

## Supplementary material

**Fonctions écologiques et services écosystémiques rendus par les champignons au sein des territoires forestiers boréaux dans un contexte de gestion durable des forêts**

Examen doctoral, présenté par Jonathan Cazabonne

Décembre 2025

**Table des matières**

Tableau S1. Explications des catégories de quantification utilisées pour classer les articles extraits de notre revue de la littérature (Approche 1). Adapté de Noriega et al. (2023) et Ramos et al. (2019). ....	2
Tableau S2. Liste des auteur.es ayant publié plus de 3 articles dans notre corpus (Approche 1). ....	3
Tableau S3. Liste des pays présents dans notre corpus (Approche 1). ....	6
Tableau S4. Liste des fonctions et des services écosystémiques fournis par les champignons en forêts boréales dans notre revue de la littérature (Approche 1). ....	7
Tableau S5. Liste des catégories de quantification des fonctions et des services écosystémiques fournis par les champignons en forêts boréales dans notre revue de la littérature (Approche 1). ....	8
Tableau S6. Liste des perturbations anthropiques et naturelles identifiées dans notre revue de la littérature (Approche 1). ....	9
Tableau S7. Liste des fonctions et des services écosystémiques fournis par la diversité fonctionnelle des champignons dans la littérature. ....	10
Figure S1. Carte de distribution des articles du corpus en fonction des pays. ....	11
Figure S2. Nombre d'articles au cours du temps (1987-2025) en relation avec les quatre grandes catégories de services écosystémiques fournis par les champignons dans notre corpus. ....	12
Figure S3. Nombre d'articles au cours du temps (1987-2025) en relation avec les multiples fonctions et services fournis par les champignons dans notre corpus. ....	13
Figure S4. Nombre d'articles au cours du temps (1987-2025) en relation avec les trois grandes catégories de quantification des fonctions et des services fournis par les champignons dans notre corpus. ....	14
Figure S5. Accumulation du nombre d'articles au cours du temps (2004-2025) en fonction des cinq catégories de proxies des fonctions et des services fournis par les champignons dans notre corpus. ....	15
Figure S6. Corrélation entre le nombre d'articles utilisant les groupes fonctionnels (guildes) comme proxy et le nombre d'articles traitant de plusieurs fonctions et services à la fois dans notre corpus. ....	16
Références.....	17

**Tableau S1.** Explications des catégories de quantification utilisées pour classer les articles extraits de notre revue de la littérature (Approche 1). Adapté de Noriega et al. (2023) et Ramos et al. (2019).

Quantification category	Description
Quantification	<p>Les liens entre champignons et fonctions/services écosystémiques sont quantifiés, que ce soit sur le terrain, en conditions contrôlées ou à travers des modélisations. Des mesures à la fois des fonctions/services et des métriques associées aux champignons (e.g., composition et structure des communautés, diversité, présence/absence, abondance, etc.) sont fournies. Les liens quantifiés peuvent être directs ou indirects.</p>
Proxy	<p>Utilisation seulement de métriques associées aux champignons pour indiquer indirectement la réalisation potentielle de fonctions ou de services rendus par les champignons. Il n'y a donc pas de tentative de quantifier directement la relation entre champignons et fonctions/services. Aucune mesure de fonctions/services n'est ainsi fournie.</p> <p>e.g., niveaux d'expression des gènes i.e., guildes</p> <p><i>Lorsque au moins deux proxys parmi les guildes, les traits fonctionnelles ou expression des gènes sont utilisés.</i></p> <p>i.e., other individual or community ecology-related proxies; utilisation de proxy à l'échelle des individus ou des communautés qui n'utilisent pas des approches par guildes, traits fonctionnels ou expression des gènes.</p>
Not quantified	<p>Aucune quantification, directe ou indirecte, des liens entre champignons et fonctions/services n'est réalisée. La relation entre champignons et fonctions/services est considérée comme acquise. Aucune mesure, ni des métriques associées aux champignons ni des fonctions/services, n'est fournie.</p>

