



Les apports des sciences participatives
à la connaissance naturaliste : le cas de l'enquête
participative « Lichens forestiers du Massif central »



Théo MARECHAL, Sylvain MARSY, David HAPPE,
Thomas DARNIS, Jacques-Henri LEPRINCE, Philippe ANTONETTI,
Christian HURTADO & Rémy PONCET

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION : Bruno David,
Président du Muséum national d'Histoire naturelle

RÉDACTEUR EN CHEF / *EDITOR-IN-CHIEF*: Jean-Philippe Siblet

ASSISTANTE DE RÉDACTION / *ASSISTANT EDITOR*: Sarah Figuet (naturae@mnhn.fr)

MISE EN PAGE / *PAGE LAYOUT*: Sarah Figuet

COMITÉ SCIENTIFIQUE / *SCIENTIFIC BOARD*:

Luc Abbadie (UPMC, Paris)
Luc Barbier (Parc naturel régional des caps et marais d'Opale, Colémbert)
Aurélien Besnard (CEFE, Montpellier)
Vincent Boulet (Expert indépendant flore/végétation, Frugières-le-Pin)
Hervé Brustel (École d'ingénieurs de Purpan, Toulouse)
Patrick De Wever (MNHN, Paris)
Thierry Dutoit (UMR CNRS IMBE, Avignon)
Éric Feunteun (MNHN, Dinard)
Romain Garrouste (MNHN, Paris)
Grégoire Gautier (DRAAF Occitanie, Toulouse)
Olivier Gilg (Réserves naturelles de France, Dijon)
Frédéric Gosselin (Irstea, Nogent-sur-Vernisson)
Patrick Haffner (UMS PatriNat, Paris)
Frédéric Hendoux (MNHN, Paris)
Xavier Houard (OPIE, Guyancourt)
Isabelle Leviol (MNHN, Concarneau)
Francis Meunier (Conservatoire d'espaces naturels – Picardie, Amiens)
Serge Muller (MNHN, Paris)
Francis Olivereau (DREAL Centre, Orléans)
Laurent Poncet (UMS PatriNat, Paris)
Nicolas Poulet (AFB, Vincennes)
Jean-Philippe Siblet (UMS PatriNat, Paris)
Laurent Tillon (ONF, Paris)
Julien Touroult (UMS PatriNat, Paris)

COUVERTURE / *COVER*:

Lobaria pulmonaria (L.) Hoffm., aux thalles foliacés verdâtres et *Lobarina scrobiculata* (Scop.) DC. aux thalles foliacés gris – Gorges de la Rhue (Cantal). Crédit photo : S. Marsy.

Naturae est une revue en flux continu publiée par les Publications scientifiques du Muséum, Paris
Naturae is a fast track journal published by the Museum Science Press, Paris

Les Publications scientifiques du Muséum publient aussi / *The Museum Science Press also publish*:
Adansonia, **Zoosystema**, **Anthropozoologica**, **European Journal of Taxonomy**, **Geodiversitas**, **Cryptogamie sous-sections Algologie, Bryologie, Mycologie**.

Diffusion – Publications scientifiques Muséum national d'Histoire naturelle
CP 41 – 57 rue Cuvier F-75231 Paris cedex 05 (France)
Tél. : 33 (0)1 40 79 48 05 / Fax: 33 (0)1 40 79 38 40
diff.pub@mnhn.fr / <http://sciencepress.mnhn.fr>

© Publications scientifiques du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 2019
ISSN (électronique / *electronic*): 2553-8756

Les apports des sciences participatives à la connaissance naturaliste: le cas de l'enquête participative « Lichens forestiers du Massif central »

Théo MARECHAL

Université de Rennes 1,
2 rue du Thabor, F-35065 Rennes (France)
marechal.theo30@gmail.com

Sylvain MARSY David HAPPE

Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Auvergne-Rhône-Alpes,
Siège - site de Clermont-Ferrand, Service de l'eau, de l'hydro-électricité et de la nature,
7 rue Léo Lagrange, F-63033 Clermont-Ferrand cedex 1 (France)
sylvain.marsy@developpement-durable.gouv.fr
david.happe@developpement-durable.gouv.fr

Thomas DARNIS

Office national des Forêts, Agence Montagnes d'Auvergne,
Réseau Habitats/Flore/Lichens, 98 rue Léon Blum, F-15000 Aurillac (France)
thomas.darnis@onf.fr

Jacques-Henri LEPRINCE

Conservatoire botanique national du Massif central,
Le bourg, F-43230 Chavaniac-Lafayette (France)
jacques-henri.leprince@cbnmc.fr

Philippe ANTONETTI

UMS Patrimoine naturel (« PatriNat »), AFB, CNRS, MNHN,
57 rue Cuvier, boîte postale 41, F-75231 Paris cedex 05 (France)
philippe.antonetti@mnhn.fr

Christian HURTADO

Société mycologique, botanique et lichénologique d'Auvergne,
Mairie, la Chapelle-Geneste, F-43160 La Chaise-Dieu (France)
christian.hurtado@orange.fr

Rémy PONCET

UMS Patrimoine naturel (« PatriNat »), AFB, CNRS, MNHN,
57 rue Cuvier, boîte postale 41, F-75231 Paris cedex 05 (France)
remy.poncet@mnhn.fr

Soumis le 19 décembre 2018 | Accepté le 5 juillet 2019 | Publié le 6 novembre 2019

Marechal T., Marsy S., Happe D., Darnis T., Leprince J.-H., Antonetti P., Hurtado C. & Poncet R. 2019. — Les apports des sciences participatives à la connaissance naturaliste: le cas de l'enquête participative « Lichens forestiers du Massif central ». *Naturae* 2019 (9): 233-255. <https://doi.org/10.5852/naturae2019a9>

RÉSUMÉ

Entre 2015 et 2016, sous l'impulsion de la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes, des acteurs scientifiques et institutionnels se sont associés pour construire et animer un projet participatif portant sur les Lichens et plus spécifiquement sur huit taxons: *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm., *L. scrobiculata* (Scop.) DC., *Sphaerophorus globosus* (Huds.) Vain., *S. fragilis* (L.) Pers., *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr., *Flavoparmelia* sp., *Usnea* sp. et *Ramalina fraxinea* (L.) Ach. Baptisé « Enquête participative Lichens forestiers du Massif central », celui-ci a permis de collecter près de 3000 données d'occurrence, dont certaines constituent des premières mentions départementales. Les processus de construction et d'animation du projet sont résumés et discutés au regard des moyens mobilisés et des résultats obtenus (jeu de données, structuration d'un réseau d'acteurs, etc.). La compatibilité entre sciences participatives et groupes taxonomiques réputés difficiles tels que les Lichens est démontrée. L'autécologie des espèces cibles est précisée pour le Massif central et les perspectives de valorisation du jeu de données constitué sont discutées.

