquelles la localité est inconnue. Il serait également utile de fournir des renseignements sur les personnes qui ont effectué la collecte et procédé à l'identification, ainsi que sur leur affiliation professionnelle et leurs coordonnées, si elles le souhaitent. Les utilisateur-trices de l'ensemble de données géoréférencées pourraient ainsi poser des questions aux responsables de la collecte et aux taxonomistes, et les mentionner dans toute publication ultérieure. En définitive, les bases de données qui alimentent les outils géospatiaux doivent être faciles à utiliser et inclusives afin qu'elles soient de la plus grande efficacité possible pour les analyses et décisions subséquentes.

Idéalement, un outil géospatial fusionnerait les données provenant d'une seule base de données géospatiale, quel que soit le type (photographie ou spécimen) ou la source (étude standardisée ou collection historique) de la fiche. À l'heure actuelle, la plupart des outils géospatiaux obtiennent leurs données de GBIF, qui a rassemblé non seulement des fiches historiques provenant de musées, mais

aussi celles d'iNaturalist et d'autres bases de données photographiques en ligne. Ces données sont conformes au standard Darwin Core, c'est-à-dire qu'elles sont téléversées dans un cadre flexible, mais stable. Y sont catégorisés tous les aspects consignés au moyen de conventions d'appellation similaires, de manière à permettre l'intégration de plusieurs ensembles de données disparates dans un grand ensemble de données.

1. **GBIF** – De loin la meilleure source de données géospatiales sur les abeilles, le GBIF présente néanmoins certaines limites. Comme nous l'avons indiqué plus haut, une approbation est requise pour téléverser des données sur ce portail, ce qui exclut de nombreuses importantes sources de données. Ce ne sont pas toutes les entités ayant des données géospatiales sur les abeilles qui peuvent les téléverser dans le GBIF. L'organisme requiert l'approbation de nœuds participants et exige que les données proviennent d'une organisation, et non d'une personne. Ainsi, un-e étudiant-e de cycle supérieur qui a collecté des données sur les abeilles, mais qui quitte ensuite l'établissement où il-elle étudiait, pourrait ne jamais y ajouter ses données, surtout si son ancien établissement n'est pas fournisseur de données. De plus, les fiches du GBIF ne reflètent pas toujours les plus récentes conventions d'appellation d'espèces; par conséquent, les outils de visualisation des données doivent périodiquement épurer les données TSN (*Taxonomic Serial Numbers*, numéros de série taxonomiques) du GBIF, qui conservent la plus récente information. Autre limitation : l'hésitation de certaines personnes à téléverser et à partager leurs données en raison d'un fort sentiment de propriété, peut-être attribuable à une culture de protection des données ou à la confidentialité de l'information. Un processus pour flouter les fiches serait donc nécessaire, mais le GBIF n'offre aucune telle fonction pour l'instant. Parfois incomplètes, les données du GBIF peuvent ne pas comprendre d'importants renseignements, par rapport aux plantes notamment. Enfin, le téléversement de données dans le GBIF peut prendre beaucoup de temps, si l'on inclut toutes les métadonnées requises. Certaines personnes pourraient y voir un obstacle.
2. **NatureServe et programmes de patrimoine naturel.** Aux États-Unis, les programmes de patrimoine naturel des États peuvent partager des données par l'intermédiaire de NatureServe; or, le partage de données n'est pas toujours cohérent ou fiable, en fonction de l'État.
3. **Symbiota Collections of Arthropods Network (SCAN).** Autre base de données dont on pourrait extraire des fiches pour un outil géospatial de surveillance des abeilles.
4. Au Canada, on utilise habituellement **Biotics** uniquement pour les espèces en péril; toutefois, cette plateforme entrave les transferts efficaces vers des outils de visualisation des données.
5. Au Mexique, la **Conabio** tient à jour de vastes bases de données qui contiennent des fiches géoréférencées pour tous les groupes biologiques du pays (SNIB, Système national d'information sur la biodiversité).

D'autres bases de données ont leurs propres limites. Pour l'heure, aucune n'est aussi complète que le GBIF, et bon nombre d'entre elles ne portent que sur des espèces rares ou en péril, ou sur des taxons précis (p. ex., les espèces de *Bombus*). On peut transmettre les ensembles de données directement à la personne qui crée l'outil géospatial, mais il ne s'agit pas là d'une solution durable à long terme.

L'USDA met actuellement sur pied un réseau de connaissances sur les pollinisateurs, plateforme à partir de laquelle on pourrait à l'avenir extraire des données, ou vers laquelle on pourrait téléverser des données provenant de sources multiples, au cas où on jugerait le GBIF insuffisant. Pour ce qui est de l'échange de données, les mesures d'incitation paraissent la solution la plus logique. On pourrait par exemple créer un facteur d'impact fondé sur la quantité de données publiées, la valeur des données et la fréquence de publication. Un facteur d'impact pour les taxonomistes et musées pourrait aussi les motiver à identifier des abeilles qui n'ont pas encore été examinées dans les grandes collections d'insectes. Il est important d'avoir plus de données, parce qu'elles nous aident non seulement à mieux comprendre la répartition des abeilles, mais aussi à savoir quand on a suffisamment étudié une région. Ainsi, on pourra mieux cibler les objectifs et éviter la collecte excessive. En outre, la création d'un processus pour flouter les renseignements sensibles, par exemple en permettant aux fournisseurs de données de préciser le niveau d'accès offert aux utilisateur-trices, permettrait à certain-es chercheur-euses et scientifiques de téléverser et de partager des données plus généralisées, mais non moins importantes.

