

Conservation de la macrofonge au Canada - Espèces à évaluer : un point de départ

Anna Bazzicalupo^a, Susana C. Gonçalves^b, Rémi Hébert^c, Sigrid Jakob^d, Alfredo Justo^e, Gavin Kernaghan^f, Renée Lebeuf^g, Bruce Malloch^h, R. Greg Thorn^h, et Allison K. Walker^{i*} (membres du Groupe de travail chargé de la conservation des champignons, sous l'égide de l'Institut canadien d'écologie et d'évolution)

^aDepartment of Zoology, University of British Columbia, Vancouver, BC V6T 1Z4, Canada; ^bCentre for Functional Ecology, Department of Life Sciences, University of Coimbra, 3000-456 Coimbra, Portugal; ^cCanadian Wildlife Service, Environment and Climate Change Canada, Government of Canada, Gatineau, QC K1A 0H3, Canada; ^dNew York Mycological Society, New York, NY 11215, USA; ^eNew Brunswick Museum, Saint John, NB E2K 1E5, Canada; ^fDepartment of Biology, Mount St. Vincent University, Halifax, NS B3M 2J6, Canada; ^gCercle des Mycologues de Lanaudière et de la Mauricie, L'Assomption, QC J5W 1G6, Canada; ^hDepartment of Biology, University of Western Ontario, London, ON N6A 5B7, Canada; ⁱDepartment of Biology, Acadia University, Wolfville, NS B4P 2R6, Canada

*allison.walker@acadiau.ca

Citation: Bazzicalupo A, Gonçalves SC, Hébert R, Jakob S, Justo A, Kernaghan G, Lebeuf R, Malloch B, Thorn RG, and Walker AK. 2022. Macrofungal conservation in Canada and target species for assessment : a starting point. FACETS 7: 448–463. doi:10.1139/facets-2021-0180

Notes : Texte traduit et adapté de l'anglais par Dominique Leduc (Cercle des mycologues de Sept-Îles) ; avec la collaboration de Raymond Archambault (Fongarium CMMF) et Pauline Dubé (Cercle de mycologie de Rimouski).

Cet article fait partie de la collection « *The Canadian Fungal Network 2021 Annual Meeting – Connecting fungal researchers across Canada* » (Assemblée annuelle 2021 du Réseau canadien de mycologie – Pour associer les chercheurs-mycologues de partout au Canada).

Droit d'auteur © 2022 Bazzicalupo et al., créé sous licence internationale *Creative Commons Attribution 4.0* (CC BY 4.0), qui en permet l'utilisation, la distribution et la reproduction illimitée sous n'importe quelle forme, à condition que le ou les auteurs et la provenance soient indiqués.

Résumé

Malgré l'importance écologique des champignons, nous en savons encore peu au sujet de leur diversité au Canada. Le manque de données sur la répartition des espèces est l'un des principaux obstacles à la mise en œuvre d'initiatives de conservation applicables aux champignons. Au moment où les impacts anthropiques accélèrent la transformation de l'environnement, il est impératif de corriger la situation pour assurer la protection des champignons. Afin de préciser le statut de la macrofonge au Canada, nous avons puisé dans le volumineux et croissant corpus de données sur la biodiversité mycologique constitué à partir de la recherche gouvernementale (Espèces sauvages 2020), de la science citoyenne, de l'information fournie par des mycologues experts indépendants, des universités et la recherche muséale sur la biodiversité. Il nous manque cependant des données sur la plupart des macrochampignons, sur leur répartition géographique, leur occurrence et leur abondance au Canada. Les champignons qui ne fructifient que pendant quelques jours de l'année sont souvent difficiles à identifier de manière certaine. Il n'est donc pas évident de trancher entre rareté et sous-échantillonnage des spécimens. Notre travail montre l'importance de constituer un solide réseau de mycologues professionnels ou amateurs pour développer des ressources, diffuser l'information permettant de prendre des décisions étayées qui feront avancer les travaux de conservation. Nous avons constaté que plusieurs espèces pouvaient être priorisées; nous en présentons une courte liste à soumettre à une évaluation formelle axée sur la conservation.

Mots-clés : biodiversité, biogéographie, conservation, macrochampignons, espèces en péril

Introduction

Les champignons sont des maillons essentiels des réseaux trophiques en raison de leur rôle dans le cycle de l'énergie et des éléments nutritifs (Boer et al., 2005). Ce sont des recycleurs primordiaux pour la plupart des écosystèmes puisqu'ils rendent accessibles à d'autres organismes les ressources contenues dans la matière organique. Par exemple, les champignons de la pourriture blanche sont les seuls organismes qui peuvent complètement décomposer la lignocellulose, composant complexe du bois (Ten Have et Teunissen, 2001). Beaucoup de champignons participent aussi à d'importantes relations mycorhiziennes grâce auxquelles l'eau et les éléments nutritifs du sol sont échangés contre les sucres produits par photosynthèse dans les plantes (Peay et al., 2016; Mommer et al., 2018). Sans ces relations symbiotiques, ni la plante ni les champignons qui en sont les partenaires ne survivraient. Les champignons servent par ailleurs d'importante source directe de nourriture à nombre d'autres organismes : des bactéries et invertébrés du sol aux mammifères et aux oiseaux. Il est donc essentiel de préserver la diversité des champignons au Canada. Contrairement à ce que propose l'hypothèse de la redondance fonctionnelle, selon laquelle les espèces qui ont une fonction écologique analogue au sein d'un écosystème sont interchangeable (Hubbell, 2005), les champignons interagissent individuellement entre eux et avec leur environnement en accomplissant leur fonction écologique qui va de la décomposition à leurs interactions pathogènes ou bénéfiques avec les végétaux. (Hazard et al., 2017; Wang et al., 2021). L'initiative 3F (Flore, Faune, Fonge, fungi.org/eng/conservation/) gagne en importance à l'échelle mondiale dans les établissements et les organismes à vocation éducative et environnementale en lien avec la vie macroscopique sur Terre. L'initiative 3F vise à faire reconnaître l'existence de la fonge, l'importance pour les gouvernements de prendre en compte les champignons dans leurs décisions, ainsi qu'à déterminer, au moyen des critères de la Liste rouge de l'Union internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), quels sont les champignons qui risquent de disparaître, sur tous les continents.

D'après Buxton et al. (2021), on dispose maintenant de suffisamment de données pour prendre des décisions éclairées au sujet de la conservation au Canada et passer de la collecte des données à la mise en œuvre de politiques de conservation. Malheureusement, ce n'est pas le cas pour les champignons : le manque de données entrave la conservation, même celle des « macrochampignons », ceux dont les sporophores individuels ou groupés sont >1 cm (Mueller et al., 2014), et qui font l'objet du présent document (on utilisera le mot « champignon » pour désigner les « macrochampignons » dans la suite du texte). Les champignons sont souvent absents des plans de conservation parce qu'il n'y a pas assez de données pour démontrer que leur population diminue au fil du temps. C'est évident d'après leur faible nombre sur la Liste rouge de l'UICN. En effet, il y a 60 000 plantes évaluées en fonction des critères de la Liste rouge de l'UICN; or, en date du mois de septembre 2021, la Liste rouge ne

contenait que 545 champignons (427 basidiomycètes, 118 ascomycètes), dont la plupart ont été évalués au cours de la dernière décennie. Dahlberg et Mueller (2011) ont adapté les critères de l'UICN aux champignons et révisé les critères d'évaluation qui avaient été utilisés pour l'Europe et les États-Unis, ouvrant ainsi la voie à une conservation axée sur les champignons (Dahlberg et al., 2010; Mueller et al., 2014; Heilmann-Clausen et al., 2015; Ainsworth et al., 2018; May et al., 2018). Très récemment, dans des articles faisant valoir le besoin urgent d'inclure de manière plus systématique les champignons dans les mesures de conservation (Cao et al., 2021; Gonçalves et al., 2021), on a insisté sur leur différence par rapport aux autres organismes. Les mycologues continuent à demander que les champignons soient inclus parmi les organismes de la biodiversité qui sont menacés.