**Tableau S2.** Liste des auteur.es ayant publié plus de 3 articles dans notre corpus (Approche 1).

Author	n_articles
Lindahl BD	23
Clemmensen KE	20
Heinonsalo J	13
Finlay RD	10
Treseder KK	10
Wardle DA	10
Hogberg P	9
Karst J	9
Näsholm T	9
Högberg MN	8
Sun H	8
Berninger F	7
Ekblad A	7
Jönsson M	7
Kauserud H	7
Kennedy PG	7
MacK MC	7
Metcalfe DB	7
Pumpainen J	7
Taylor DL	7
Tedersoo L	7
Gundale MJ	6
Köster K	6
Stenlid J	6
Strengbom J	6
Bahram M	5
Dahlberg A	5
Erbilgin N	5
Hasselquist NJ	5
Hjältén J	5
Hobbie SE	5
Hurry V	5
Johnstone JF	5
Kyaschenko J	5
Morris D	5
Mäkipää R	5
Mönkkönen M	5
Nilsson MC	5

Reich PB	5
Venier L	5
Wallander H	5
Allison SD	4
Asiegbu FO	4
Basiliko N	4
Edman M	4
Fransson P	4
Hollingsworth TN	4
Johansson T	4
Kardol P	4
Karhu K	4
Kouki J	4
Köljalg U	4
Li J	4
Martineau C	4
Nordin A	4
Ovaskainen O	4
Snäll T	4
Turetsky MR	4
Wang Q	4
Adamczyk B	3
Adamczyk S	3
Asplund J	3
Bach LH	3
Bengtson P	3
Bent E	3
Berglund H	3
Bokhorst S	3
Bödeker ITM	3
Chen J	3
Franklin J	3
Gibb H	3
Granath G	3
Helmisaari H-S	3
Hobbie EA	3
Högberg P	3
Kapitsa E	3
Karlton E	3
Keel SG	3

Kranabetter JM	3
Landhäusser SM	3
Linder S	3
Maaroufi NI	3
Maillard F	3
McGuire KL	3
Merilä P	3
Mundra S	3
Nybakken L	3
Ohlson M	3
Ostonen I	3
Paré D	3
Pennanen T	3
Persson P	3
Porter TM	3
Põldmaa K	3
Rodríguez-Ramos JC	3
Ruess RW	3
Salo K	3
Santalahti M	3
Setälä H	3
Shen H	3
Shorohova E	3
Smenderovac EE	3
Stefanski A	3
Séguin A	3
Triviño M	3
Tunlid A	3
Walker XJ	3
Wang QG	3
Xu L	3
Zhou X	3

**Tableau S3.** Liste des pays présents dans notre corpus (Approche 1).

<b>Country</b>	<b>total_articles</b>
Sweden	77
Canada	57
Finland	40
USA	31
China	22
Russia	16
Global	12
Estonia	9
Norway	9
NA	7
Europe	3
Japan	2
Poland	2
Estonia and Latvia	1
Finland and Sweden	1
Lithuania	1
Mongolia	1
Nort America and Eurasia	1
Poland and Russia	1
Russia and Finland	1
Spain and Finland	1

**Tableau S4.** Liste des fonctions et des services écosystémiques fournis par les champignons en forêts boréales dans notre revue de la littérature (Approche 1).

<b>Ecosystem services category</b>	<b>n article</b>
Regulating and supporting services	209
• C dynamics	94
• C + nutrient dynamics	45
• Nutrient dynamics	27
• Food source for wildlife	17
• Plant productivity	13
• Plant nutrition	4
• Habitat	3
• Network functioning and stability	3
• Aerosol formation	1
• Ecosystem resilience	1
• Mineral weathering	1
Multiple ES	73
Socio-cultural services	10
• Bioindicator	9
• Medicinal use	1
Provisioning and socio-cultural services	3
• Economic and recreational value	3

**Tableau S5.** Liste des catégories de quantification des fonctions et des services écosystémiques fournis par les champignons en forêts boréales dans notre revue de la littérature (Approche 1).

Quantification category	n article
Quantification	138
Proxy	112
• Functional group	50
• Other ICEP	36
• Functional gene	10
• Multiple functional proxies	9
• Functional trait	7
Not quantified	45

**Tableau S6.** Liste des perturbations anthropiques et naturelles identifiées dans notre revue de la littérature (Approche 1).