MOTS CLÉS

Démarches participatives, écologie, répartition, écosystèmes forestiers, Lobariaceae, espèces épiphytes.

ABSTRACT

Contributions of participatory sciences to naturalistic knowledge: the case of the participatory survey "forest lichens of the Massif central"

From 2015 to 2016, some scientific and institutional structures got involved to set up and implement a participatory project on lichens impelled by the DREAL Auvergne-Rhône-Alpes (the local representation for the French ministry of environment) focused on several lichens species: *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm., *L. scrobiculata* (Scop.) DC., *Sphaerophorus globosus* (Huds.) Vain., *S. fragilis* (L.) Pers., *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr., *Flavoparmelia* sp., *Usnea* sp. et *Ramalina fraxinea* (L.) Ach. The so-called "Participatory survey on forest lichens in Massif-Central" enabled to collect almost 3000 occurrence data, including validated observations of new species in some parts of the project area. The construction and animation processes of the project are summarized and discussed in relation to the resources raised and the results obtained (data set, structuring of a network of actors, etc.). Compatibility between participatory sciences and taxonomic groups known to be difficult such as lichens is demonstrated. The autecology of the target species is specified for the Massif central and promotion perspectives of the constituted dataset are discussed.

KEY WORDS

Participatory projects, ecology, distribution, forest ecosystems, Lobariaceae, epiphyte species.

INTRODUCTION

Depuis 2012, la DREAL Auvergne (devenue DREAL Auvergne-Rhône-Alpes en 2016) associée à des partenaires techniques et scientifiques a piloté plusieurs projets d'enquêtes participatives visant à améliorer les connaissances sur la biodiversité d'Auvergne et du Massif central. En 2015, suite à deux premiers projets ayant produit des résultats concluants sur le territoire auvergnat :

– répartition du Raton laveur (*Procyon lotor* L.) et de la Tortue de Floride (*Trachemys scripta* Thunberg in Schoepff) (<http://www.auvergne-rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/enquete-participative-de-repartition-de-la-tortue-a7835.html>, dernière consultation le 1^{er} octobre 2019) ;
– répartition des Écrevisses et Bivalves d'eau douce (Vri-gnaud *et al.* 2015) (<http://www.auvergne-rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/resultats-de-l-enquete-participative-de-a8869.html>, dernière consultation le 1^{er} octobre 2019), la DREAL a initié un projet plus ambitieux visant un groupe d'espèces réputé difficile et encore largement méconnu : les Lichens forestiers à l'échelle du Massif central.

Plusieurs éléments afférents aux connaissances disponibles sur ces espèces, au réseau d'acteurs locaux et au territoire d'étude ont motivé le choix des Lichens forestiers pour ce

troisième projet. En effet, même si un travail considérable a été réalisé par l'Association française de lichénologie (AFL) sous l'impulsion de Claude Roux, les connaissances portant sur la diversité et la répartition de la lichénofonge en France demeurent lacunaires. À titre d'illustration, le volume de données disponibles au niveau national sur le portail de l'Inventaire national du Patrimoine naturel (INPN, <https://inpn.mnhn.fr/accueil/index>, dernière consultation le 1^{er} octobre 2019) concernant les Lichens était de seulement 25 000 au moment de la phase de préfiguration du projet d'enquête participative et selon une analyse réalisée récemment, les connaissances sur ce groupe d'espèces demeurent insuffisantes sur 99,9 % du territoire de la nouvelle région Auvergne-Rhône-Alpes (Witté & Touroult 2017). D'autre part, la DREAL n'étant pas une structure experte dans l'étude de la biodiversité, sa légitimité pour piloter un projet participatif naturaliste reposait sur la sélection de taxons peu étudiés sur le territoire et pour lesquels aucune structure ne jouait un rôle de référent au niveau régional. Or, au moment du montage du projet, les Lichens faisaient l'objet d'un notable manque d'intérêt et d'implication des différents réseaux d'acteurs (institutionnels, associatifs, gestionnaires d'espaces naturels à visée conservatoire ou productive, naturalistes, etc.) à l'échelle du Massif central, et la majorité des connais-

TABLEAU 1. — Composition du comité de suivi de l'enquête participative « Lichens forestiers du Massif central ».

Structures associées	Experts associés
Conservatoire botanique national du Massif central	Clother Coste, Docteur en lichénologie
DREAL Auvergne – Rhône-Alpes	Daniel Petit, Université de Limoges
Office national des forêts	Jonathan Signoret, ATMO Grand Est
Société mycologique, botanique et lichénologique d'Auvergne	–
Association française de lichénologie	–
UMS PatriNat (AFB-CNRS-MNHN)	–

sances actualisées disponibles à leur sujet reposait sur une petite dizaine d'experts locaux. Enfin, le Massif central est un territoire où les enjeux de connaissance et de conservation de la biodiversité sont largement localisés dans les milieux forestiers puisqu'il est couvert à 36 % de forêts (IPAMAC 2011), ce qui est nettement supérieur au taux national de 27 % (Diaz de Quijano *et al.* 2016). Une part significative de la biodiversité du Massif central est donc localisée dans ces milieux qui constitueraient 60 % des réservoirs de biodiversité potentielle (IPAMAC 2011). Le choix des Lichens forestiers comme objet d'étude pour ce troisième projet d'enquête participative permettait donc de répondre à des besoins de connaissance multi scalaires, au niveau national en produisant un jeu de données valides disponibles pour l'INPN, et au niveau régional s.l. en ciblant un type de milieu particulièrement bien représenté à l'échelle du Massif central et dans lequel se concentre un niveau élevé d'enjeux afférents à la conservation de la biodiversité. Ajoutons enfin qu'au moment du montage du projet, les initiatives en termes de communication et de vulgarisation scientifique auprès du grand public sur la diversité lichénologique étaient très peu nombreuses dans le territoire considéré.