La *Bee Library* (bibliothèque d'abeilles) est le fruit d'une collaboration entre plus d'une douzaine d'universités, de collections de musées d'histoire naturelle et de stations de recherche en vue de rassembler et de partager des données sur les abeilles, y compris des images et des données sur les caractéristiques fonctionnelles (taille du corps, informations sur la plante hôte et régime alimentaire) (Setlmann et coll., 2021). Cette bibliothèque est issue de Symbiota, portail de données déjà bien établi. Elle permet aux participant-es dont les données ne seraient pas admises dans GBIF de les téléverser vers une plateforme en ligne amplement utilisée.

4.4 Visualisation des données : la vraie fonction d'un outil géospatial

Un outil géospatial doit permettre aux utilisateur-trices de répondre à des questions sur les abeilles touchant le type de terrain, la gestion de l'habitat, l'inventaire des espèces et la dynamique des populations (c.-à-d., la taille, l'aire de répartition) dans le temps et dans l'espace. On peut catégoriser de diverses façons les usages que l'on fait d'un outil géospatial pour abeilles, selon les caractéristiques des espèces d'abeilles et la capacité de l'outil à passer outre les limites géographiques, écologiques, écorégionales ou politiques. Un outil de visualisation devrait surtout viser à communiquer les données efficacement aux différent-es intervenant-es et à les présenter de manière qu'elles répondent aux questions qui importent aux utilisateur-trices, et qu'elles soient claires pour quiconque n'est pas spécialiste des abeilles.

Un outil géospatial a pour principale fonction de permettre la visualisation des emplacements d'abeilles dans un espace géographique. Toutefois, la possibilité de recouper des points de données avec des écorégions, des aires de gestion des terres, des tribus, des terres autochtones, des États ou des provinces, des aires naturelles protégées et des comtés confère à un tel outil une grande souplesse. Cette souplesse sera fort utile aux gestionnaires de terres pour déterminer quelles espèces d'abeilles ont été documentées dans leur région. Toutes ces caractéristiques sont associées aux coordonnées géospatiales comprises dans la fiche d'une abeille, et à diverses couches que l'on peut superposer à ces

coordonnées. Des couches spatiales qui comprennent une évaluation des menaces (taux de déforestation, variabilité du climat, etc.) permettraient d'évaluer les risques pour les espèces d'abeilles dans ces zones. De plus, comme les fiches de spécimens sont plus ou moins précises, une gamme d'emplacements associés à un spécimen pourrait faciliter l'interprétation exacte des données.

Les grilles à maille sont une autre caractéristique que l'on devrait ajouter aux outils de visualisation spatiale. Des mailles manipulables et dimensionnables, même si elles ne représentent pas une aire bien délimitée, permettraient de dénombrer et d'analyser plus facilement les abeilles par unité de surface. Elles donneraient ainsi une meilleure idée de l'ampleur des activités de collecte pour une région donnée, et pourraient fournir un indice d'abondance standardisé. Il serait extrêmement utile pour quiconque étudie l'évolution de la présence ou de l'absence d'abeilles au fil du temps, de pouvoir basculer entre mailles réglées à des dimensions standards (2 km², 30 km² et 100 km²). On pourrait ainsi plus facilement mettre en évidence les points chauds et froids (c'est-à-dire les zones ayant fait l'objet de très peu de travaux), qui peuvent varier en fonction de l'échelle d'analyse. Les mailles peuvent aussi aider à établir un échantillonnage systématique dans une région. Enfin, elles facilitent de nombreux types d'analyses statistiques spatiales existantes.

L'idéal serait de pouvoir visualiser les aires de répartition prédites des abeilles plutôt que les seules occurrences d'abeilles. La modélisation de niches écologiques rendrait tout outil de visualisation d'abeilles plus utile, en générant de l'information pour les zones aux données de collecte insuffisantes. Également appelée modélisation de la répartition des espèces, elle prédit la répartition potentielle d'une espèce dans une zone géographique donnée en se basant sur les conditions environnementales (par exemple, la température, les précipitations, les types de couverture terrestre, etc.) qui déterminent les habitats auxquels l'espèce est associée. De toute évidence, la modélisation de niches écologiques repose sur un certain nombre de fiches d'occurrences pour cerner avec exactitude les tendances et les relations entre les occurrences de l'espèce et les conditions environnementales. Pour certaines espèces plus rares, cela n'est pas encore possible; pour d'autres, le manque de données nulles (endroits où *l'on n'a pas relevé* d'abeilles) limite aussi la précision du modèle. En revanche, il existe des méthodes statistiques pour remédier au manque de données nulles.

Un outil de visualisation des données sur les abeilles est à son plus efficace lorsqu'il intègre également des attributs de l'espèce d'abeille. Les outils actuels comprennent des renseignements sur la taxonomie des espèces (famille, tribu, genre, etc.), sur la protection d'une espèce en vertu de la loi (inscription sur une liste) et sur la phénologie. L'ajout d'information sur les habitudes de nidification, de photographies des espèces, de liens vers les clés d'identification et la littérature relatives aux taxons, ainsi que de photographies des espèces, serait d'une grande utilité. Plusieurs portails de données servent à compiler ces informations (voir ci-dessus), qu'il faudrait idéalement résumer pour les régions filtrées afin de déterminer, par exemple, l'abondance relative des abeilles qui nichent par terre, des abeilles spécialistes et des abeilles sociales.

Les données propres aux spécimens sont également essentielles pour les analyses que doivent effectuer les mélittologues. Des renseignements sur le sexe du spécimen seraient utiles pour certaines analyses. Il

serait également bon d'indiquer l'identifiant qui a mené à la détermination de l'espèce, afin de souligner le travail des taxonomistes qui ont identifié le spécimen. Il en va de même pour la personne qui a participé à la collecte du spécimen.