Aspects de la biologie des champignons qui compliquent l'application des méthodes classiques en matière de conservation

Pour pouvoir prendre des décisions éclairées quant à la conservation d'un organisme en fonction de la situation, il faut avoir une compréhension claire de l'histoire de cet organisme. Il est parfois possible d'observer des tendances parce que la prévalence d'une espèce est particulièrement frappante. Par exemple, la propagation invasive de l'Amanite phalloïde (*Amanita phalloides*) dans l'ouest de l'Amérique du Nord a pu être suivie parce que sa fructification est abondante et qu'on a intérêt à savoir reconnaître ce champignon mortel (Pringle et al., 2009). Mais la plupart du temps, les champignons sont plutôt discrets bien qu'ils soient des joueurs clés dans l'écosystème et qu'ils se retrouvent partout. En effet, ils se développent souvent à l'abri des regards, sous forme de mycélium à l'intérieur d'un substrat (p. ex., dans le sol, le bois). Une fructification saisonnière, imprévisible, éphémère, et un mode de vie cryptique rendent difficile l'élaboration de systèmes de gestion de la conservation et de surveillance des champignons. De plus, lorsque les champignons fructifient, les mycologues ne peuvent pas facilement reconnaître si les différents sporophores de la même espèce proviennent d'un même réseau mycélien. Plusieurs sporophores peuvent, ou non, appartenir au même individu. Qu'est-ce qu'un individu dans le cas d'un champignon ? De combien d'individus est composée une population fongique ? La réponse aux questions fondamentales qui sous-tendent les plans d'action en matière de conservation n'est donc pas évidente dans le cas des champignons.

Ce sont les champignons pour lesquels les données sont insuffisantes qui risquent davantage d'être en péril (Bland et al., 2015). Les données significatives sur la fonge sont loin d'être aussi nombreuses que pour les oiseaux ou les plantes, alors que l'on constate un déclin, du moins chez certains groupes de champignons (Arnolds, 1991). La plupart du temps, en particulier chez les champignons charnus, les sporophores sont éphémères et il est facile de confondre une espèce avec une autre. Ainsi, comme la grande majorité des champignons au Canada ne sont connus que grâce à quelques collections et que leur échantillonnage est incomplet dans leur aire de répartition, il est difficile de les désigner comme étant rares ou menacés. On peut se demander par exemple dans quelle mesure la répartition géographique documentée pour une espèce correspond à la réelle répartition géographique des espèces cueillies ou à la « répartition » des mycologues (la région où ils habitent, où ils font leur cueillette, où ils passent leurs vacances), ce qui nous amène à poser la question suivante : quels sont les champignons qui sont vraiment rares et quels sont ceux qui sont sous-représentés dans les données ?

Le manque de données est particulièrement alarmant compte tenu des changements climatiques. Les changements climatiques mondiaux risquent d'avoir pour conséquence particulièrement insidieuse la perturbation irréversible d'environnements isolés avant qu'on ait pu en décrire la diversité, qui aurait servi de point de référence. Sans une telle évaluation préalable, le rétablissement des écosystèmes est quasiment impossible à gérer, en l'absence d'un point de comparaison pour en évaluer l'efficacité. On ne sait pas quels sont les impacts actuels au Canada des changements climatiques mondiaux ou d'autres causes anthropiques sur la structure et le fonctionnement des communautés de champignons, ce qui complique les prévisions. La fonge est très sensible au climat (Körner, 2003; Giauque et Hawkes, 2013; Kivlin et al., 2013; Fernandez et al., 2017; Andrew et al., 2018a, 2018b) et à la pollution atmosphérique, notamment aux dépôts azotés (Treseder, 2004; Lilleskov et al., 2011; Allen et Allen, 2017; van Strien et al., 2018). Elle risque donc de subir un déclin d'origine bioclimatique (Gange et al., 2007; Kausrud et al., 2012; Boddy et al., 2014; Gange et al., 2018).

La récente production du rapport *Espèces sauvages 2020*, dans lequel la situation d'environ 7000 espèces de champignons répertoriés a été évaluée (www.wildspecies.ca/fr/rapports, disponible en 2022) constitue une première pour la conservation de la fonge au Canada. Beaucoup des données numérisées contenues dans ce rapport provenaient des fongariums et des inventaires réalisés par des groupes de mycologues amateurs régionaux, ce qui montre l'importance cruciale de ces organisations en matière de conservation. Nos connaissances ont beaucoup progressé grâce aux plus de 200 000 spécimens numérisés dans l'Herbier national de mycologie du Canada d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, qui constitue la plus grande collection canadienne de champignons non lichénisés, maintenant consultable à partir du site Mycoportal.org. Au vu de ces avancées majeures, des mises à jour de la Loi sur les espèces en péril au Canada (Mooers et al., 2010), de l'intégration conséquente du savoir autochtone (Turner, 2020; Turcotte et al., 2021) et de l'intérêt que suscite depuis peu la conservation des champignons à l'échelle mondiale, nous présentons un état de la situation sur leur conservation au Canada.

Contribution des groupes de mycologie et des mycologues amateurs

Animés par la passion et l'enthousiasme, les groupes de mycologie apportent depuis longtemps une contribution cruciale à l'avancement des connaissances sur les champignons (Watling, 1998; Perry, 2008; Lemelin et Fine, 2013). Les groupes de mycologie et les mycologues amateurs ont grandement amélioré notre savoir collectif au sujet de la diversité et de la présence des champignons grâce à leurs nombreux projets et activités. Les initiatives mycologiques communautaires non professionnelles comportent plusieurs volets, mais visent chaque fois à susciter l'enthousiasme à l'égard des champignons. Ces initiatives font mieux comprendre la nécessité de documenter la diversité de la fonge et de prioriser la formation des membres de la communauté afin d'obtenir des observations validées.

La collecte de données sur le terrain fait partie des activités régulières des groupes de mycologie, dans le cadre de leurs sorties (p. ex., Foray Newfoundland and Labrador, Fédération québécoise des groupes de mycologues, Mycoquébec, Pacific NorthWest Key Council). Ces activités qui se répètent en général tous les ans ont permis d'obtenir des séries de données robustes sur la biodiversité des champignons dans certaines régions ciblées au Canada, à partir desquelles on a mis au point un précieux matériel de référence pour établir une taxonomie et la biogéographie des champignons (p. ex., Mycoquébec.org, avec l'appli « La Fonge du Québec », Mushroom Expert, Bolete Filter, MatchMaker/MycoMatch, Pictorial Key to Mushrooms of the Pacific Northwest). Les ouvrages de référence et les revues résultant des activités communautaires au Canada ont aussi été d'une valeur inestimable. Citons à cet égard le particulièrement minutieux « Répertoire des cortinaires du Québec » (Landry et al., 2021) et le bulletin *Omphalina* de Foray Newfoundland and Labrador. Beaucoup de non-professionnels ont adopté avec enthousiasme le recours aux données de séquençage de l'ADN associées à l'étude morphologique pour faciliter l'identification des spécimens, surtout en Amérique du Nord,

où beaucoup d'espèces ne font pas encore l'objet d'une description taxonomique formelle. Par exemple, Mycoquébec a fourni depuis 2017 quelque 3000 séquences à partir de fongariums québécois publics ou privés et des relevés effectués dans des zones très peu échantillonnées. Danny's DNA Discoveries, de la Puget Sound Mycological Society (alpent.com/psms/ddd/) est un autre contributeur. Grâce à ces activités, des non-professionnels — souvent en collaboration avec des mycologues professionnels — ont décrit de nouvelles espèces qui ont été publiées dans des médias écrits et électroniques reconnus (p. ex., *Xerocomellus diffractus*, N. Siegel, C.F. Schwarz & J.L. Frank, dans Frank et al., 2020; *Hygrophorus canadensis*, Lebeuf & P.-A. Moreau, dans Bellanger et al., 2021; *Cortinarius amabilis*, Bojantchev, Ammirati & Pastorino, dans Bojantchev, 2015). L'un d'entre eux, Benjamin Woo (1923–2008), architecte établi à Seattle et mycologue indépendant, s'est illustré par sa grande contribution à notre compréhension d'un groupe taxonomique. Pendant plus de 30 ans (1974–2007), Woo s'est spécialisé dans le genre *Russula* et sa collection a servi à décrire plusieurs nouvelles espèces (Hyde et al., 2017), à comprendre la diversité locale des russules (Bazzicalupo et al., 2017), à élaborer des clés d'identification pour les russules de la région du Nord-Ouest Pacifique (alpent.com/psms/PNW_Mushrooms/PictorialKey/Russula.htm, zoology.ubc.ca/~biodiv/mushroom/) et à documenter un manuel régional, « Mushrooms of British Columbia » (MacKinnon and Luther, 2021).