L'implication de la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes dans le pilotage et la promotion de projets d'enquêtes participatives réalisés à grande échelle et dédiées à des groupes taxonomiques mal connus et généralement peu considérés par les naturalistes et les politiques publiques, s'inscrit depuis le début dans un triple objectif :

- collecter et valoriser des données d'observations sur des espèces peu connues sur le territoire afin d'améliorer la connaissance sur leur répartition ;
- favoriser les rapprochements entre les acteurs qu'ils soient institutionnels, scientifiques, techniques, naturalistes ou simplement citoyens sensibilisés ou non à la connaissance et à la conservation de la biodiversité ;
- faire connaître auprès des décideurs un pan méconnu de la biodiversité et initier une dynamique en faveur de sa prise en compte dans les politiques publiques.

Si ces trois objectifs ont été atteints lors de la mise en œuvre des deux précédents projets dédiés à la faune patrimoniale et invasive inféodée aux milieux aquatiques (Vrignaud *et al.* 2015), le projet portant sur les Lichens forestiers du Massif central avait l'ambition supplémentaire de collecter un jeu de données protocolées analysables en vue d'améliorer significativement les connaissances sur la distribution, les enjeux de conservation, l'écologie et le

rôle de marqueur environnemental des espèces ciblées par l'enquête. Ainsi, tandis que les projets précédents comportaient une ambition plus limitée concernant l'amélioration des connaissances, le projet dédié aux Lichens forestiers du Massif central s'est inscrit dans une démarche scientifique et pédagogique plus aboutie conçue grâce à une implication forte des différents partenaires. Le premier objectif afférent à la collecte et à la valorisation des données d'observation a donc été élargi dès la phase de conception du projet en choisissant des modalités d'animation et de collecte des données adaptées : formation des participants, processus de validation des données, protocole de levée de l'information, animation du projet et orientation des prospections, etc.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

GOUVERNANCE DU PROJET

Considérant ses propres limites scientifiques et l'ambition de s'appuyer sur un dispositif partenarial, la DREAL a constitué dès le départ un groupe de travail collégial dénommé « comité de suivi de l'enquête ». Sa composition visait à répondre à deux objectifs :

- s'entourer d'experts dans le domaine de la lichénologie afin d'opérer des choix pratiques et pertinents sur le plan scientifique et thématique ;
- rassembler des acteurs locaux associatifs et socio-professionnels capables de participer activement à la construction, la promotion et l'animation de l'enquête participative.

Ce comité s'est réuni pour la première fois en janvier 2015 et a participé à la conception et à la validation de l'ensemble des décisions concernant le protocole, l'accompagnement de l'enquête et la valorisation des résultats. Le Tableau 1 présente la constitution du comité de suivi de l'enquête (dont la composition a légèrement évolué au fil du projet).

DÉFINITION DE L'AIRE D'ÉTUDE

Initialement envisagée uniquement à l'échelle de la région Auvergne, l'enquête participative a rapidement été étendue à l'ensemble du Massif central tel que défini dans la Loi Montagne (Fig. 1), notamment grâce à l'implication du Conservatoire botanique national du Massif central et du comité de suivi dans son ensemble.

CHOIX DES TAXONS CIBLÉS PAR L'ENQUÊTE PARTICIPATIVE

La sélection des taxons à rechercher au cours de l'enquête participative s'est basée sur trois critères principaux :

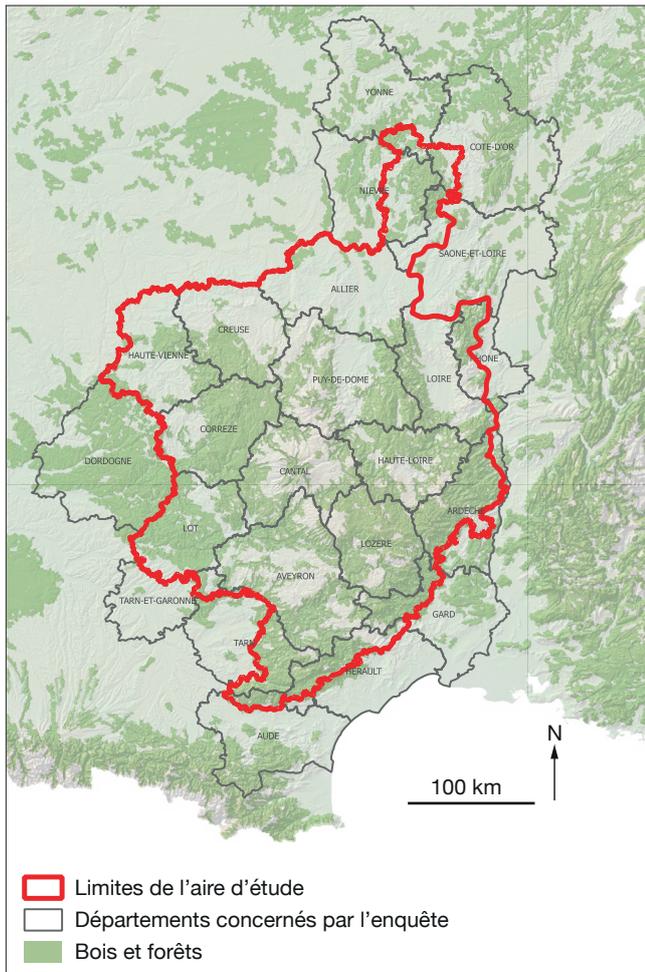


Fig. 1. — Aire d'étude du projet, fonds IGN (BD Carto, BD Forêt, BD Alti).

- la simplicité de détermination macroscopique: le choix s'est porté sur des taxons dont la reconnaissance pouvait aisément être faite par des néophytes moyennant quelques indications simples, afin de minimiser le risque de déterminations erronées et de favoriser l'appropriation du sujet par le grand public;
- l'abondance ou la rareté: le choix de taxons rares visait à apporter des informations utiles pour améliorer les connaissances portant sur leur distribution et permettait également de stimuler les observateurs s'étant « pris au jeu »; le choix complémentaire de taxons très fréquents visait quant à lui à éviter un effet de découragement des observateurs qui aurait été à craindre si la plupart des prospections se soldaient par un bilan nul en termes d'observations des espèces cibles (ce qui aurait été largement le cas pour les observateurs prospectant en zone de plaine ou dans les milieux bocagers ou herbacés de moyenne montagne);
- le caractère bio-indicateur démontré ou supposé: il s'agissait de sélectionner des taxons dont l'observation serait susceptible d'apporter des informations sur l'environnement (fonctionnalité écologique, qualité des milieux, réchauffement climatique, etc.).