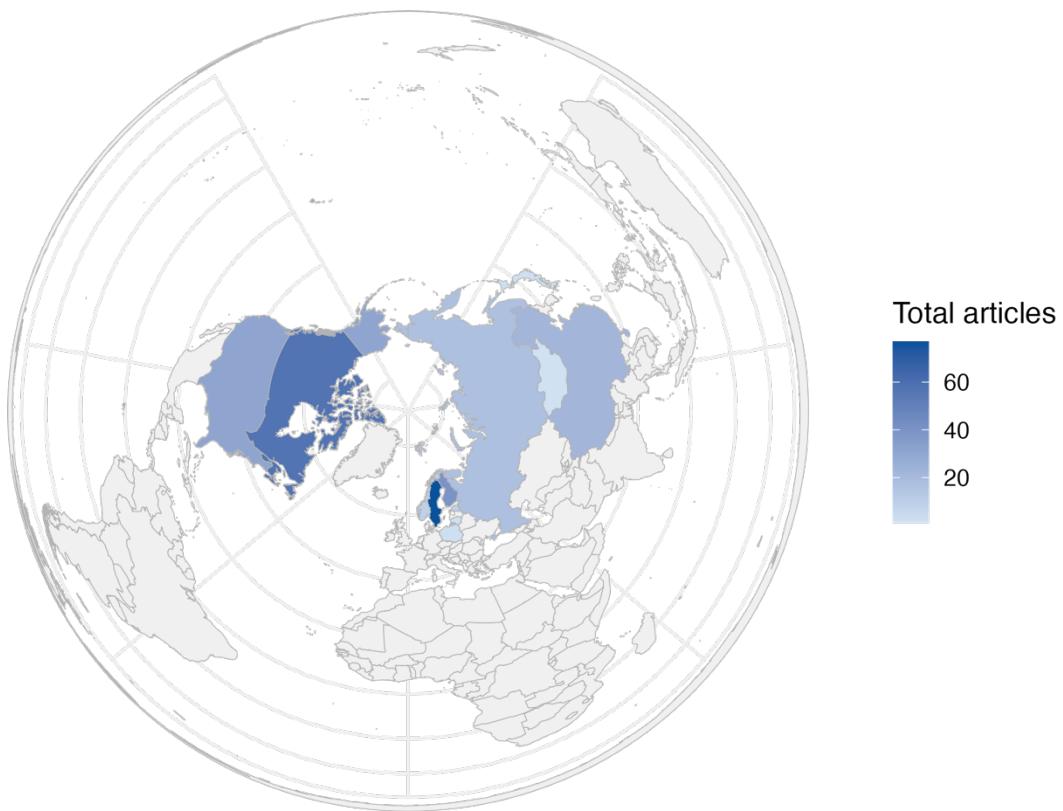
Disturbance category	n article
Natural disturbances	30
• Wildfire	25
• Insect outbreak	2
• Wild boar	2
• Earthworm invasion	1
Anthropogenic disturbances	103
• N addition	26
• Forest management	25
• Climate change	20
• Mining context	6
• Nutrient addition	5
• Metal contamination	4
• Agricultural context	2
• Biochar addition	2
• Fertilization	2
• Soil disturbances	2
• Forest management and climate change	1
• Atmospheric pollution	1
• Biomass removal	1
• C and N addition	1
• Climate change and N addition	1
• N emission	1
• Petroleum hydrocarbon contamination	1
• Pipeline engineering disturbances	1
• Not specified	1
Natural and anthropogenic disturbances	6
• Insect outbreak, wildfire and forest management	2
• Wildfire and forest management	2
• Wildfire and climate change	1
• Wildfire, biomass removal and plantation	1
NA	156

À noter que la catégorie N addition comprend N enrichment, N input, N depositon que ce soit depots passif ou volontaire lors d'expéirementation in situ ou en laboratoire