Les outils Internet iNaturalist et MushroomObserver permettent depuis peu aux adeptes de la science citoyenne de téléverser leurs observations géomarkées sur la biodiversité, ce qui rend possible pour les chercheurs l'étude de la diversité et de la biogéographie des champignons à un niveau de résolution sans précédent. Au Canada, environ 40 000 contributeurs ont ainsi téléversé plus d'un demi-million d'observations mycologiques. Des projets sont en cours pour que les données d'iNaturalist servent à améliorer les connaissances relatives à l'évolution de la biodiversité de certains taxons comme les chanterelles (*Cantharellus* spp., *Craterellus* spp.) et les hydnes (*Hydnum* spp.) au Nouveau-Brunswick (inaturalist.org/projects/chanterelles-and-hedgehog-mushrooms-in-new-brunswick) et à Terre-Neuve (inaturalist.org/projects/foray-nl-hydnum-project). Les champignons appartenant à ces genres sont cueillis pour leur comestibilité depuis des décennies et ils sont identifiés d'après leur ressemblance aux espèces européennes, mais il n'y a que cinq ans que les espèces indigènes du Canada ont été décrites (Thorn et al., 2017; Niskanen et al., 2018; Swenie et al., 2018). Il est très probable que d'autres taxons encore non décrits seront trouvés. Des projets analogues axés sur la conservation sont en cours, comme Rare Fungi Challenge for Northeastern North America (inaturalist.org/projects/fundis-rare-fungi-challenge-northeast), dont le but est d'obtenir de nouvelles observations de 20 espèces potentiellement rares de champignons. Les mycologues amateurs ont contribué à notre connaissance collective de la fonge et leur travail a été utilisé sous de nombreuses formes, des clés d'identification aux fongariums, en passant par des évaluations spécifiques destinées au rapport Espèces sauvages 2020 (<https://www.wildspecies.ca/fr/rapports>, disponible en 2022). Il sera essentiel que les organismes communautaires de mycologie scientifique s'emploient à faire avancer la conservation des champignons.

Espèces et habitats : priorités en matière de conservation

L'évaluation la plus complète des champignons au Canada est celle du rapport Espèces sauvages 2020, qui comprend environ 7000 espèces. Ce rapport marquant a été produit à partir de données nationales de partout au Canada grâce à la collaboration de tous les gouvernements provinciaux ou territoriaux de façon à évaluer la situation des espèces tant à l'échelle nationale qu'à l'échelle infranationale. Pour évaluer le statut de conservation de chaque espèce à l'échelle nationale, on s'est servi des données provinciales et locales sur l'occurrence de chaque espèce. Les espèces ont été évaluées selon un système de critères et de catégories qui prenait en compte l'aire de répartition géographique et l'occurrence. La catégorisation des espèces repose sur un système employé par NatureServe, organisme de conservation établi aux É.-U., qui fournit des outils pour la conservation. Les mêmes catégories sont déjà utilisées par les centres canadiens de données sur la conservation, et elles sont analogues (mais pas identiques) à celles qu'utilise l'UICN. Depuis 5 ans, le nombre des espèces évaluées a nettement augmenté, de 87 dans le rapport Espèces sauvages 2015 (CCCEP, 2016) à environ 7000 dans le rapport 2020, résultat réjouissant et porteur d'espoir.

Pour que les listes de conservation soient efficaces, il faut obtenir et évaluer des données de référence (taxonomiques, écologiques, biogéographiques) relatives aux champignons présents au Canada. Une expertise en taxonomie est grandement nécessaire pour bien cerner les espèces à prioriser en matière de conservation. Le genre *Pluteus*, qui a fait l'objet de beaucoup de travaux taxonomiques depuis 10 ans (p.ex. Justo et al., 2014) en est un bon exemple. Dans la version actuelle du rapport canadien Espèces sauvages 2020, trois espèces de *Pluteus* sont incluses, mais la présence en Amérique du Nord d'aucune d'entre elles n'a été confirmée. Par ailleurs, cinq autres espèces de *Pluteus* présentes au Canada (*P. elaphinus*, *P. eos*, *P. leucoborealis*, *P. oreibatus* et *P. rangifer*) devraient être incluses dans la liste NatureServe et hautement priorisées dans le cadre des mesures de conservation en raison de leur rareté relative et de leur endémicité dans l'est de l'Amérique du Nord et dans la région circumboréale. Les efforts de conservation de la fonge sont entravés par le manque de connaissances taxonomiques, notamment parce que les fonds destinés aux travaux de recherche en taxonomie sont difficiles à obtenir. Depuis 2010, le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada n'a d'ailleurs octroyé que 8 modestes subventions (moins de 27 000 \$CAN) pour des travaux en lien direct avec la taxonomie ou la diversité des champignons, et aucun projet n'avait une portée pancanadienne (https://www.nserc-crsng.gc.ca/ase-oro/index_fra.asp).

Les champignons ne s'arrêtent pas aux frontières définies par les gouvernements. Or, les gouvernements ont des lois et des priorités différentes pour les protéger. La mise en œuvre des mesures de conservation se fait suivant deux grandes approches. La première consiste à cibler des habitats spécifiques (p. ex., forêt carolinienne en Ontario et vallée de l'Okanagan en Colombie-Britannique). Il est vrai que certaines espèces ne sont probablement présentes que dans des habitats menacés, comme des dunes de sable ou des forêts anciennes (Ruokolainen et al., 2018; Yang et al., 2021), mais les données sont alors limitées aux habitats menacés et aux espèces qui y vivent. L'un des inconvénients de cette approche vient du fait qu'elle cible souvent des espèces qui se trouvent en bordure du nord de leur aire de répartition, ce qui limite beaucoup leur habitat étudié. L'autre approche consiste à cibler des espèces endémiques du Canada exclusivement ou celles dont l'aire de répartition se trouve en majeure partie au Canada. Il est cependant difficile de dire qu'une espèce est endémique au Canada car on manque de données détaillées (ou même approximatives) sur la répartition de la plupart des champignons en Amérique du Nord. La directive en ce qui concerne la conservation consiste à rendre le Canada responsable de pérenniser ces espèces dans le monde. En pratique, les conséquences de la « directive sur la conservation » dépendent des arguments pouvant être présentés aux organismes gouvernementaux pour qu'ils interviennent en matière de conservation. En identifiant des cibles prioritaires, nous pouvons défendre les espèces qui nécessitent une intervention plus urgente. Le fait que des cibles soient identifiées n'implique pas que des mesures de conservation seront prises, mais il ne se passera rien tant que des cibles n'auront pas d'abord été identifiées pour que le dossier puisse être présenté.