Le Tableau 2 et la Figure 2 présentent la liste des taxons ciblés par l'enquête participative. Pour des raisons pratiques d'identification sur le terrain deux taxons ont été proposés au niveau du genre. Le choix de conserver ces deux taxons parmi les espèces cibles malgré l'existence de possibles difficultés d'identification des individus jusqu'au niveau spécifique reposait sur l'abondance relativement élevée de ces deux genres sur le territoire d'étude et sur leur caractère indicateur supposé.

DÉFINITION DU PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE ET DES PARAMÈTRES ÉCOLOGIQUES À RELEVÉ

En complément du choix des espèces ciblées par l'enquête participative, les paramètres écologiques à relever avec les données d'occurrence et le type d'échantillonnage du territoire devaient être précisés afin de constituer un jeu de données permettant de répondre aux objectifs d'amélioration des connaissances portant sur l'autécologie des espèces, sur leur rôle de marqueur environnemental et de mettre en évidence certains enjeux de conservation. Comme pour les espèces, les impératifs liés au mode « participatif » de collecte des données ont conduit vers des choix volontairement économes, partant du principe qu'un protocole trop contraignant sur les plans qualitatif et quantitatif posait deux problèmes principaux. D'une part il risquait de fortement limiter la participation du public, ou de conduire à une érosion plus ou moins rapide de la motivation des participants et aurait donc eu une influence négative sur la quantité de données collectées. D'autre part il risquait d'être vecteur de difficultés méthodologiques, notamment liées au partage des définitions (notions d'abondance, d'écosystèmes, paramètres écologiques, etc.) et au calage des méthodes de relevés (possibilités de formation des observateurs recrutés limitées) et aurait donc eu une influence négative sur la qualité des données collectées.

En conséquence, l'échantillonnage du territoire d'étude n'a pas été orienté au départ et s'approche donc d'un type opportuniste: les zones prospectées dépendent des parcours des participants (promenade, sorties naturalistes ou cadre professionnel selon leur origine). Cependant, l'animation du projet a par la suite permis de faire légèrement évoluer le plan d'échantillonnage vers un cadre semi-directif en transmettant mensuellement aux participants des informations sur les zones prospectées et non prospectées et en les incitant à rechercher les espèces cibles dans les zones non prospectées au moyen de cartes de synthèse et d'un bulletin de liaison (voir partie « Animation du projet »).

Les informations écologiques et d'abondance associées aux relevés ont quant à elles été limitées à une caractérisation sommaire du type de milieu où les espèces ont été observées (basée sur une typologie généraliste), à la détermination plus ou moins précise du phorophyte et à une approche simplifiée de l'abondance du taxon. Le choix de ne retenir que ces trois informations complémentaires a permis de concevoir un protocole simplifié concernant la levée d'informations associées aux données d'occurrence des espèces. La géolocalisation de chaque relevé permettant notamment de mobiliser ultérieurement d'autres données environnementales (voir paragraphe suivant). Le Tableau 3 présente les trois paramètres qu'il était demandé de renseigner avec les données d'occurrence.

TABLEAU 2. — Liste des taxons ciblés par l'enquête participative.

Taxons	Intérêt pour l'enquête
<i>Lobaria pulmonaria</i> (L.) Hoffm.	Espèce phare du projet, potentiellement menacée en France (Roux <i>et al.</i> 2017), indicatrice de milieux forestiers peu perturbés et d'une bonne qualité de l'air. Reconnaisable très facilement.
<i>Lobaria scrobiculata</i> (Scop.) DC.	Espèce phare du projet, potentiellement menacée (Roux <i>et al.</i> 2017), indicatrice de milieux forestiers peu perturbés et d'une bonne qualité de l'air. Reconnaisable très facilement.
<i>Sphaerophorus globosus</i> (Huds.) Vain.	Espèce localisée sur le territoire d'étude, présente à la base des troncs de feuillus ou d'Abies (Roux <i>et al.</i> 2017) et témoin d'une bonne qualité de l'air. Reconnaisable assez facilement.
<i>Sphaerophorus fragilis</i> (L.) Pers.	Espèce localisée dans le territoire d'étude, limitée aux étages montagnards supérieurs et subalpins (Roux <i>et al.</i> 2017). Reconnaisable assez facilement.
<i>Xanthoria parietina</i> (L.) Th. Fr.	Espèce très commune (Roux <i>et al.</i> 2017) et ubiquiste sur le territoire d'étude. Reconnaisable très facilement.
<i>Flavoparmelia</i> Hale	Genre fréquent sur le territoire d'étude (en particulier <i>F. caperata</i>), indicateur supposé du réchauffement climatique (Søchting 2004). Reconnaisable facilement au niveau du genre.
<i>Usnea</i> Dill. ex Adans.	Genre fréquent sur le territoire d'étude (en particulier en montagne), indicateur d'une bonne qualité de l'air et forte sensibilité à la pollution au dioxyde de soufre (Van Haluwyn <i>et al.</i> 2009). Reconnaisable très facilement au niveau du genre.
<i>Ramalina fraxinea</i> (L.) Ach.	Espèce sente dans toute la France (Roux <i>et al.</i> 2017), indicatrice d'une atmosphère non polluée par les oxydes de soufre (Dobson 2005). Reconnaisable assez facilement.

CHOIX DES DONNÉES ENVIRONNEMENTALES EXTERNES MOBILISÉES POUR LES ANALYSES

En complément des trois paramètres qui étaient demandés aux observateurs avec les données d'occurrence des taxons, le choix a été fait d'utiliser des données environnementales provenant de bases de données externes pour améliorer les connaissances portant sur l'autécologie des espèces. Deux paramètres climatiques (la pluviométrie annuelle moyenne et la température annuelle moyenne) et un paramètre topographique (l'altitude) ont ainsi été retenus pour être utilisés lors des analyses du jeu de données. Le choix de ces paramètres reposait à la fois sur leur intérêt par rapport à l'objet d'étude et aux objectifs du projet, à leur niveau de précision (résolution des données), à leur actualisation et à leur disponibilité. Le Tableau 4 présente les données externes utilisées et leur origine.