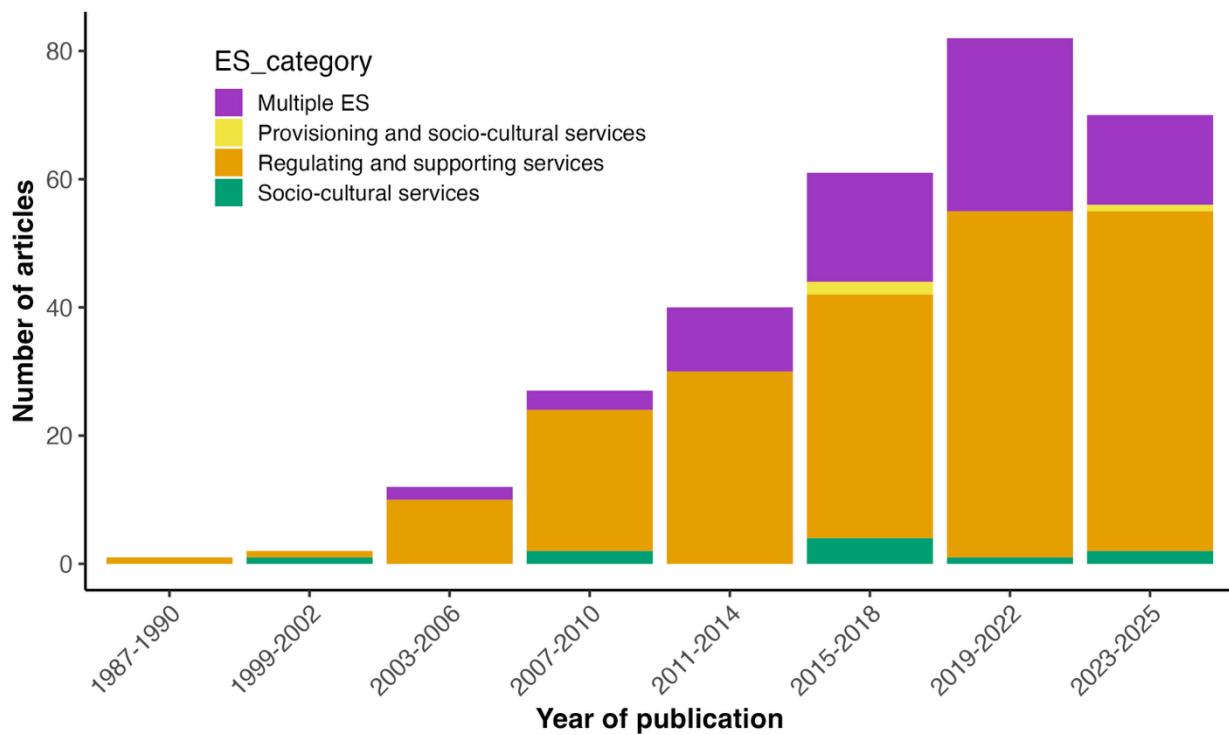
**Tableau S7.** Liste des fonctions et des services écosystémiques fournis par la diversité fonctionnelle des champignons dans la littérature.

<b>Services de régulation et de maintien</b>
*Cycle du carbone
* <i>Stockage du carbone</i>
* <i>Décomposition de la matière organique</i>
* <i>Respiration (CO<sub>2</sub>)</i>
*Dynamique des nutriments organiques et inorganiques
* <i>Mobilisation des nutriments</i>
* <i>Altération chimique des minéraux</i>
<i>Dénitrification</i>
<i>Rétenion des nutriments</i>
Fertilité des sols
Agrégation, stabilité et structure des sols
*Productivité, croissance et protection des plantes
Cycle de l'eau
<i>Rétenion et circulation de l'eau</i>
* <i>Aérosols</i>
*Source de nourriture et habitat pour la biodiversité
Remédiation de polluants
Contrôle biologique des populations (e.g., plantes, insectes)
*Médiateurs des chaînes alimentaires et réseaux d'interactions
<b>Services d'approvisionnement (matériels)</b>
Diversité génétique
*Production de champignons comestibles
Produits naturels (métabolites secondaires, produits pharmaceutiques et médicinaux)
Aliments et boissons
Matières premières et matériaux
Utilisation industrielle et technologiques (mycotechnologies)
<b>Services socio-culturels (immatériels)</b>
*Outil pour la conservation
*Bioindicateur (vieilles forêts, qualité de l'habitat, « naturalité », valeurs de conservation, pollution, etc.)
*Activités récréatives et touristiques (mycotourisme)
*Valeurs culturelles (utilisation traditionnelle, spiritualité, etc.)