Il serait préférable de filtrer les données sur les abeilles selon leur méthode de collecte. Les fiches dans iNaturalist aident à comprendre les occurrences de certaines espèces d'abeilles, mais n'offrent pas le degré de précision qui caractérise souvent les spécimens collectés. La possibilité de filtrer les données selon leur méthode de collecte permettrait aux utilisateur-trices de sélectionner les données les mieux adaptées à leur tâche. À mesure que les données moléculaires deviendront plus courantes, l'utilité de cette caractéristique ne fera que croître. Celle-ci devrait comprendre la capacité de filtrer les spécimens collectés à l'aide de différentes techniques (filet, piège à eau, piège Malaise ou piège à ailettes). Ainsi, le fait de savoir quelles espèces ont été capturées à l'aide de différentes méthodes fournit également des renseignements sur les espèces potentiellement *absentes*, car elles font généralement l'objet d'un échantillonnage au moyen d'une méthode donnée. Enfin, il serait également utile de pouvoir filtrer les fiches qui sont le fruit de collectes systématiques par rapport aux fiches accessoires, en particulier en ce qui concerne cette première pour documenter les changements dans la composition de la communauté la présence d'espèces ou leur abondance, par rapport à l'échantillonnage répété, comme nous l'avons mentionné plus haut.

4.5 Exportation de données : la meilleure façon de partager les données sur les abeilles

Enfin, un outil de visualisation des abeilles doit permettre de partager l'information avec toutes sortes de personnes qui l'utiliseraient. On a parlé plus haut des personnes qui utilisent la visualisation d'abeilles; ils comprennent le personnel enseignant et leurs élèves, les responsables de la gestion des terres, les personnes qui établissent des rapports sur la situation d'espèces, les naturalistes et les chercheur-euses universitaires spécialistes des abeilles. Il se pourrait que toutes ces personnes veuillent en savoir plus sur les abeilles, prédire la répartition des abeilles à l'avenir, comparer des zones ou déterminer les « visiteurs » probables d'une plante en particulier. Pour qu'un outil géospatial soit utile à l'échelle de l'Amérique du Nord, il doit d'abord être offert en trois langues : français, espagnol et anglais; il doit inclure les noms autochtones, communs et latins des abeilles; il doit aussi comporter des « niveaux » d'analyse, de manière que quiconque connaît un tant soit peu la biologie des abeilles puisse y trouver de l'information utile et claire. Ce dernier point – rendre l'outil accessible aux personnes qui ne sont pas du milieu universitaire ou d'institutions gouvernementales – implique une consultation libre des cartes et autres interfaces associées à l'outil. Autre aspect précieux : des ensembles de données téléchargeables que l'on pourrait ensuite analyser soi-même, au cas où les outils fournis ne suffiraient pas.

Les gestionnaires de terres comprendront mieux les listes d'espèces d'abeilles que génère un outil de visualisation si on intègre des statistiques à l'échelle communautaire dans les résultats. Les « longues listes » d'espèces observées dans une région ne sont pas sans intérêt, mais la capacité d'interpréter toute liste est bien plus utile. Lesquelles de ces espèces surprennent? En quoi cette liste se compare-t-

elle à celles d'autres régions? Cette liste a-t-elle évolué au fil du temps? L'utilisation de statistiques à l'échelle communautaire pour déterminer le nombre d'espèces différentes dans un habitat (diversité alpha) et les différences entre ces habitats en ce qui concerne les espèces (diversité bêta), ainsi que leur degré de similitude ou de différence, nous aiderait à mieux comprendre l'information que génère un outil de visualisation des abeilles.

Un outil géospatial qui est dynamique et adaptable garantira sa longévité. La possibilité de fournir une rétroaction par l'intermédiaire d'un sondage efficace permettrait de s'assurer que l'outil répond aux besoins des utilisateur-trices. De plus, il serait utile d'avoir plusieurs gestionnaires qui ont de l'expérience dans différentes écorégions ou nations et différentes priorités. Ce groupe pourrait superviser les saisies de nouvelles données, surveiller les portails de données et ajouter des produits de données à livrer à mesure qu'on les conçoit. On s'assurerait ainsi de l'entretien de l'outil au fil du temps, ce qui est particulièrement important s'il est hébergé dans un logiciel propriétaire – les modifications qu'apportent les concepteur-trices peuvent entraîner des mises à jour fréquentes de la part des gestionnaires, et les logiciels propriétaires comptent souvent moins d'utilisateur-trices capables d'offrir du dépannage et d'entrer ou d'extraire des données (qui connaissent bien le logiciel).

5 Conclusions : l'importance de pouvoir visualiser des données géoréférencées sur les abeilles

Il existe une grande diversité d'abeilles en Amérique du Nord : celles des six familles présentes sur le continent affichent des comportements et des préférences uniques, mais elles sont toutes un facteur important des écosystèmes fonctionnels. Il est essentiel de comprendre la biologie des abeilles pour veiller à la conservation de la biodiversité. Grâce à leurs recherches, les scientifiques peuvent mieux cerner et préserver les habitats critiques, gérer les menaces et protéger ce groupe d'insectes riche et crucial. Pour comprendre non seulement les besoins de chaque espèce, mais aussi la manière de préserver l'intégrité de communautés entières, il est nécessaire d'avoir à notre disposition un ensemble d'outils permettant de visualiser et de simplifier des données abondantes et diversifiées.