COLLECTE DES DONNÉES

L'expérience acquise lors des précédentes enquêtes avait permis d'identifier que l'un des « maillons faibles » de ce type de programme impliquant le grand public provenait du caractère généralement peu fonctionnel et ergonomique des outils de saisie et de collecte des données. Pour cette édition, une solution plus aboutie que les fichiers tableurs ou les enquêteurs web usuellement utilisés a donc été adoptée grâce à la collaboration de l'UMS PatriNat (AFB-CNRS-MNHN) qui a développé spécialement pour l'enquête participative un site internet basé sur le système de gestion de contenu WordPress : <http://enquetelichensauvergne.mnhn.fr> (dernière consultation le 1^{er} octobre 2019). Ce dernier a ainsi pu être facilement mis à jour au fil des besoins du projet.

Dans l'objectif de constituer une base de données standardisée et homogène directement issue des informations saisies par les utilisateurs, l'outil de saisie des données déployé sur le site internet permettait de :

- géolocaliser les relevés par saisie manuelle (pointage sur un fond cartographique ou report des coordonnées GPS dans des champs dédiés), ou par récupération de la localisation lors d'une utilisation sur smartphone ;
- joindre une photographie à chaque observation, optimisant ainsi les possibilités de validation par la suite ;
- sélectionner les espèces cibles parmi une liste fermée (thésaurus) ;
- ajouter d'autres espèces via un champ de texte libre.

VALIDATION DES DONNÉES

En vue de s'assurer de la validité des données récoltées dans le cadre de l'enquête participative et de garantir un niveau élevé de justesse des travaux d'analyse et de valorisation de la base de données constituée, toutes les données ont fait l'objet d'un processus de validation défini avec l'appui du comité de suivi et l'UMS PatriNat.

Une équipe de vérificateurs issus de différentes structures du comité de suivi et disposant de compétences avancées en lichénologie a été mise en place. Chaque vérificateur s'est vu attribuer un ou plusieurs départements du territoire concerné par le programme et était le seul responsable de la validation des données réalisées sur ce territoire. Les deux représentants de l'Association française de Lichénologie (AFL) et de la Société mycologique, botanique et lichénologique d'Auvergne (SMBLA) – Christian Hurtado et Marcel Peyroche – ont assuré le rôle de référents scientifiques pour confirmer ou infirmer les données incertaines de l'ensemble du territoire d'étude et pour faire le lien avec les autres experts de l'AFL en cas de besoin.



FIG. 2. — Taxons ciblés par l'enquête participative. **A**, *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.; **B**, *Lobaria scrobiculata* (Scop.) DC.; **C**, *Sphaerophorus globosus* (Huds.) Vain.; **D**, *Sphaerophorus fragilis* (L.) Pers.; **E**, *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr.; **F**, *Flavoparmelia caperata* (L.) Hale; **G**, *Usnea dasypoga* (Ach.) Nyl.; **H**, *Ramalina fraxinea* (L.) Ach. Crédits photos: M. Chouillou (A, E), C. Hurtado (B, G, H), D. Happe (C), F. Peyrissat (D) & R. Poncet (F).

TABLEAU 3. — Paramètres écologiques définis dans le cadre de l'enquête.

Paramètre	Modalités de relevé et typologies
Caractérisation physionomique sommaire du milieu	Typologie prédéfinie : – forêt ; – bosquet ou petit bois ; – lisière ; – haie ou alignement d'arbre ; – arbre isolé ; – espace vert ou parc ou jardin ; – autre (à préciser).
Nature du support porteur du lichen	Typologie prédéfinie : – arbre feuillu ; – arbre résineux ; – arbuste ; – branche au sol ; – autre (à préciser). Dans le cas des arbres et arbustes, détermination optionnelle du genre, voire de l'espèce était rendue possible.
Nombre de supports concernés autour du relevé	Catégories d'abondance prédéfinies, reposant sur une analyse visuelle autour du premier phorophyte porteur des espèces ciblées observé : – aucun autre support porteur du taxon n'est visible depuis le point de relevé ; – 1 à 5 autres supports porteurs du taxon sont visibles depuis le point de relevé ; – plus de 5 supports porteurs du taxon sont visibles depuis le point de relevé.

TABLEAU 4. — Données externes utilisées pour l'analyse.

Données	Base de données	Fournisseurs
Pluviométrie (résolution de 1 km pour les précipitations)	DIGITALIS (BD Digitalis)	Laboratoire d'Étude des Ressources Forêt-Bois (AgroParisTech-LERFOB)
Température (résolution de 50 m pour les températures annuelles)	DIGITALIS (BD Digitalis)	Laboratoire d'Étude des Ressources Forêt-Bois (AgroParisTech-LERFOB)
Altitude (résolution de 70 m)	BD Topo	Institut Géographique National (IGN)

Les vérificateurs se sont en priorité basés sur la photographie jointe à l'observation via l'outil de saisie en ligne pour la validation des données ainsi que sur la cohérence avec les paramètres écologiques de la station (type de milieu, relief, altitude, support, etc.). Si nécessaire, ils ont demandé aux participants des photographies supplémentaires. Notons que l'ajout d'une photographie n'était pas obligatoire pour chaque donnée, mais qu'en début d'enquête et en particulier lors des formations, l'accent a fortement été mis sur l'intérêt de ce support pour la validation des données. Par la suite, les vérificateurs ont pu davantage mettre à profit l'expérience acquise par les participants en cours de programme (notamment sur les espèces communes) pour alléger le processus de validation. Les espèces patrimoniales et/ou rares ont cependant été systématiquement validées sur photo, avec si besoin un retour sur site.

En cas de détection de donnée erronée, les vérificateurs avaient pour consigne de communiquer à l'observateur concerné le rejet de la donnée, et lorsque cela était possible d'indiquer la détermination correcte de l'espèce.

ANIMATION DU PROJET

Recrutement des participants

La promotion de l'enquête participative a été réalisée via plusieurs canaux et médias orientant les personnes intéressées

vers une interface d'inscription dédiée (formulaire en ligne). En premier lieu, une plaquette d'information synthétique a été conçue et diffusée vers différents réseaux d'acteurs, notamment ceux issus des précédentes opérations du même genre portées par la DREAL Auvergne en 2013 et 2014. Les différents partenaires impliqués ont également été mobilisés en vue de permettre une diffusion large et rapide au sein des communautés naturalistes et forestières qui représentaient les principaux publics visés par le projet. En second lieu, ce mode de recrutement a été doublé d'une communication par voie de presse locale (Bourges 2015 et France 3, 16 février 2016) et par des diffusions d'articles sur des plateformes en ligne spécialisées telles que Tela Botanica. Enfin, la mise en place d'une page dédiée sur le site internet de la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes et de brèves sur les sites des partenaires renvoyant vers celle-ci a complété les outils visant à faire connaître le projet à un public potentiellement intéressé par ce sujet.