Avec l'impulsion donnée par le Groupe de travail virtuel de la conservation des champignons constitué sous l'égide de l'Institut canadien d'écologie et d'évolution, ainsi que par le Canadian Fungal Research Network (CanFunNet, fungalresearch.ca, Horianopoulos et al., 2020), nous visons à unir les efforts de ceux qui travaillent avec les champignons au Canada afin d'établir des objectifs de conservation. Dans le Tableau 1,

nous fournissons une liste préliminaire de champignons à soumettre à une évaluation formelle dans l'optique de la conservation, avec justification. Comme les cadres formels peuvent faciliter le suivi des recommandations en matière de conservation, dans la Fig. 1, nous avons schématisé une procédure d'évaluation des champignons. Des champignons représentatifs de la liste des espèces à évaluer d'après nous sont présentés dans la Fig. 2. Notre liste n'est pas du tout exhaustive, mais c'est un point de départ, une invitation lancée aux mycologues canadiens pour qu'ils participent de manière plus générale à la détermination des priorités en matière de conservation des champignons. Par exemple, les espèces du genre *Phaeocollybia* présentes dans l'Ouest canadien méritent aussi notre attention car elles sont présentes dans des forêts anciennes qui sont menacées (Redhead et Norvell, 1993; Kroeger et Berch, 2017).

Tableau 1. Liste préliminaire des champignons à soumettre à une évaluation formelle au Canada en vue de la conservation.

Espèce	Aires de répartition biogéographique	Contexte	Justification	Mentions canadiennes dans Mycoportal
<i>Arrhenia chlorocyanea</i> ^a	Europe, côte Ouest nord-américaine	Cette espèce est signalée partout dans le nord de l'Europe, où elle est parfois courante dans des sols sableux très perturbés, dont la végétation est en cours de régénération (Boomsliuter, 2006).	Limitée aux dunes de sable de la côte Ouest de l'Amérique du Nord et peu commune sur le littoral de la C.-B. (Redhead, 1989, <i>Omphalina viridis</i> ; carte).	15 collections de C.-B. dans DAOM (6), UBC (4), Mushroom Observer (5).
<i>Battarrea phalloides</i>	Mondiale	Cette espèce, ou complexe d'espèces (Martín et al., 2013), est présente mondialement et fait actuellement l'objet d'une évaluation par l'UICN (Gargano et al., 2020). Surtout limitée aux sols sableux, mais il n'est pas rare de la retrouver dans des habitats perturbés, dans certaines parties du monde.	Surtout dans le sud-ouest des É.-U., rare en C.-B. (Schalkwijk-Barendsen, 1991; Kroeger et Berch, 2017), en Saskatchewan et au Yukon.	11 collections du Yukon (2), de C.-B. (8), de Saskatchewan (1) dans DAOM (1), UBC (6), UC (1), NYBG (1), Mushroom Observer (2).
<i>Cortinarius kroegeri</i> ^a	Endémique dans la cordillère de l'Ouest	Ce taxon a été récemment distingué de <i>C. limonius</i> , dont la morphologie est analogue, d'après des échantillons provenant de C.-B. et de l'État de Washington (É.-U.) (Liimatainen, 2016). Les collections de <i>C. limonius</i> de l'est du Canada et du Costa Rica semblent conspécifiques de <i>C. limonius</i> d'Europe (Landry et al., 2021).	Même si cette espèce est courante ou répandue en C. B., son étendue serait très limitée à l'échelle mondiale.	14 collections de C.-B. dans UBC (10) et Mushroom Observer (4).
<i>Crepidotus cinnabarinus</i> ^a	Circumboréale : forêts de feuillus	Espèce caractéristique du genre, sur le bois mort de feuillus, surtout le peuplier, dans tout le Nord-Est et vers l'ouest jusqu'en Alberta (Luther et Redhead, 1981; Redhead, 1989, carte).		25 observations en Alberta (7), au Manitoba (12), en Ontario (2) et au Québec (4), rapportées dans DAOM (19), CMMF (2), UBC (2) et HRL ^b (1), iNaturalist (1).
<i>Cystoderma granosum</i>	Endémique dans les forêts décidues de l'Est	Sur le bois pourri, mais rarement observé (Smith et Singer, 1945; Thorn, 1986).		29 observations en Ontario (15) et au Québec (14), rapportées dans DAOM (12), NYBG (2), TRTC (3), CMMF (5), ARIZ (1), MICH (4), iNaturalist (1), Mushroom Observer (1).
<i>Dendrocollybia racemosa</i> ^a	Europe, Côte Ouest nord-américaine	Espèce facilement reconnaissable, mais rare le long de la côte Ouest nord-américaine (Machnicki et al., 2006); très rarement observée dans l'Est.		12 observations en C.-B. (11) et en Ontario (1), rapportées dans TRTC (1), UBC (7), MICH (1) ; iNaturalist (1), Mushroom Observer (4).
<i>Gyromitra sphaerospora</i> ^a	Endémique dans les forêts décidues de l'Est	Espèce caractéristique du genre, mais rarement observée depuis sa description à New York en 1875 (Seaver, 1942; Thorn, 2006, en tant que <i>Pseudorhizina sphaerospora</i>).		12 observations en C.-B. (11), au Manitoba (4), en Ontario (2), au Québec (3) et au Canada (2), dans DAOM (6), FH (1), CMMF (2), BPI (2), Mushroom Observer (1).
<i>Hapalopilus croceus</i> ^a	Incertaine	Espèce vulnérable d'après l'UICN, limitée au Nord-Est en Amérique du Nord ^d .		8 observations en Ontario (4) et au Québec (3), rapportées dans DAOM (1), NYBG (3), CMMF (3) et UC (1) ; les collections de l'Ontario datent de 1890–1918.