Au cours de longues conversations qui ont duré près de deux ans, les chercheur-euses ont mis en lumière les défis touchant la collecte et le traitement des données disponibles sur les abeilles, ainsi que des solutions potentielles. Le plus utile sera de rassembler toutes les données géoréférencées qui existent sur les abeilles, de rassembler de nouvelles données dans d'importantes zones où aucun relevé et aucune surveillance d'abeilles n'a eu lieu, et de visualiser ces données à l'aide d'une interface utilisateur à orientation géospatiale. Idéalement, cette interface permettrait de consulter les données phénologiques, les associations végétales, les prédictions de répartition d'espèces d'abeilles, les variations interannuelles et les corrélations entre les occurrences d'abeilles et les variables environnementales. La tâche est énorme, mais il existe déjà des outils qui offrent toutes ces composantes. Avec un soutien adéquat du Canada, du Mexique et des États-Unis, la création d'un outil géospatial convivial pour faire la surveillance des abeilles demeure un objectif réalisable.

Bibliographie

- Arathi, H.S., M.W. Vandever et B.S. Cade (2019). Diversity and abundance of wild bees in an agriculturally dominated landscape of eastern Colorado. *Journal of Insect Conservation*, 23, p. 187 à 197.
- Arnold, N., R. Ayala, J. Mérida, P. Sagot, M. Aldasoro et R. Vandame (2018). Registros nuevos de abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini) para los estados de Chiapas y Oaxaca. México, *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89, p. 651 à 665.
- Ayala, R., T.L. Griswold et S.H. Bullock (1993). The native bees of Mexico, page 179 à 227, in *Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution*. Ramamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot et J. Fa (éd.), Oxford University Press, New York, États-Unis.
- Argueta-Guzmán, M., J. Golubov, Z. Cano-Santana et R. Ayala (2022). The role of seasonality and disturbance in bee–plant interactions in semi-arid communities of the southern Chihuahuan desert. *Insect Conservation and Diversity*, 15(5), p. 543 à 554.
- Bartholomew, C.S. (2004). *Bees associated with Louisiana longleaf pine savannas*. Thèse, Louisiana State University, Baton Rouge (Louisiane), États-Unis.
- Bartholomew, C.S., D. Prowell et T. Griswold (2006). An annotated checklist of bees (Hymenoptera: Apoidea) in longleaf pine savannas of southern Louisiana and Mississippi. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 79(2), p. 184 à 198.
- Blackburn, T.A. (2012). *To bee, or not to bee, that is the problem: Managing wild bee decline in Canadian agriculture*. Thèse, Simon Fraser University, Vancouver (Colombie-Britannique), Canada.
- Burkle, L.A., J.C. Marlin et T.M. Knight (2013). Plant-pollinator interactions over 120 years: loss of species, co-occurrence, and function. *Science*, 339(6127), p. 1611 à 1615.
- Burns, C. T., M.L. Burns, S. Cannings, M.L. Carlson, S. Coulson, M.A.K. Gillespie, T.T. Høye, D. MacNearney, E. Oberndorfer, J.J. Rykken et D.S. Sikes (2022). *Arctic pollinators*. *Arctic Report Card 2022*. Accessible en ligne : <https://arctic.noaa.gov/report-card/report-card-2022/arctic-pollinators/>
- Cane, J.H. (2011). Meeting wild bees' needs on western US rangelands. *Rangelands*, 33(3), p. 27 à 32.
- Cane, J.H., R.L. Minckley et L.J. Kervin (2001). Sampling bees (Hymenoptera: Apiformes) for pollinator community studies: pitfalls of pan-trapping. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 73, p. 208 à 214.

- Cane, J.H., R.L. Minckley, L.J. Kervin, T.A.H. Roulston et N.M. Williams (2006). Complex responses within a desert bee guild (Hymenoptera: Apiformes) to urban habitat fragmentation. *Ecological Applications*, 16(2), p. 632 à 644.
- Cane, J.H., R.R. Snelling et L.J. Kervin (1996). A new monolectic coastal bee, *Hesperapis oraria* Snelling and Stage (Hymenoptera: Melittidae), with a review of desert and neotropical disjunctives in the southeastern U.S. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 69, p. 238 à 247.
- Carper, A.L., C.J. Schwantes et M.A. Jamieson (2019). A new state record of the rare bee, *Cemolobus ipomoeae* (Hymenoptera, Apidae), from Colorado, USA. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 91(2), p. 171 à 175.
- CCE (2020). Plan opérationnel de la CCE pour 2019 et 2020 (Intensification de la conservation des pollinisateurs à l'échelle continentale afin de procurer des avantages sur le plan local). Montréal, Commission de coopération environnementale. Accessible en ligne : http://www.cec.org/files/documents/plans_operationnels/operational-plan_2019-2020.pdf
- CCE (2022). Plan opérationnel de la CCE pour 2022 (Promotion de la conservation des pollinisateurs en Amérique du Nord). Montréal, Commission de coopération environnementale. Accessible en ligne : http://www.cec.org/files/documents/plans_operationnels/operational-plan_2022.pdf
- Cheshire, P.R., E.E. Fischer, N.J. Dowdy, T.L. Griswold, A.C. Hughes, M.C. Orr, J.S. Ascher, L.M. Guzmán, K.L.J. Hung, N.S. Cobb et L.M. McCabe (2023). Completeness analysis for over 3000 United States bee species identifies persistent data gap. *Ecography*, 23(5), e06584.
- Cobb, N.S., L.F. Gall, J.M. Zaspel, N.J. Dowdy, L.M. McCabe et A.Y. Kawahara (2019). Assessment of North American arthropod collections: Prospects and challenges for addressing biodiversity research. *PeerJ*, 7, e8086.
- Colla, S.R. et S. Dumesh (2010). The bumble bees of southern Ontario: Notes on natural history and distribution. *Journal of the Entomological Society of Ontario*, 141, p. 39 à 68.
- Deyrup, M., J. Edirisinghe et B. Norden (2002). The diversity and floral hosts of bees at the Archbold Biological Station, Florida (Hymenoptera: Apoidea). *Insecta Mundi*, 16(1-3), p. 44.
- Du Clos, B., F.A. Drummond et C.S. Loftin (2020). Noncrop habitat use by wild bees (Hymenoptera: Apoidea) in a mixed-use agricultural landscape. *Environmental Entomology*, 49(2), p. 502 à 515.
- Duennes, M.A., C. Petranek, E. Pineda Diez de Bonilla, J. Merida-Rivas, O. Martinez-Lopez, P. Sagot, R. Vandame et S.A. Cameron (2017). Population genetics and geometric morphometrics of the *Bombus ephippiatus* species complex with implications for its use as a commercial pollinator. *Conservation Genetics*, 18, p. 553 à 572.