La DREAL Auvergne-Rhône-Alpes a également mis à profit plusieurs colloques ou séminaires en y présentant le projet et son état d'avancement (Assises nationales de la Biodiversité à Clermont-Ferrand en septembre 2016, Rencontres nationales des Sciences participatives à Merlieux en octobre 2016, Plan Biodiversité du Parc naturel régional du Livradois-Forez en février 2016).

Formation des participants

Un guide pratique de l'enquête (DREAL Auvergne-Rhône-Alpes 2015) a été conçu au format A4 en papier plastifié relié (utilisable sur le terrain) et diffusé à un maximum de participants. Il comportait :

- un glossaire illustré des éléments de base du vocabulaire utilisé en lichénologie ;
- une série de fiches pratiques illustrées pour l'identification des espèces cibles du projet ;
- la présentation de la fiche de saisie (formulaire à photocopier ou à utiliser en ligne sur le site dédié au projet).

En plus de la diffusion de ce support pédagogique, les participants ont été invités à participer à une demi-journée de formation dispensée par un expert lichénologue. Trois sessions réparties géographiquement en Auvergne ont été organisées en début de projet entre le 22 et le 29 septembre 2015 : au Mont-Dore (63) dans le massif du Sancy, à Coindre (15) dans les gorges de la Rhue, et à Chavaniac-Lafayette (43) dans les monts du Livradois. Puis, afin de former les participants inscrits plus tardivement (sous l'effet de la couverture régulière du programme par les médias locaux notamment), et d'accompagner l'élargissement du partenariat initial (implication du PNR Livradois-Forez, ouverture vers l'ex-région Rhône-Alpes), deux sessions supplémentaires ont été organisées le 5 avril 2016 à la Chamba (42).

Les formations se sont toutes déroulées de la façon suivante :
– un premier temps théorique en salle consacré à une introduction à l'étude des Lichens, à la présentation du projet d'enquête participative et à une démonstration de l'outil de saisie ;
– un second temps sur le terrain consacré à l'observation *in situ* d'un minimum de quatre à cinq espèces ciblées par le projet et à une mise en pratique par les participants qui étaient encadrés et conseillés par les organisateurs de l'enquête : confusions à éviter, critères de reconnaissance, conseils photographiques en vue de la validation des données, etc.

Au-delà de ces différents dispositifs spécifiquement prévus pour la formation, le maintien ou la montée en compétence des participants a reposé de manière significative sur l'animation en continu du réseau d'observateurs, notamment via le bulletin de liaison (présenté ensuite), et sur l'assistance apportée par les experts chargés de valider les données et de répondre aux questions transmises par les observateurs durant toute la durée de l'enquête.

Soutien de la dynamique en cours de projet

Après la vague d'intérêt qui suit généralement le lancement d'un projet, l'un des risques importants d'une opération basée sur une démarche participative réside dans la baisse plus ou moins rapide de la participation des acteurs qui ont montré de l'intérêt pour le sujet. Il est de fait apparu incontournable de rechercher des solutions efficaces pour animer le projet en vue de faire perdurer la dynamique initiale pendant la totalité de la durée de l'opération. Le choix des méthodes et outils déployés s'est donc articulé autour de la question du rythme (apport régulier d'informations et de nouveautés tout en veillant à éviter la saturation du public) et des vecteurs (messages collectifs, accompagnement individuel).

Du point de vue collectif, l'essentiel de l'animation a été réalisé via l'envoi aux participants d'un bulletin de liaison mensuel dématérialisé (fichier PDF envoyé par courriel et téléchargeable sur le site du projet). Ce support réalisé par la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes avait notamment pour vocation de proposer un retour sur le déroulé du mois précédent (progression du nombre d'observations, chiffres clés, faits marquants, etc.), de diffuser des consignes pratiques (note sur les erreurs d'identification fréquentes, orientations pour l'amélioration de la qualité des relevés, ciblage de secteurs à prospecter, espèces à rechercher, etc.), ou encore de proposer des témoignages d'acteurs (participants ou institutions) et des notes sur les nouvelles connaissances liées à la lichénologie visant à informer les participants les plus désireux d'en apprendre plus.

Véritable plateforme centrale pour l'animation du projet, le site internet <http://enquetelichensauvergne.mnhn.fr> (dernière consultation le 1^{er} octobre 2019) qui hébergeait l'interface de saisie des observations a également été utilisé pour stocker les bulletins de liaison, la documentation liée à l'enquête participative (guide du participant, fiches de reconnaissances, contacts utiles, etc.) ainsi qu'un lot conséquent de références bibliographiques utiles. Mais au-delà de son utilisation comme espace de stockage, le site a été également largement utilisé comme outil d'animation fonctionnel pour orienter les prospections : publication mensuelle d'une carte de la pression d'observation, visualisation des données récoltées, recherches ciblées (exemple : confirmation des données historiques), etc.

Sur un plan plus personnalisé, le processus de validation des données comprenait un élément recommandé par le comité de suivi : le retour systématique vers l'observateur en cas de doute exprimé par celui-ci ou d'erreur de détermination. Ainsi, chaque expert vérificateur a systématiquement informé de manière personnalisée tout observateur ayant commis une confusion ou une erreur, afin que celui-ci puisse en tenir compte pour ses prochaines observations.

Par ailleurs, en cours de programme (à partir du mois d'avril 2016), un portail cartographique web a été mis en place sur le site internet afin que chacun puisse consulter en direct la localisation des données et l'état de leur validation. Ce système visait notamment à répondre à la préoccupation d'une partie des observateurs désireux de savoir si leurs données étaient bien reçues et prises en compte. Cette interface cartographique comprenait deux modules complémentaires :

- un module simple basé sur Google Maps, intégré en page d'accueil du site internet qui était mis à jour en temps réel et permettait une navigation rapide et une interrogation des données (Fig. 3A) ;

- un module complet basé sur la technologie web utilisée dans les DREAL pour la mise à disposition et la diffusion de données naturalistes (https://carto.datar.gouv.fr/1/dreal_nature_paysage_r82.map, dernière consultation le 8 octobre 2019), qui permettait de réaliser des requêtes plus complexes (recherche d'une localisation, filtre par espèce, recherche de ses propres données, etc.) (Fig. 3B).

La mise en place de ces outils visait également à stimuler l'intérêt des participants et à les orienter en leur permettant d'identifier plus facilement des secteurs dépourvus de relevés.