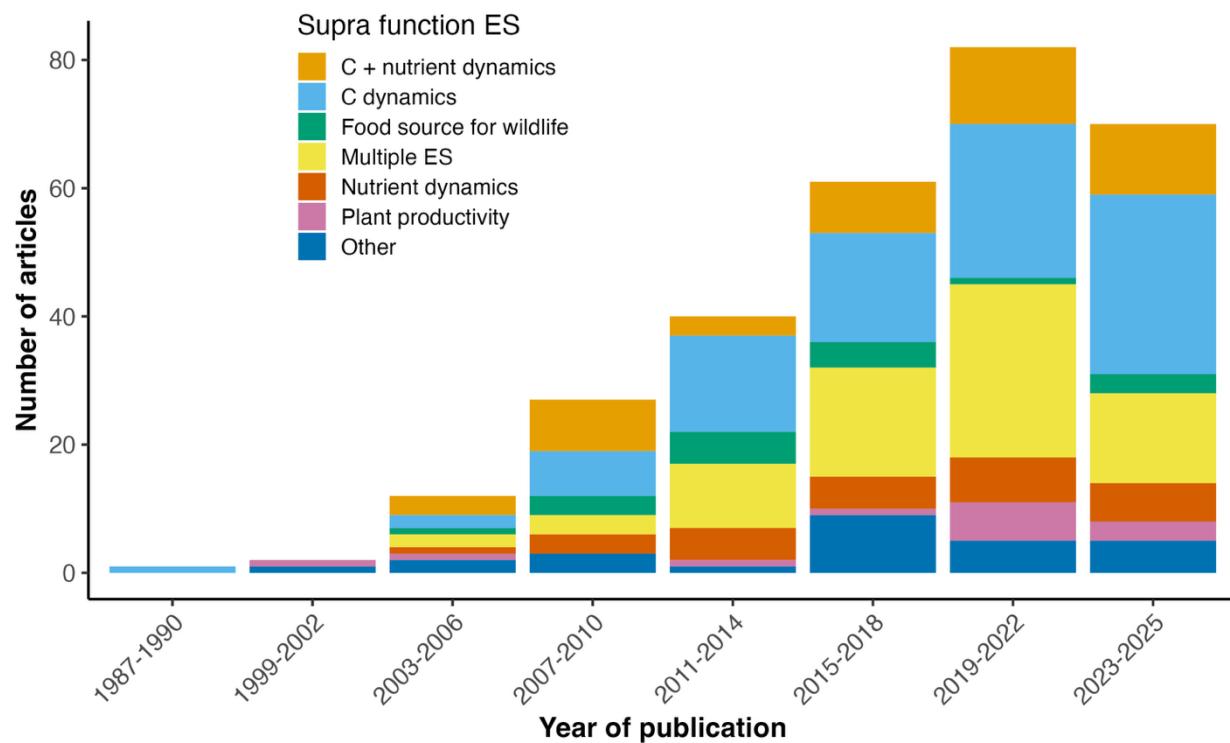
\*Ceux marqués d'un astérisque correspondent aux fonctions et services écosystémiques aussi identifiés par l'approche 1 ; voir Tableau S4.



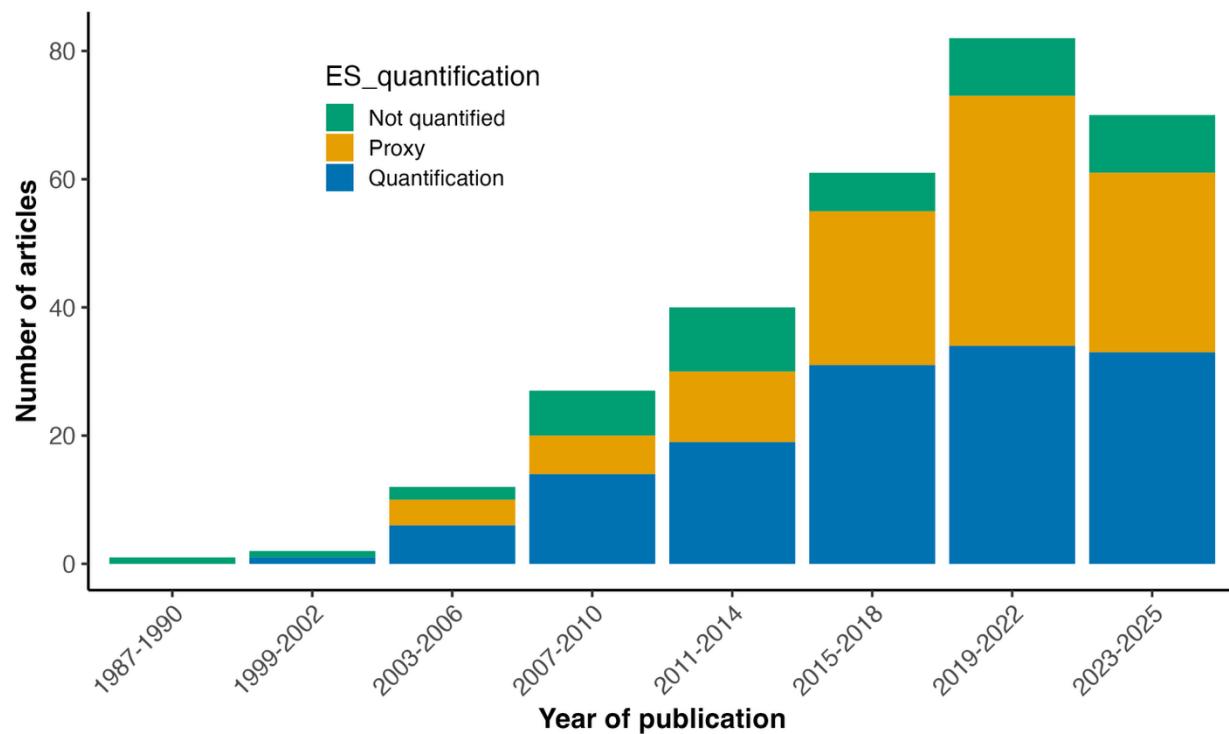
**Figure S1.** Carte de distribution des articles du corpus en fonction des pays.