- ElQadi, M.M., A. Dorin, A. Dyer, M. Burd, Z. Bukovac et M. Shrestha (2017). Mapping species distributions with social media geo-tagged images: Case studies of bees and flowering plants in Australia. *Ecological Informatics*, 39, p. 23 à 31.
- Falcon-Brindis, A. et J.L. Leon-Cortes (2023). The oases of Baja California Peninsula: overlooked hostspots for wild bees. *Journal of Insect Conservation*, 27, p. 117 à 128.
- Forrest, J.R.K. et J.D. Thomson (2011). An examination of synchrony between insect emergence and flowering in Rocky Mountain meadows. *Ecological Monographs*, 81, p. 469 à 491.
- Garcillán, P. P., B. Marazzi et B.T. Wilder (2020). Baja California Desert, in *Biodomes and Ecosystems: An Encyclopedia. Volume 2*. Goldstein, M.I. et D.A. DellaSola (éd.), Elsevier, Amsterdam, Pays-Bas, p. 346 à 349.
- Gervais, A., V. Fournier, C.S. Sheffield et M. Chagnon (2017). Assessing wild bee biodiversity in cranberry agroenvironments: influence of natural habitats. *Journal of Economic Entomology*, 110(4), p. 1424 à 1432.
- Gezon, Z.J., E.S. Wyman, J.S. Ascher, D.W. Inouye et R.E. Irwin (2015). The effect of repeated, lethal sampling on wild bee abundance and diversity. *Methods in Ecology and Evolution*, 6(9), p. 1044 à 1054.
- Gibbs, J. (2010). Revision of the metallic species of *Lasioglossum (Dialictus)* in Canada (Hymenoptera, Halictidae, Halictini). *Zootaxa*, 2591, p. 1 à 382.
- Griffin, S.R., B. Bruninga-Socolar, M.A. Kerr, J. Gibbs et R. Winfree (2017). Wild bee community change over a 26-year chronosequence of restored tallgrass prairie. *Restoration Ecology*, 25(4), p. 650 à 660.
- Grismer, L.L. (2002). *Amphibians and Reptiles of Baja California, Including its Pacific Islands and the Islands in the Sea of Cortes*. University of California Press, Berkeley (Californie), États-Unis.
- Griswold, T.L., M. Andres, R. Andrus, G. Garvin, K. Keen, L. Kervin, O. Messinger, S. Messinger, W. Miller, K. Receveur, C. Shultz et V.J. Tepedino (1999). *A survey of the rare bees of Clark County, Nevada. Final Report*. The Nature Conservancy, Las Vegas (Nevada), États-Unis.
- Griswold, T.L. et W. Miller (2010). A Revision of *Perdita (Xerophasma)* Timberlake (Hymenoptera: Andrenidae). *Zootaxa*, 2517(1), p. 1 à 14.
- Griswold, T., V.H. Gonzalez et H. Ikerd (2014). AnthWest, occurrence records for wool carder bees of the genus *Anthidium* (Hymenoptera, Megachilidae, Anthidiini) in the Western Hemisphere. *ZooKeys*, 408, p. 31 à 49.

- Grixti, J.C. et L. Packer (2006). Changes in the bee fauna (Hymenoptera: Apoidea) of an old field site in southern Ontario, revisited after 34 years. *The Canadian Entomologist*, 138, p. 147 à 164.
- Hall, H.G. et J.S. Ascher (2010). Surveys of bees (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila) in natural areas of Alachua County in north-central Florida. *Florida Entomologist*, 93(4), p. 609 à 629.
- Hanula, J.L., S. Horn et J.J. O'Brien (2015). Have changing forests conditions contributed to pollinator decline in the southeastern United States? *Forest Ecology and Management*, 348, p. 142 à 152.
- Hendrix, S.D., K.S. Kwaiser et S.B. Heard (2010). Bee communities (Hymenoptera: Apoidea) of small Iowa hill prairies are as diverse and rich as those of large prairie preserves. *Biodiversity and Conservation*, 19, p. 1699 à 1709.
- Heron, J.M. et C.S. Sheffield (2015). First record of the *Lasioglossum (Dialictus) petrellum* species group in Canada. *Journal of the Entomological Society of British Columbia*, 112, p. 88 à 91.
- Hicks, B. et C. Sheffield (2021). Native bees (Hymenoptera; Apoidea) collected from Labrador, Canada. *Journal of the Acadian Entomological Society*, 17, p. 20 à 24.
- Hostetler, N.E. et M.E. McIntyre (2001). Effects of urban land use on pollinator (Hymenoptera: Apoidea) communities in a desert metropolis. *Basic and Applied Ecology*, 2(3), p. 209 à 218.
- Hurd, P. et C.D. Michener (1955). *The Megachiline Bees of California*. University of California Press, Berkeley (Californie), États-Unis.
- Javorek, S.K. et M.C. Grant (2011). *Trends in wildlife habitat capacity on agricultural land in Canada, 1986-2006 : Canadian biodiversity : ecosystem status and trends 2010 - technical thematic report no. 14*, Conseil canadien des ministres des ressources, Ottawa, Canada.
- Jones, D. et G. Jones (1980). Records of bees (Hymenoptera, Apoidea) from Alabama. *Journal of the Georgia Entomological Society*, 15(1), p. 56 à 65.
- Kazanel, M.R., K.W. Wright, J. Bettinelli, T.L. Griswold, K.D. Whitney et J.A. Rudgers (2020). Predicting changes in bee assemblages following state transitions at North American dryland ecotones. *Scientific Reports*, 10(1), p. 708.
- Klein, A.M., B.E. Vaissière, J.H. Cane, I. Steffan-Dewenter, S.A. Cunningham, C. Kremen et T. Tscharntke (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 274(1608): 303-313.