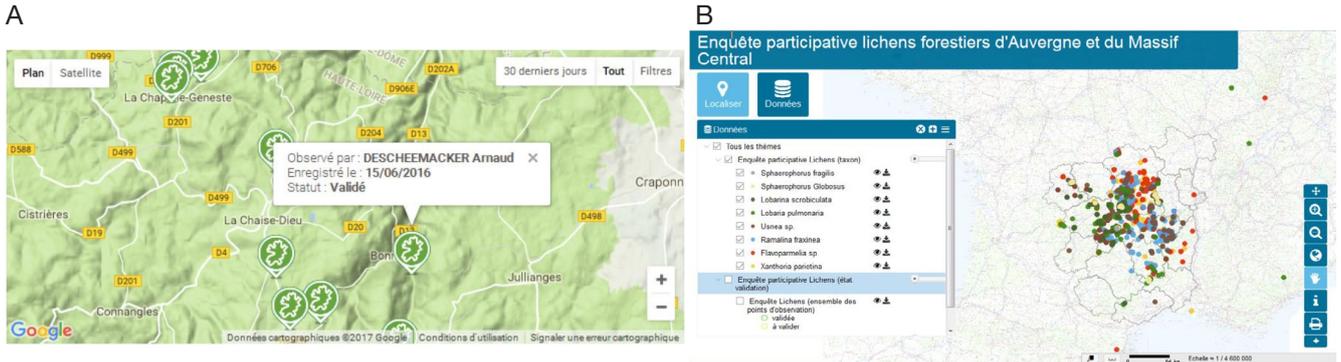


FIG. 3. — Aperçu des outils cartographiques web simple (A) et élaboré (B) de visualisation des données en cours d'enquête.

ANALYSE DES DONNÉES

Toutes les analyses ont été effectuées avec le logiciel R version 3.3.1 (R Core Team 2016). Elles ont visé à préciser l'autécologie des espèces, leur caractère indicateur et leur distribution potentielle.

Les distributions de *preferendum* climatiques entre les différents taxons (températures annuelles moyennes et les précipitations annuelles) ont été comparées par analyse de la variance à un facteur. La normalité des résidus, l'homoscédasticité entre les groupes et l'indépendance entre les données ont été diagnostiquées graphiquement afin de valider les modèles. Afin de déterminer les différences de moyenne entre les taxons, des tests de comparaison t de Student multiples ont été effectués. Les valeurs p des tests ont été corrigées par la correction de Bonferroni. Les valeurs présentées pour les distributions de températures moyennes et pluviométrie dans le texte correspondent à la valeur moyenne pour ce taxon plus ou moins l'intervalle de confiance de la moyenne à 95 %.

La répartition en fonction des milieux (e.g. forêts, lisières, haies, bois) a été comparée pour chacun des taxons. Des tests du χ^2 d'homogénéité ont été utilisés pour identifier l'existence de déséquilibres dans l'abondance des différents taxons en fonction de leurs supports. Des tests de comparaison de proportions multiples avec corrections de Bonferroni ont ensuite été utilisés lorsque le χ^2 montrait une non-homogénéité dans la répartition des taxons.

RÉSULTATS

FIABILITÉ ET VOLUME DES DONNÉES COLLECTÉES

Le premier objectif de l'enquête était d'améliorer les connaissances portant sur la répartition des taxons cibles de l'enquête dans le Massif central. Au total, 2851 données d'observations concernant les espèces cibles ont pu être collectées (Fig. 4) parmi lesquelles 2752 (soit 96,5 %) ont été validées. De plus, 136 données d'observation collectées pour 55 autres taxons ont aussi été transmises par les participants.

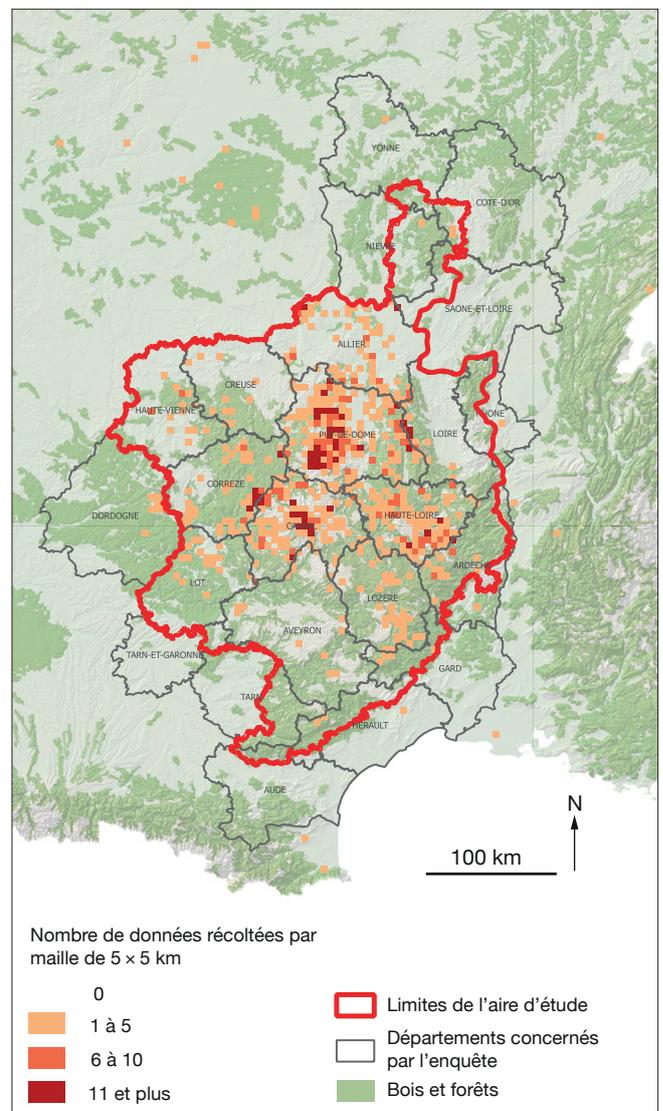


FIG. 4. — Carte de la pression d'observation représentée par maille de 5x5 km; fonds IGN (BD Carto, BD Forêt, BD Alt). L'intensité de la couleur représente le nombre de données récoltées par maille.