Espèce	Aires de répartition biogéographique	Contexte	Justification	Mentions canadiennes dans Mycoportal
<i>Laricifomes officinalis</i>	Circumboréale	Espèce répandue dans tout l'hémisphère Nord, où elle est limitée aux vieux conifères. En Europe, cette espèce est de plus en plus rare à cause des stress anthropiques comme la déforestation (Mukhin et al., 2005); en danger d'après la Liste rouge de l'UICN.	Associée aux vieux conifères; pas d'observation récente signalée dans l'est du Canada (Thorn, 2006).	52 observations en C.-B. (37), en Alberta (2), en Ontario (11) et au Québec (2), dans DAOM (19), CUP (1), FH (8), NYBG (4), OSU (2), ARIZ (1), GB (2), MICH (2), TENN-F (1), CFMR (2) et BPI (5) ; Mushroom Observer (5), les collections les plus récentes en Ontario et au Québec remontent à 1923.
<i>Myriostoma coliforme</i>	Méditerranéenne - Continentale	Incluse sur la Liste rouge de 18 pays européens (Evans et al., 2006; Sousa et al., 2017; Sousa et al., 2019). En cours d'évaluation à l'UICN.	Connue au Canada à seulement trois endroits du sud de l'Ontario, dont un cité dans Coker et Couch (1928).	13 observations en Ontario, rapportées dans DAOM (3), BPI (2), NYBG (2), TRTC (2), UBC (1) et MICH (3) ^c .
<i>Naiadolina flavomerulina</i>	Boréale endémique	Genre monotypique; petits sporophores de couleur vive sur les tiges mortes de monocotylédones en habitats humides.	Peut-être le seul genre de champignons à lames qui se retrouve exclusivement au Canada (Redhead, 1981; Redhead, 2013).	11 observations au Québec, dans DAOM (10) et HRL ^b (1) (une observation photographique en Nouvelle-Écosse (Redhead et al., 2013).
<i>Resupinatus dealbatus</i>	Endémique dans les forêts décidues de l'Est	Espèce très rarement observée depuis sa description initiale en Ohio en 1847, mais récemment redécouverte au Canada après 125 ans. https://weirdandwonderfulwildmushrooms.blogspot.com/2018/03/a-missing-mushroom-reappears-after-125.html		2 observations en Ontario (1) et au Québec (1), dans DAOM (1) et NYS (1).
<i>Sarcosoma globosum</i> ^a	Circumboréale	Sur la Liste rouge de 10 pays européens (Dahlberg, 2015), espèce quasi menacée mondialement : iucnredlist.org/species/58515314/58515381 ; son déclin est principalement causé par les changements dus à la gestion des terres, surtout la coupe à blanc des forêts anciennes.	Espèce associée aux forêts boréales anciennes.	22 observations en C.-B. (1), en Ontario (17), au Québec (3) et au N.-B. (1), rapportées dans FH (3), NBM (2), TRTC (1), S (1), CMMF (2), UC (1), WIS (1), RMS (2), BPI (3), et HRL ^b (1) ^c , iNaturalist (1), Mushroom Observer (3).
<i>Sarcosphaera coronaria</i> ^a	Circumboréale	Genre monotypique qu'on présume ectomycorhizien chez des hôtes décidus ou conifères. Cette espèce est déjà sur la Liste rouge de plusieurs pays européens (Lizoň et Zelený, 2006).	Les observations ontariennes ne proviennent que des comtés de Carleton et de Norfolk.	45 observations au Yukon (1), en C.-B. (21), en Alberta (3), au Manitoba (1), en Ontario (17), au Québec (2), rapportées dans DAOM (11), CMMF (3), ARIZ (2), UBC (5), BPI (1), HRL ^b (1), Mushroom Observer (22).
<i>Stereopsis humphreyi</i>	Asie (?), côte nord-américaine du Pacifique	Espèce connue sur la côte nord-américaine du Pacifique; une observation incertaine au Tibet (Redhead et Reid, 1983; Redhead, 1989, carte); espèce quasi menacée mondialement (UICN).		25 observations en C.-B., rapportées dans DAOM (5), UBC (12), MICH (1), et WTU (1) ^c , Mushroom Observer (6).
<i>Typhula</i> [<i>Macrotyphula</i>] <i>fistulosa</i> ssp. <i>fistulosa</i> ^a	Amphi-atlantique : Amérique du Nord, Europe	Espèce qui semble courante en Europe, mais au Canada elle est presque exclusivement présente dans le sud de l'Ontario, où elle est rarement trouvée (Petersen, 1972). <i>Macrotyphula fistulosa</i> var. <i>contorta</i> , trouvée sur des branches mortes de feuillus en hiver à Terre-Neuve, constitue une autre espèce, <i>Typhula contorta</i> (Voitk, 2012, Olariaga et Salcedo, 2013).	Les observations rapportées de <i>Clavariadelphus fistulosus</i> ou <i>M. fistulosa</i> incluent <i>T. contorta</i> , ce qui fait de <i>T. fistulosa</i> s.str. une espèce plutôt peu fréquente.	19 observations (sans compter les cas identifiés de <i>T. contorta</i> ou qui pourraient être ce taxon d'après leur présence sur des branches ligneuses) en Ontario (13), au Québec (4) et en N.-É. (2), rapportées dans DAOM (10), ACAD (1), CMMF (1), UC (2), MICH (1), et HRL ^b (1) ^c , iNaturalist (1), Mushroom Observer (2).
<i>Underwoodia columnaris</i> ^a	Endémique dans les forêts décidues de l'Est	Grande espèce caractéristique de ce genre monotypique. Rarement observée au Canada et dans le nord-est des É.-U. (Seaver, 1928; Barron, 1999).		8 observations au Manitoba (7) et en Ontario (1), rapportées dans DAOM (7) et BPI (1); 3 observations ontariennes figurant dans Mushroom Observer semblent avoir été mal identifiées.

^a Espèces représentées dans la Fig. 2.

^b HRL désigne le fongarium privé de l'auteure Renée Lebeuf.

° Observation(s) répétée(s) dans différents fongariums.

° Cette espèce illustre bien qu'il faut procéder à une évaluation taxonomique parallèlement aux évaluations de conservation. Les données sur l'ADN actuellement disponibles dans GenBank permettent de penser que ce qui est appelé *Hapalopilus croceus* est en fait un complexe de 3 espèces distinctes, une d'Europe, une d'Asie et une d'Amérique du Nord, toutes préoccupantes pour ce qui est de leur conservation (voir Supplément d'information 1).

Note concernant le tableau : Les aires de répartition biogéographique proviennent de Redhead (1989).

Abréviations : C.-B., Colombie-Britannique, UBC, University of British Columbia Herbarium; DAOM, Canadian National Mycological Herbarium; IUCN/UICN, International Union for Conservation of Nature/Union internationale pour la conservation de la nature; É.-U. États-Unis; UC, Herbarium of the University of California, Berkeley; NYBG, New York Botanical Gardens; CMMF, Cercle des mycologues de Montréal Fungarium; TRTC, The Royal Ontario Museum Fungarium; ARIZ, University of Arizona Herbarium; MICH, University of Michigan Herbarium; FH, Farlow Herbarium of Harvard University; BPI, U.S. National Fungus Collections; CUP, Cornell Plant Pathology Herbarium; OSU, Oregon State University Herbarium; GB, University of Gothenburg Herbarium; TENN-F, University of Tennessee Fungal Herbarium; CMFR, Center for Forest Mycology Research Herbarium; NYS, New York State Museum Herbarium; N.-B., Nouveau-Brunswick; NBM, Herbarium, New Brunswick Museum; S, Herbarium, Swedish Museum of Natural History; WIS, Wisconsin State Herbarium; RMS, W. G. Solheim Mycological Herbarium, University of Wyoming; WTU, University of Washington Herbarium; N.-É., Nouvelle-Écosse; ACAD, E.C. Smith Herbarium, Acadia University

Procédure d'évaluation du statut de conservation de la macrofonge au Canada

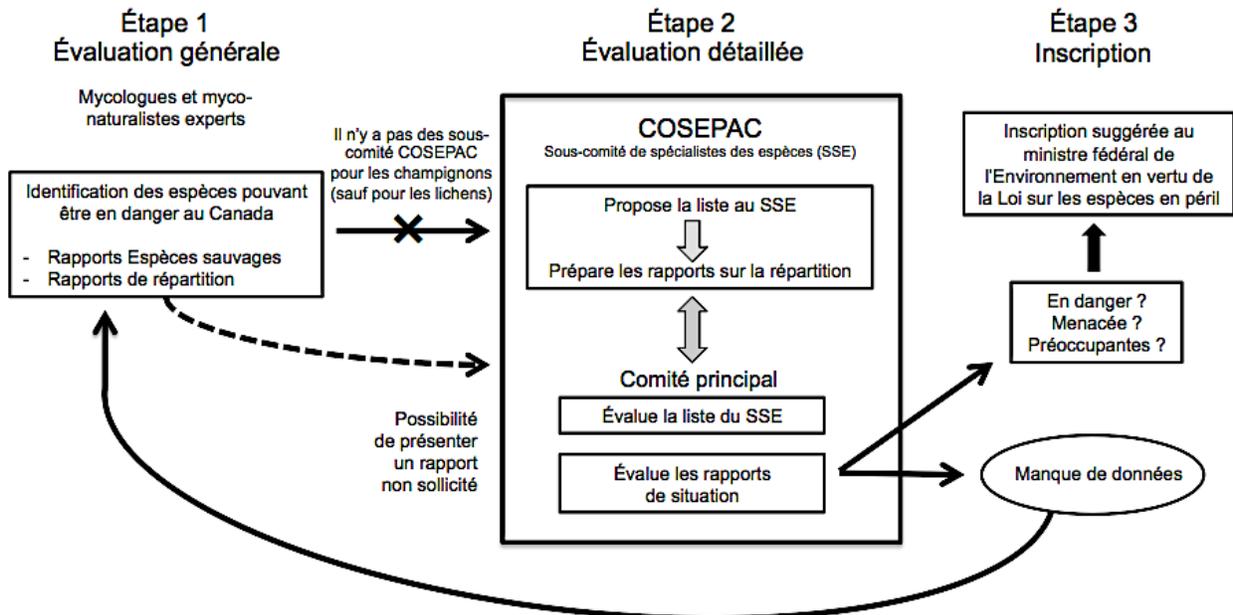


Fig. 1. Procédure d'évaluation du statut de conservation de la macrofonge au Canada. COSEPAC, Comité sur la situation des espèces en péril au Canada.