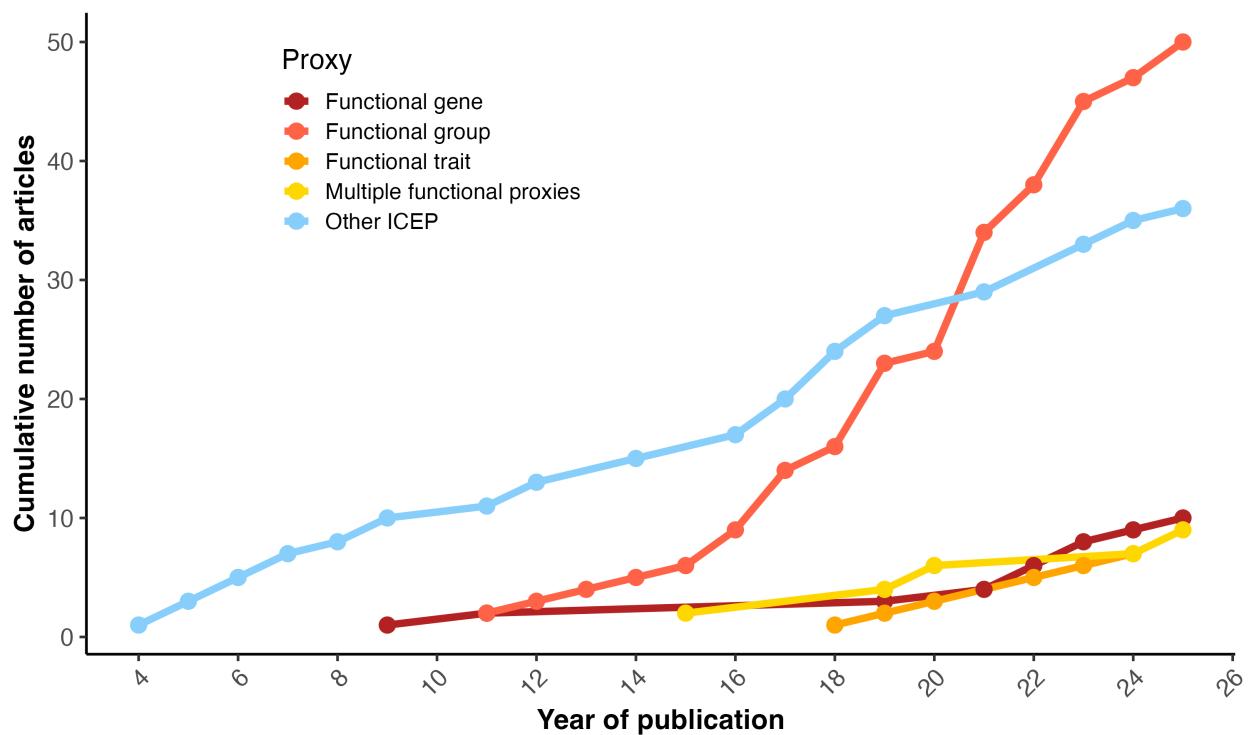
**Figure S2.** Nombre d'articles au cours du temps (1987-2025) en relation avec les quatre grandes catégories de services écosystémiques fournis par les champignons dans notre corpus.