- Knapp, A.K., J.M. Blair, J.M. Briggs, S.L. Collins, D.C. Hartnett, L.C. Johnson et E.G. Towne (1999). The keystone role of bison in North American tallgrass prairie: Bison increase habitat heterogeneity and alter a broad array of plant, community, and ecosystem processes. *BioScience*, 49(1), p. 39 à 50.
- Koch, J.B., R. Vandame, J. Mérida-Rivas, P. Sagot et J. Strange (2018). Quaternary climate instability is correlated with patterns of population genetic variability in *Bombus huntii*. *Ecology and Evolution*, 8(16), p. 7849 à 7864.
- Krombein, K.V., P.D. Hurd, D.R. Smith et B.D. Burks (1979). *Catalog of Hymenoptera in America north of Mexico*. Washington, DC: Smithsonian Institution Press, Vol. 2, p. 1199 à 2209.
- Laverty, T.M. et L.D. Harder (1988). The bumble bees of eastern Canada. *The Canadian Entomologist*, 120(11), p. 965 à 987.
- Liczner, A.R., R. Schuster, L.L. Richardson et S.R. Colla (2023). Identifying conservation priority areas for North American bumble bee species in Canada under current and future climate scenarios. *Conservation Science and Practice*, 5(8), e12994.
- Little, C.Z. (2013). *Bee communities in the Arkansas River Valley*. Thèse, University of Central Arkansas, États-Unis.
- MacKay, P.A. et G. Knerer (1979). Seasonal occurrence and abundance in a community of wild bees from an old field habitat in southern Ontario. *The Canadian Entomologist*, 111(3), p. 367 à 376.
- Martins, K.T., C.H. Albert, M.J. Lechowicz et A Gonzalez (2018). Complementary crops and landscape features sustain wild bee communities. *Ecological Applications*, 28(4), p. 1093 à 1105.
- Martins, K.T., A. Gonzalez et M.J. Lechowicz (2015). Pollination services are mediated by bee functional diversity and landscape context. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200, p. 12 à 20.
- McAlister, C.G. (2012). *An insect pollinator survey at the Chihuahuan Desert Research Institute (CDRI), Jeff Davis County, Texas, and a comparison of the native bee diversity of the CDRI's Botanical Gardens to the surrounding grasslands using pan traps*. Thèse, Sul Ross State University, Texas, États-Unis.
- McCoshum, S.M. et M.A. Geber (2020). Land conversion for solar facilities and urban sprawl in southwest deserts causes different amounts of habitat loss for *Ashmeadiella* bees. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 92(2), p. 468 à 478.
- McMillan, N.A., K.E. Kunkel, D.L. Hagan et D.S. Jachowski (2019). Plant community responses to bison reintroduction on the Northern Great Plains, United States: a test of the keystone species concept. *Restoration Ecology*, 27(2), p. 379 à 388.

- Meiners, J.M., T.L. Griswold, T.L. et O.M. Carril (2019). Decades of native bee biodiversity surveys at Pinnacles National Park highlight the importance of monitoring natural areas over time. *PLoS One*, 14(1), e0207566.
- Messinger, O. et T. Griswold (2002). A pinnacle of bees. *Fremontia*, 30(3), p. 30 à 40.
- Minckley, R.L. (2014). Maintenance of richness despite reduced abundance of desert bees (Hymenoptera: Apiformes) to persistent grazing. *Insect Conservation and Diversity*, 7(3), p. 263 à 273.
- Minckley, R.L. et J.S. Ascher (2013). Preliminary survey of bee (Hymenoptera: Anthophila) richness in the northwestern Chihuahuan Desert, in *Merging science and management in a rapidly changing world: Biodiversity and management of the Madrean Archipelago III and 7th Conference on Research and Resource Management in the Southwestern Deserts*. G.J. Gottfried, P.F. Folliott, B.S. Gebow, L.G. Eskew et L.C. Collins (éd.), 1^{er} au 5 mai 2012, Tucson, Arizona. Comptes rendus, RMRS-P-67, Fort Collins (Colorado), U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, p. 138 à 143.
- Minckley, R.L., J.H. Cane et L. Kervin (2000). Origins and ecological consequences of pollen specialization among desert bees. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 267(1440), p. 265 à 271.
- Minckley, R.L., J.H. Cane, L. Kervin et T.H. Roulston (1999). Spatial predictability and resource specialization of bees (Hymenoptera: Apoidea) at a superabundant, widespread resource. *Biological Journal of the Linnean Society*, 67(1), p. 119 à 147.
- Moisan-DeSerres, J., M. Chagnon et V. Fournier (2015). Influence of windbreaks and forest borders on abundance and species richness of native pollinators in lowbush blueberry fields in Québec, Canada. *The Canadian Entomologist*, 147(4), p. 432 à 442.
- Munguia-Soto, E.O., J.K. Golubov et M.C. Mandujano (2022). Demography of bee pollinators in the Chihuahuan Desert: how to tell if their populations are declining? (tirage préliminaire) doi:10.21203/rs.3.rs-2281442/v1.
- National Park Service (2023). Traditional Ecological Knowledge (TEK) - Description. Récupéré sur le site <https://www.nps.gov/subjects/tek/description.htm>.
- Nelson, R.A. et L. Griswold (2015). The floral hosts and distribution of a supposed creosote bush specialist, *Colletes stephensi* Timberlake (Hymenoptera: Colletidae). *Journal of Melittology*, 49, p. 1 à 12.