Fig. 2. Quelques macrochampignons présumés rares au Canada. a) *Arrhenia chlorocyanea* (photo G. Thorn), b) *Cortinarius kroegeri* (photo B. Kendrick), c) *Crepidotus cinnabarinus* (photo R. Lebeuf), d) *Dendrocollybia racemosa* (photo R. Lebeuf), e) *Gyromitra sphaerospora* (photo J. Landry), f) *Hapalopilus croceus* (photo Y. Lamoureux), g) *Macrotyphula fistulosa* (photo R. Lebeuf), h) *Sarcosoma globosum* (photo R. Lebeuf), i) *Sarcosphaera coronaria* (photo R. Lebeuf), et j) *Underwoodia columnaris* (photo G. Thorn).

Conclusion

L'évaluation des champignons comporte encore des défis. Partout au Canada, d'importants habitats ne font pas l'objet de relevés suffisants, les spécimens étant généralement cueillis aux alentours des grands centres urbains. La distribution géographique du genre facilement reconnaissable *Amanita*, qui est particulièrement bien étudié, en est un bon exemple. Les prairies indigènes anciennes sont aussi des écosystèmes menacés qui hébergent peut-être des espèces rares; or, les champignons n'y sont pas assez observés. Dans le présent article, nous avons résumé la situation des champignons au Canada et présenté une courte liste préliminaire d'espèces dont la situation est à évaluer en vue de la conservation des champignons au Canada. Il sera essentiel de recourir aux registres existants et aux observations numérisées, à la collaboration des établissements d'enseignement, des organismes gouvernementaux, des acteurs de la science citoyenne, des mycologues indépendants, des chercheurs muséaux en biodiversité et des Autochtones, pour mettre en œuvre des mesures de conservation axées sur les champignons au Canada.

Remerciements

Les auteurs tiennent à exprimer leur reconnaissance à l'Institut canadien d'écologie et d'évolution pour avoir financé le Groupe de travail virtuel. AKW tient aussi à remercier le CRSNG pour les fonds accordés dans le cadre d'une subvention à la découverte (CRSNG no — 2017-04325). Nous remercions les examinateurs, notamment M. Scott Redhead (Ph. D.) de l'Herbier national de mycologie (Agriculture et Agroalimentaire Canada), pour leurs précieux commentaires au sujet d'une version antérieure du manuscrit.

Contributions

AB, SCG, RH, SJ, AJ, GK, RL, BM, RGT et AKW ont conçu et élaboré l'étude. AB, RH, AJ, GK, RL, BM, RGT et AKW ont effectué les expériences et recueilli les données. AB, SCG, RH, SJ, AJ, GK, RL, BM, RGT et AKW ont analysé et interprété les données. AJ, GK, RGT et AKW ont fourni des ressources. AB, SCG, RH, AJ, GK, RL, BM, RGT et AKW ont rédigé ou révisé le manuscrit.

Conflits d'intérêts

Les auteurs ont déclaré ne pas être en conflit d'intérêts.

Disponibilité des données

Toutes les données pertinentes se trouvent dans l'article et dans les suppléments.

Suppléments

Les suppléments suivants sont accessibles avec l'article à partir du site Web de la revue. DOI :10.1139/facets-2021-0180. Supplément 1. Supplément 2.

Références

- Ainsworth A, Canteiro C, Dahlberg A, Douglas B, Furci G, Minter D, et al., 2018, Conservation of fungi. In State of the world's fungi, sous la direction de KJ Willis, Royal Botanic Gardens, Kew, R.-U., p. 70 à 77.
- Allen M, et Allen E, 2017, Mycorrhizal mediation of soil fertility amidst nitrogen eutrophication and climate change, dans Mycorrhizal mediation of soil, sous la direction de NC Johnson, C Gehring et J Jansa, Elsevier, Amsterdam, p. 213 à 231.
- Andrew C, Halvorsen R, Heegaard E, Kuyper TW, Heilmann-Clausen J, Krisai-Greilhuber I, et al., 2018a, Continental-scale macrofungal assemblage patterns correlate with climate, soil carbon and nitrogen deposition, *Journal of Biogeography*, 45(8): 1942–1953. DOI : 10.1111/jbi.13374
- Andrew C, Heegaard E, Høiland K, Senn-Irlert B, Kuyper TW, Krisai-Greilhuber I, et al., 2018b, Explaining European fungal fruiting phenology with climate variability, *Ecology*, 99(6): 1306–1315, DOI : 10.1002/ecy.2237
- Arnolds E, 1991, Decline of ectomycorrhizal fungi in Europe, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 35(2–3): 209–244, DOI : 10.1016/0167-8809(91)90052-Y
- Barron G, 1999, *Mushrooms of Ontario and eastern Canada*, Lone Pine Publishing, Edmonton, Canada, 336 p.
- Bazzicalupo AL, Buyck B, Saar I, Vauras J, Carmean D et Berbee ML, 2017, Troubles with mycorrhizal mushroom identification where morphological differentiation lags behind barcode sequence divergence, *Taxon*, 66: (4): 791–810. DOI: 10.12705/664.1
- Bellanger JM, Lebeuf R, Sesli E, Loizides M, Schwarz C et Moreau PA, et al., 2021, *Hygrophorus* sect. *Olivaceoumbrini*: new boundaries, extended biogeography and unexpected diversity unravelled by transatlantic studies, *Persoonia*, 46: 272–312, DOI : 10.3767/persoonia.2021.46.10
- Bland LM, Collen B, Orme CDL et Bielby J. 2015. Predicting the conservation status of data-deficient species, *Conservation Biology*, 29: (1): 250–259, PMID : 25124400 DOI : 10.1111/cobi.12372
- Boddy L, Buntgen U, Egli S, Gange AC, Heegaard E, Kirk PM, et al., 2014, Climate variation effects on fungal fruiting, *Fungal Ecology*, 10: 20–33.
- Boer WD, Folman LB, Summerbell RC et Boddy L, 2005, Living in a fungal world: impact of fungi on soil bacterial niche development. *FEMS Microbiology Reviews*, 29(4):795–811, PMID : 16102603 DOI : 10.1016/j.femsre.2004.11.005
- Bojantchev D, 2015, Nomenclatural novelties, *Index Fungorum*, 247: 1–2.
- Boomsliuter MW, 2006, Some ecological notes on *Omphalina chlorocyanea*, *Field Mycology*, 7(2): 52–53.
- Buxton RT, Bennett JR, Reid AJ, Shulman C, Cooke SJ, Francis CM, et al., 2021, Key information needs to move from knowledge to action for biodiversity conservation in Canada, *Biological Conservation*, 256: 108983. DOI : 10.1016/j.biocon.2021.108983 [en ligne] : accessible à partir du site sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320721000355.
- Cao Y, Wu G et Yu D, 2021, Include macrofungi in biodiversity targets. *Science*, 372(6547): 1160–1160. PMID : 34112684 DOI : 10.1126/science.abj5479
- Coker WC et Couch JN, 1928, *The Gasteromycetes of the eastern United States and Canada*, The University of North Carolina Press, Chapel Hill. 446 p.