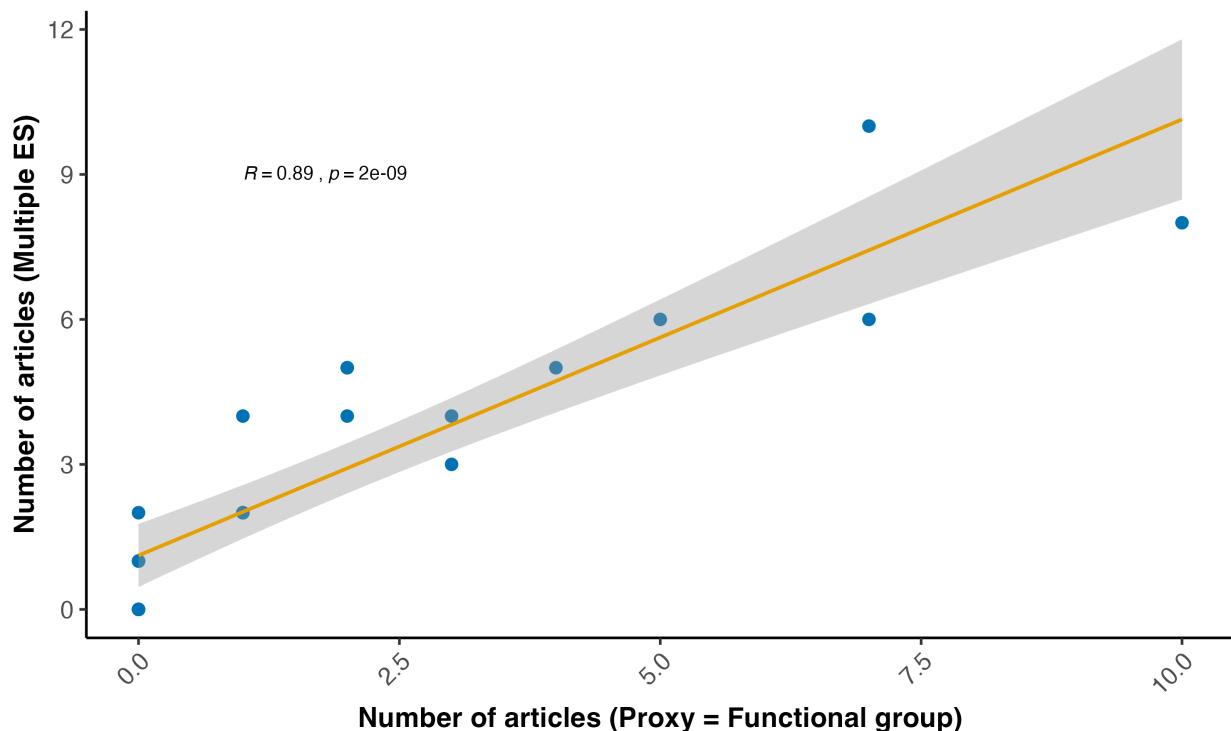
**Figure S3.** Nombre d'articles au cours du temps (1987-2025) en relation avec les multiples fonctions et services fournis par les champignons dans notre corpus.



**Figure S4.** Nombre d’articles au cours du temps (1987-2025) en relation avec les trois grandes catégories de quantification des fonctions et des services fournis par les champignons dans notre corpus.



**Figure S5.** Accumulation du nombre d'articles au cours du temps (2004–2025) en fonction des cinq catégories de proxies des fonctions et des services fournis par les champignons dans notre corpus.



**Figure S6.** Corrélation entre le nombre d'articles utilisant les groupes fonctionnels (guildes) comme proxy et le nombre d'articles traitant de plusieurs fonctions et services à la fois dans notre corpus.

## Références

Noriega, J. A., Hortal, J., Azcárate, F. M., Berg, M. P., Bonada, N., Briones, M. J., ... & Santos, A. M. (2018). Research trends in ecosystem services provided by insects. *Basic and applied ecology*, 26, 8-23.

Ramos, D. D. L., Cunha, W. L. D., Evangelista, J., Lira, L. A., Rocha, M. V. C., Gomes, P. A., ... & Togni, P. H. B. (2020). Ecosystem services provided by insects in Brazil: What do we really know?. *Neotropical entomology*, 49(6), 783-794.