- Odanaka, K., J. Gibbs, N.E. Turley, R. Isaacs et L.A. Brudvig (2020). Canopy thinning, not agricultural history, determines early responses of wild bees to longleaf pine savanna restoration. *Restoration Ecology*, 28(1), p. 138 à 146.
- Orr, M.C., A.C. Hughes, D. Chesters, J. Pickering, C.D. Zhu et J.S. Ascher (2021). Global patterns and drivers of bee distribution. *Current Biology*, 31(3), p. 451 à 458.
- Owens, B.E., L. Allain, E.C. Van Gorder, J.L. Bossart et C.E. Carlton (2018). The bees (Hymenoptera: Apoidea) of Louisiana: an updated, annotated checklist. *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 120(2), p. 272 à 307.
- Packer, L., V. Jessome, C. Lockerbie et B. Sampson (1989). The phenology and social biology of four sweat bees in a marginal environment: Cape Breton Island. *Canadian Journal of Zoology*, 67(12), p. 2871 à 2877.
- Pascarella, J.B., K.D. Waddington et P.R. Neal (1999). The bee fauna (Hymenoptera: Apoidea) of Everglades National Park, Florida and adjacent areas: distribution, phenology, and biogeography. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 72, p. 32 à 45.
- Patenaude, A.M. (2007). *Diversity, composition and seasonality of wild bees (Hymenoptera: Apoidea) in a northern mixed-grass prairie preserve*. Thèse, Université du Manitoba, Winnipeg (Manitoba), Canada.
- Portman, Z.M., V.J. Tepedino et A.D. Tripodi (2019). Persistence of an imperiled specialist bee and its rare host plant in a protected area. *Insect Conservation and Diversity*, 12(3), p. 183 à 192.
- Proctor, E., E. Nol, D. Burke et W.J. Crins (2012). Responses of insect pollinators and understory plants to silviculture in northern hardwood forests. *Biodiversity and Conservation*, 21, p. 1703 à 1740.
- Ratzlaff, C.G. (2018). New records of Hymenoptera from British Columbia and Yukon. *Journal of the Entomological Society of British Columbia*, 115, p. 110 à 122.
- Richards, M.H., A. Rutgers-Kelly, J. Gibbs, J.L. Vickruck, S.M. Rehan et C.S. Sheffield (2011). Bee diversity in naturalizing patches of Carolinian grasslands in southern Ontario, Canada. *The Canadian Entomologist*, 143(3), p. 279 à 299.
- Riemann, H. et E. Exequiel (2007). Endemic regions of the vascular flora of the peninsula of Baja, California, Mexico. *Journal of Vegetation Science*, 18, p. 327 à 336.
- Rondeau, S., A. Gervais, A. Leboeuf, A.P. Drapeau Picard, M. Larrivée et V. Fournier (2023). Combining community science and taxonomist expertise for large-scale monitoring of insect pollinators: Perspective and insights from Abeilles citoyennes. *Conservation Science and Practice*, 5(10), e13015.

- Sakagami, S.F. et M.J. Toda (1986). Some Arctic and Subarctic solitary bees collected at Inuvik and Tuktoyaktuk, NWT, Canada (Hymenoptera: Apoidea). *The Canadian Entomologist*, 118(5), p. 395 à 405.
- Samson, F.B., F.L. Knopf et W.R. Ostlie (2004). Great Plains ecosystems: past, present, and future. *Wildlife Society Bulletin*, 32(1), p. 6 à 15.
- Saturni, F.T., R. Jaffe et J.P. Metzger (2016). Landscape structure influences bee community and coffee pollination at different spatial scales. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 235, p. 1 à 12.
- Schindler, M., O. Diestelhorst, S. Haertel, C. Saure, A. Scharnowski et H.R. Schwenninger (2013). Monitoring agricultural ecosystems by using wild bees as environmental indicators. *BioRisk*, 8, p. 53 à 71.
- Schlueter, M.A. et N.G. Stewart (2015). Native bee (Hymenoptera: Apoidea) abundance and diversity in north Georgia apple orchards throughout the 2010 growing season (March to October). *Southeastern Naturalist*, 14(4), p. 721 à 739.
- Seltmann, K.C., J. Allen, B.V. Brown, A. Carper, M.S. Engel, N. Franz, E. Gilbert, C. Grinter, V.H. Gonzalez, P. Horsley, S. Lee, C. Maier, I. Miko, I., P. Morris, P. Oboyski, N.E. Pierce, J. Poelen, V.L. Scott, M. Smith, E.J. Talamas, N.D. Tsutsui et E. Tucker (2021). Announcing Big-Bee: An initiative to promote understanding of bees through image and trait digitization. *Biodiversity Information Science and Standards*, 5, e74037. <https://doi.org/10.3897/biss.5.74037>
- Sheffield, C.S., S.D. Frier et S.D. Dumesh (2014). The Bees (Hymenoptera: Apoidea, Apiformes) of the Prairies Ecozone, with Comparisons to other Grasslands of Canada. In *Arthropods of Canadian Grasslands (Volume 4): Biodiversity and Systematics Part 2*. Giberson, D.J. et H.A. Cárcamo (éd.), Ottawa, Commission biologique du Canada, p. 427 à 467.
- Sheffield, C.S., C. Ratti, L. Packer et T. Griswold (2011). Leafcutter and mason bees of the genus *Megachile* Latreille (Hymenoptera: Megachilidae) in Canada and Alaska. *Canadian Journal of Arthropod Identification*, 18, p. 1 à 107. doi:10.3752/cjai.2011.18
- Shorthouse, J.D. (2010). Ecoregions of Canada's prairie grasslands. In: *Arthropods of Canadian Grasslands, Volume 1: Ecology and Interactions in Grassland Habitats*. Shorthouse, J.D. et K.D. Floate (éd.), Ottawa, Commission biologique du Canada, p. 53 à 81.
- Shreve, F. et I.L. Wiggins (1964). *Vegetation and flora of the Sonoran Desert*. Stanford University Press, Vol. 1, 740 pages, Palo Alto (Californie), États-Unis.