- CCCEP, 2016, Espèces sauvages 2015 : la situation générale des espèces au Canada. [en ligne] : accessible à partir du site <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/registre-public-especes-peril/publications/especes-sauvages-2015.html>.
- Dahlberg A, 2015, *Sarcosoma globosum*, The IUCN red list of threatened species 2015. [en ligne] : accessible à partir du site dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T58515314A58515381.en.
- Dahlberg A, Genney DR et Heilmann-Clausen J, 2010, Developing a comprehensive strategy for fungal conservation in Europe: current status and future needs, *Fungal Ecology*, 3(2): 50–64. DOI : 10.1016/j.funeco.2009.10.004
- Dahlberg A et Mueller GM, 2011, Applying IUCN red-listing criteria for assessing and reporting on the conservation status of fungal species, *Fungal Ecology*, 4(2): 147–162. DOI : 10.1016/j.funeco.2010.11.001
- Evans S, Henrici A et Ing B, 2006, Red data list of threatened British fungi, Report by the British Mycological Society (BMS), Working With the Joint Nature Conservation Committee. [en ligne] : accessible à partir du site britmycolsoc.org.uk/field_mycology/conservation/red-data-list.
- Fernandez CW, Nguyen NH, Stefanski A, Han Y, Hobbie SE, Montgomery RA, et al., 2017, Ectomycorrhizal fungal response to warming is linked to poor host performance at the boreal temperate ecotone, *Global Change Biology*, 23(4): 1598–1609. PMID : 27658686 DOI : 10.1111/gcb.13510.
- Frank JL, Siegel N, Schwarz CF, Araki B et Vellinga EC, 2020, *Xerocomellus* (Boletaceae) in western North America, *Fungal System Evolution*, 6: 265–288. DOI : 10.3114/fuse.2020.06.13
- Gange A, Gange E, Sparks T et Boddy L, 2007, Rapid and recent changes in fungal fruiting patterns. *Science*, 316(5821): 71–71, PMID : 17412949 DOI : 10.1126/science.1137489
- Gange AC, Heegaard E, Boddy L, Andrew C, Kirk P, Halvorsen R, et al., 2018, Trait-dependent distributional shifts in fruiting of common British fungi, *Ecography*, 41(1): 51–61. DOI : 10.1111/ecog.03233
- Gargano ML, Venturella G et Ferraro V, 2020, Is *Battarrea phalloides* really an endangered species?, *Plant Biosystems*, 155: 759–762.
- Giauque H et Hawkes CV, 2013, Climate affects symbiotic fungal endophyte diversity and performance, *American Journal of Botany*, 100(7): 1435–1444. PMID : 23813587 DOI : 10.3732/ajb.1200568
- Gonçalves SC, Haelewaters D, Furci G et Mueller GM, 2021, Include all fungi in biodiversity goals, *Science*, 373(6553): 403–403. PMID : 34437111 DOI : 10.1126/science.abk1312
- Hazard C, Kruitbos L, Davidson H, Taylor AF et Johnson D, 2017, Contrasting effects of intra- and interspecific identity and richness of ectomycorrhizal fungi on host plants, nutrient retention and multifunctionality, *New Phytologist*, 213(2): 852–863.
- Heilmann-Clausen J, Barron ES, Boddy L, Dahlberg A, Griffith GW, Nordén J, et al., 2015, A fungal perspective on conservation biology, *Conservation Biology*, 29(1): 61–68, PMID : 25185751 DOI : 10.1111/cobi.12388
- Horianopoulos LC, Gluck-Thaler E, Benoit Gelber I, Cowen LE, Geddes-McAlister J, Landry CR, et al., 2020, The Canadian fungal research network: current challenges and future opportunities, *Canadian Journal of Microbiology*, 67: (1): 13–22. PMID : 32717148 DOI : 10.1139/cjm-2020-0263
- Hubbell SP, 2005, Neutral theory in community ecology and the hypothesis of functional equivalence, *Functional Ecology*, 19: 166–172.
- Hyde KD, Norphanphoun C, Abreu VP, Bazzicalupo A, Thilini Chethana KW, Clericuzio M, et al., 2017, Fungal diversity notes 603–708: taxonomic and phylogenetic notes on genera and species, *Fungal Diversity*, 87(1): 1–235. DOI : 10.1007/s13225-017-0391-3
- Justo A, Malysheva E, Bulyonkova T, Vellinga EC, Cobian G, Nguyen N, et al., 2014, Molecular phylogeny and phylogeography of Holarctic species of *Pluteus* section *Pluteus* (Agaricales : Pluteaceae), with description of twelve new species, *Phytotaxa*, 180(1): 1–85. DOI : 10.11646/phytotaxa.180.1.1
- Katoh K et Standley DM, 2013, MAFFT multiple sequence alignment software version 7: improvements in performance and usability, *Molecular Biology and Evolution*, 30(4): 772–780, PMID: 23329690
- Kausserud H, Heegaard E, Buntgen U, Halvorsen R, Egli S, Senn-Irlet B, et al., 2012, Warming-induced shift in European mushroom fruiting phenology, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(36): 14488–14493, DOI : 10.1073/pnas.1200789109
- Kivlin SN, Emery SM et Rudgers JA, 2013, Fungal symbionts alter plant responses to global change, *American Journal of Botany*, 100(7): 1445–1457, PMID : 23757444 DOI : 10.3732/ajb.1200558
- Körner C, 2003, Ecological impacts of atmospheric CO₂ enrichment on terrestrial ecosystems, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A: Mathematical, Physical Engineering Sciences*, 361(1810): 2023–2041, DOI : 10.1098/rsta.2003.1241
- Kroeger P et Berch S, 2017, Macrofungus species of British Columbia. Province of BC, Victoria, BC. Technical Report 108, 88 p. [en ligne] : accessible à partir du site gov.bc.ca/hfd/pubs/Docs/Tr/TR108.htm