- Slupik, O., F. McCune, C. Watson, R. Proulx et V. Fournier (2022). Response of bee and hoverfly populations to a land-use gradient in a Quebec floodplain. *Journal of Insect Conservation*, 26(6), p. 919 à 932.
- Soroye, P., T. Newbold et J. Kerr (2020). Climate change contributes to widespread declines among bumble bees across continents. *Science*, 367(6478), p. 684 à 688.
- Steffan-Dewenter, I., S.G. Potts et L. Packer (2005). Pollinator diversity and crop pollination services are at risk. *Trends in ecology and evolution*, 20(12), p. 651 et 652.
- Stemkovski, M., W.D. Pearse, S.R. Griffin, G.L. Pardee, J. Gibbs, T. Griswold, J.L. Neff, R. Oram, M.G. Rightmyer, C.S. Sheffield et K. Wright (2020). Bee phenology is predicted by climatic variation and functional traits. *Ecology Letters*, 23(11), p. 1589 à 1598.
- Stephenson, P.L., T.L. Griswold, M.S. Arduser, A.P. Dowling et D.G. Kremen (2018). Checklist of bees (Hymenoptera: Apoidea) from managed emergent wetlands in the lower Mississippi Alluvial Valley of Arkansas. *Biodiversity Data Journal*, 6, e24071. doi:10.3897/BDJ.6.e24071.
- Stubbs, C.J., F. Drummond et H. Ginsberg (2007). Effects of invasive plant species on pollinator service and reproduction in native plants at Acadia National Park (No. NPS/NER/NRTR—2007/096). US Department of the Interior, National Park Service, région du nord-est.
- Syer, F. (2016). *Canopy gaps are hotspots for bees and rare plants in an oak savannah-woodland system in southern Ontario*. Thèse de doctorat, Université de Guelph, Ontario, Canada.
- Tarbill, G.L. (2022). *The birds and the bees, flowers and burnt trees: plant-pollinator communities after fire in the Sierra Nevada of California*. Thèse de doctorat, University of California, Davis (Californie), États-Unis.
- Taylor, A.N. (2007). *Bee communities as bioindicators for oak savannah restoration*. Thèse, Université York, Toronto (Ontario), Canada.
- Tonietto, R.K., J.S. Ascher et D.J. Larkin (2017). Bee communities along a prairie restoration chronosequence: similar abundance and diversity, distinct composition. *Ecological Applications*, 27(3), p. 705 à 717.
- Ulyshen, M. et S. Horn (2023). Declines of bees and butterflies over 15 years in a forested landscape. *Current Biology*, 33(7), p. 1346 à 1350.
- Ulyshen, M.D., V. Soon et J.L. Hanula (2010). On the vertical distribution of bees in a temperate deciduous forest. *Insect Conservation and Diversity*, 3(3), p. 222 à 228.

- Ulyshen, M.D., A.C. Wilson, G.C. Ohlson, S.M. Pokswinski et J.K. Hiers (2021). Frequent prescribed fires favour ground-nesting bees in southeastern US forests. *Insect Conservation and Diversity*, 14(4), p. 527 à 534.
- Vankosky, M.A., H.A. Cárcamo, H.A. Catton, A.C. Costamagna et R. De Clerck-Floate (2017). Impacts of the agricultural transformation of the Canadian Prairies on grassland arthropods. *The Canadian Entomologist*, 149(6), p. 718 à 735.
- Vega, S., H. Vázquez-Rivera, E. Normandin, V. Fournier et J.P. Lessard (2023). Large remaining forest Habitat patches help preserve wild bee diversity in cultivated blueberry bush. *Diversity*, 15(3), p. 405.
- Westerfelt, P., J. Weslien et O. Widenfalk (2018). Population patterns in relation to food and nesting resource for two cavity-nesting bee species in young boreal forest stands. *Forest Ecology and Management*, 430, p. 629 à 638.
- Woodard, S.H., S. Federman, J. Rosalind, B.I. Danforth, T. Griswold, D. Inouye, Q. Mcfrederick, L. Morandin, D. Paul, E. Sellers, J. Strange, M. Vaughan, N. Williams, M. Branstetter, C. Burns, J. Cane, A. Cariveau, D. Cariveau, A. Childers et W. Wehling (2020). Towards a U.S. national program for monitoring native bees. *Biological Conservation*, 252, 108821. 10.1016/j.biocon.2020.108821.
- Zattara, E.E. et M.A. Aizen (2021). Worldwide occurrence records suggest a global decline in bee species richness. *One Earth*, 4(1), p. 114 à 123.