- Landry J, Lamoureux Y, Lebeuf R, Paul A, Lambert H et Labbé R, 2021, Répertoire des cortinaires du Québec, Québec, Mycoquébec, 252 p.
- Larsson A, 2014, AliView: a fast and lightweight alignment viewer and editor for large datasets, *Bioinformatics*, 30: 3276–3278.
- Lemelin RH et Fine GA, 2013, Leisure on the recreational fringe: naturework and the place of amateur mycology and entomology, *PAN: Philosophy Activism Nature*, 10: 77–86.
- Liimatainen K, 2016, Nomenclatural novelties: *Cortinarius kroegeri*, *Index Fungorum*, 294: 1.
- Lilleskov E, Hobbie EA et Horton T, 2011, Conservation of ectomycorrhizal fungi: exploring the linkages between functional and taxonomic responses to anthropogenic N deposition, *Fungal Ecology*, 4: 174–183. DOI : 10.1016/j.funeco.2010.09.008
- Lizoň P et Zelený, L, 2006, *Sarcosphaera coronaria* in Slovakia, *Catathelasma*, 8: 5–9.
- Luther BS et Redhead, SA, 1981, *Crepidotus cinnabarinus* in North America, *Mycotaxon*, 12(2): 417–430.
- Machnicki N, Wright, LL, Allen A, Robertson CP, Meyer C, Birkebak JM, et al., 2006, *Russula crassotunicata* identified as host for *Dendrocollybia racemosa*, *Pacific Northwest Fungi*, 1(9): 1–7, DOI : 10.2509/pnwf.2006.001.009
- MacKinnon A et Luther K, 2021, *Mushrooms of British Columbia*, Royal BC Museum, Victoria, C.-B.
- Martín, MP, Rusevska K, Duenas M et Karadelev M, 2013, *Battarrea phalloides* in Macedonia: genetic variability, distribution and ecology, *Acta Mycologica*, 48(1): 113–122, DOI : 10.5586/am.2013.013.
- May TW, Cooper JA, Dahlberg A, Furci G, Minter DW, Mueller GM, et al., 2018, Recognition of the discipline of conservation mycology, *Conservation Biology*, 33: 733–736, DOI : 10.1111/cobi.13228
- Miller MA, Pfeiffer W et Schwartz T, 2010, Creating the CIPRES science gateway for inference of large phylogenetic trees, dans *Proceedings of the Gateway Computing Environments Workshop*, Nouvelle-Orléans, LA, p. 1 à 8, DOI : 10.1109/GCE.2010.5676129. [en ligne] : accessible à partir du site computer.org/csdl/proceedings/gce/2010/12OmNy7h3cn.
- Mommer L, Cotton TA, Raaijmakers JM, Termorshuizen AJ, van Ruijven J, Hendriks M, et al., 2018, Lost in diversity: the interactions between soil-borne fungi, biodiversity and plant productivity, *New Phytologist*, 218: 542–553, DOI : 10.1111/nph.15036
- Mooers AO, Doak DF, Scott Findlay C, Green DM, Grouios C, Manne LL, et al., 2010, Science, policy, and species at risk in Canada, *Bioscience*, 60(10): 843–849, DOI : 10.1525/bio.2010.60.10.11
- Mueller GM, Dahlberg A et Krikorev M, 2014, Bringing fungi into the conservation conversation: the global fungal red list initiative, *Fungal Conservation*, 4: 12–16.
- Mukhin VA, Kotiranta H, Knudsen H, Ushakova NV, Votintseva AA, Corfixen P, et al., 2005, Distribution, frequency and biology of *Laricifomes officinalis* in the Asian part of Russia, *Mikologiya i Fitopatologiya*, 39(5): 34–42.
- Niskanen T, Liimatainen K, Nuytinck J, Kirk P, Ibarguren IO, Garibay-Orijel R, et al., 2018, Identifying and naming the currently known diversity of the genus *Hydnum*, with an emphasis on European and North American taxa, *Mycologia*, 110(5): 890–918, PMID : 30215579 DOI : 10.1080/00275514.2018.1477004
- Olariaga I et Salcedo IJM, 2013, New combinations and notes in clavarioid fungi, *Mycotaxon*, 121(1): 37–44.
- Peay KG, Kennedy PG et Talbot JM, 2016, Dimensions of biodiversity in the Earth mycobiome, *Nature Reviews Microbiology*, 14: 434–447 : accessible à partir du DOI 10.1038/nrmicro.2016.59
- Perry B, 2008, Citizen Science, *Mycena News*, [en ligne] : mykoweb.com/articles/CitizenScience.html.
- Petersen RH, 1972, Notes on Clavarioid Fungi. XII, Miscellaneous notes on *Clavariadelphus*, and a new segregate genus, *Mycologia*, 64(1): 137–152 : accessible à partir du DOI 10.2307/3758022
- Pringle A, Adams RI, Cross HB et Bruns TD, 2009, The ectomycorrhizal fungus *Amanita phalloides* was introduced and is expanding its range on the west coast of North America, *Molecular Ecology*, 18: (5): 817–833, PMID : 19207260 DOI : 10.1111/j.1365-294x.2008.04030.x
- Redhead SA, 1981, Agaricales on wetland Monocotyledoneae in Canada, *Canadian Journal of Botany*, 59(5): 574–589.
- Redhead SA, 1989, A biogeographical overview of the Canadian mushroom flora, *Canadian Journal of Botany*, 67: 3003–3062.
- Redhead SA, 2013, Nomenclatural novelties, *Index Fungorum*, 15: 1–2.
- Redhead SA, Malloch DW et Ginns J, 2013, *Naiadolina flavomerulina*, *Omphalina*, 4: 18–20.
- Redhead S et Norvell L, 1993, *Phaeocollybia* in western Canada, *Mycotaxon*, 46: 343–358.

- Redhead SA et Reid DA, 1983, *Craterellus humphreyi*, an unusual *Stereopsis* from western North America, *Canadian Journal of Botany*, 61(12): 3088–3090.
- Ruokolainen A, Shorohova E, Penttilä R, Kotkova V et Kushnevskaia H, 2018, A continuum of dead wood with various habitat elements maintains the diversity of wood-inhabiting fungi in an old-growth boreal forest, *European Journal of Forest Research*, 137:(5): 707–718, DOI : 10.1007/s10342-018-1135-y
- Schalkwijk-Barendsen HME, 1991, *Mushrooms of Western Canada, Lone Pine, Edmonton*, 414 p.
- Seaver FJ, 1928, *The North American cup fungi (operculates) (réimpression 1978)*, Lubrecht and Cramer, Monticello, NY, 377 p., 74 p.
- Smith AH et Singer R, 1945, A monograph on the genus *Cystoderma*. *Papers of the Michigan Academy of Sciences, Arts and Letters*, 30: 71–124.
- Sousa JO, Baseia IG et Martín MP, 2019, Strengthening *Myriostoma* (Geastraceae, Basidiomycota) diversity: *Myriostoma australianum* sp. nov., *Mycoscience*, 60: 25–30, DOI : 10.1016/J.MYC.2018.07.003
- Sousa JO, Suz LM, García MA, Alfredo DS, Conrado LM, Marinho P, et al., 2017, More than one fungus in the pepper pot: Integrative taxonomy unmasks hidden species within *Myriostoma coliforme* (Geastraceae, Basidiomycota), *PLoS ONE*, 12: e0177873, PMID : 28591150 DOI : 10.1371/journal.pone.0177873
- Stamatakis A, 2014, RAxML version 8: a tool for phylogenetic analysis and post-analysis of large phylogenies, *Bioinformatics*, 30(9): 1312–1313, PMID : 24451623
- Swenie RA, Baroni TJ et Matheny PB, 2018, Six new species and reports of *Hydnum* (Cantharellales) from eastern North America, *MycKeys*, 42: 35–72, DOI : 10.3897/mycokeys.42.27369
- Ten Have R et Teunissen PJ, 2001, Oxidative mechanisms involved in lignin degradation by whiterot fungi, *Chemical Reviews*, 101: 3397–3414 : accessible à partir du DOI 10.1021/cr000115l
- Thorn RG, 1986, *Mushrooms of Algonquin Provincial Park*, Friends of Algonquin Park, Whitney, ON, 32 p.
- Thorn RG, 2006, Checklist of the conspicuous fungi of Algonquin Provincial Park, *Algonquin Park Tech. Bulletin*, Friends of Algonquin Park, Whitney, ON, 25 p.
- Thorn RG, Kim JI, Lebeuf R et Voitek A, 2017, The golden chanterelles of Newfoundland and Labrador: a new species, a new record for North America, and a lost species rediscovered, *Botany*, 95: 547–560, DOI : 10.1139/cjb-2016-0213
- Treseder KK, 2004, A meta-analysis of mycorrhizal responses to nitrogen, phosphorus, and atmospheric CO₂ in field studies, *New Phytologist*, 164: 347–355, DOI : 10.1111/j.1469-8137.2004.01159.x
- Turcotte A, Kermany N, Foster S, Proctor CA, Gilmour SM, Doria M, et al., 2021, Fixing the Canadian species at risk act: identifying major issues and recommendations for increasing accountability and efficiency, *FACETS*, 6(1): 1474–1494. DOI : 10.1139/facets-2020-0064
- Turner NJ (éd.), 2020, *Plants, People, and Places*, McGill-Queen's University Press, Montréal, 554 p.
- van Strien AJ, Boomsluiters M, Noordeloos ME, Verweij RJ et Kuyper TW, 2018, Woodland ectomycorrhizal fungi benefit from large-scale reduction in nitrogen deposition in the Netherlands, *Journal of Applied Ecology*, 55(1): 290–298, DOI : 10.1111/1365-2664.12944
- Voitek A, 2012, An epiphany about *Macrotyphula contorta*, *Omphalina*, 3(1): 3–7.
- Wang P, Xu J, Wu G, Liu T et Yang ZL, 2021, Genomic and experimental investigations of *Auriscalpium* and *Strobilurus* fungi reveal new insights into pinecone decomposition, *Journal of Fungi*, 2021: 679, DOI : 10.3390/jof7080679
- Watling R, 1998, The role of the amateur in mycology—what would we do without them!, *Mycoscience*, 39: 513–522, DOI : 10.1007/BF02460913
- Yang S, Limpens J, Sterck FJ, Sass-Klaassen U, Cornelissen JH, Hefting M, et al., 2021, Dead wood diversity promotes fungal diversity, *Oikos*, 130: 15, DOI : 10.1111/oik.08388