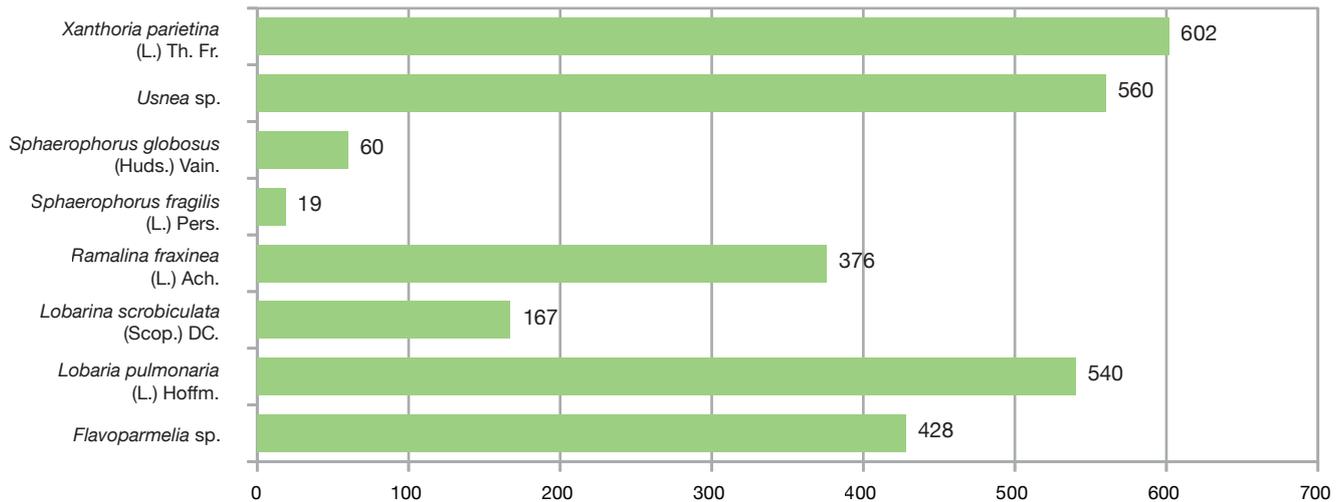


FIG. 5. — Nombre de données validées récoltées par taxon (n=2752).

Les volumes de données transmises par les participants diffèrent largement selon les espèces (Fig. 5), avec un minimum de données valides transmises pour *Sphaerophorus fragilis* (19) et un maximum pour *Xanthoria parietina* (602). On constate par ailleurs que *Lobaria pulmonaria*, espèce phare du programme, a fait l'objet d'une recherche assez intensive par les participants puisque 540 données ont été transmises pour cette espèce qui est relativement peu fréquente à l'échelle du Massif central.

Il est intéressant de noter que le taux de validation des données a été supérieur à 94 % pour cinq des huit taxons cibles avec un taux de validation maximal (99,4 %) pour les données relatives à *Lobaria pulmonaria*. Tandis que pour les espèces présentant un port arbusculaire (espèces du genre *Sphaerophorus*), le taux de validation était moins élevé (81,2 % en moyenne) compte-tenu des nombreuses confusions avec des Lichens terricoles du genre *Cladonia*.

AMÉLIORATION DES CONNAISSANCES SUR LA CHOROLOGIE DES ESPÈCES CIBLES DU PROJET

La plus-value de l'enquête concernant l'amélioration des connaissances sur la répartition des espèces à l'échelle du Massif central a pu être notamment évaluée en confrontant les données collectées durant l'enquête aux cartes de répartition départementale publiées dans le Catalogue des Lichens de France (Roux *et al.* 2017), témoin de l'état de la connaissance au moment de sa publication.

Concernant les taxons cibles, cinq observations collectées ont été des premières mentions ou premières mentions récentes (postérieures à 1959 selon les critères retenus dans Roux *et al.* (2017)) dans plusieurs départements du Massif central. Ainsi, pour le département de la Loire (42), l'enquête a permis d'inventorier pour la première fois *Lobaria pulmonaria* et *Sphaerophorus globosus*. Dans les départements de l'Allier (03) et de la Haute-Loire (43), *Lobaria pulmonaria* n'avait pas été observé au moins depuis 1959.

À une échelle plus locale et à altitude comparable, l'enquête a également permis de révéler que *Lobaria pulmonaria* demeurerait par exemple beaucoup plus fréquent dans le Massif du Sancy que dans la Chaîne des Puys.

DONNÉES D'OCCURRENCE DES ESPÈCES NON CIBLES

Si la plupart des données opportunistes visant des espèces non cibles portaient sur des Lichens communs, quelques données se rapportaient à des espèces patrimoniales. En effet, parmi les 55 autres espèces inventoriées, neuf ont été évaluées comme menacées ou quasi-menacées dans le catalogue des Lichens de France (Roux *et al.* 2017) :

- *Calicium notarissii* (Tul.) M. Prieto & Wedin ;
- *Cladonia cariosa* (Ach.) Spreng. ;
- *Lobaria amplissima* (Scop.) Forssell ;
- *Lobaria virens* (With.) J.R. Laundon ;
- *Sticta fuliginosa* (Dicks.) Ach. ;
- *Sticta limbata* (Sm.) Ach. ;
- *Sticta sylvatica* (Huds.) Ach. ;
- *Teloschistes chrysophthalmus* (L.) Th. Fr. ;
- *Usnea florida* (L.) Weber *ex* F.H. Wigg.

Parmi les observations collectées, plusieurs présentaient un intérêt notable, par exemple *Cladonia cariosa* (première mention récente dans le département du Puy-de-Dôme, Pinault *in* Collectif 2017) ou *Lobaria virens* (espèce évaluée en danger selon Roux *et al.* [2017]).

AUTÉCOLOGIE DES ESPÈCES CIBLES

Les résultats d'analyses qui portent sur l'autécologie des taxons ciblés par l'enquête sont résumés ci-après. Concernant le genre *Usnea*, compte-tenu du grand nombre d'espèces au sein du genre et de leur autécologie diversifiée, il n'a pas été possible de restituer des résultats globaux pertinents pour l'ensemble des usnées. À l'inverse, concernant le genre *Flavoparmelia*, le comité d'experts estime qu'une très grande majorité des données collectées sont à rattacher à *Flavoparmelia caperata* (L.) Hale. Il nous est donc apparu pertinent de présenter les résultats ci-après à l'échelle du genre en considérant qu'ils doivent plutôt refléter l'autécologie de cette dernière espèce.

Preferendum climatiques

L'analyse de la pluviométrie annuelle moyenne des localités où ont été observées les espèces cibles (Fig. 6A) permet de

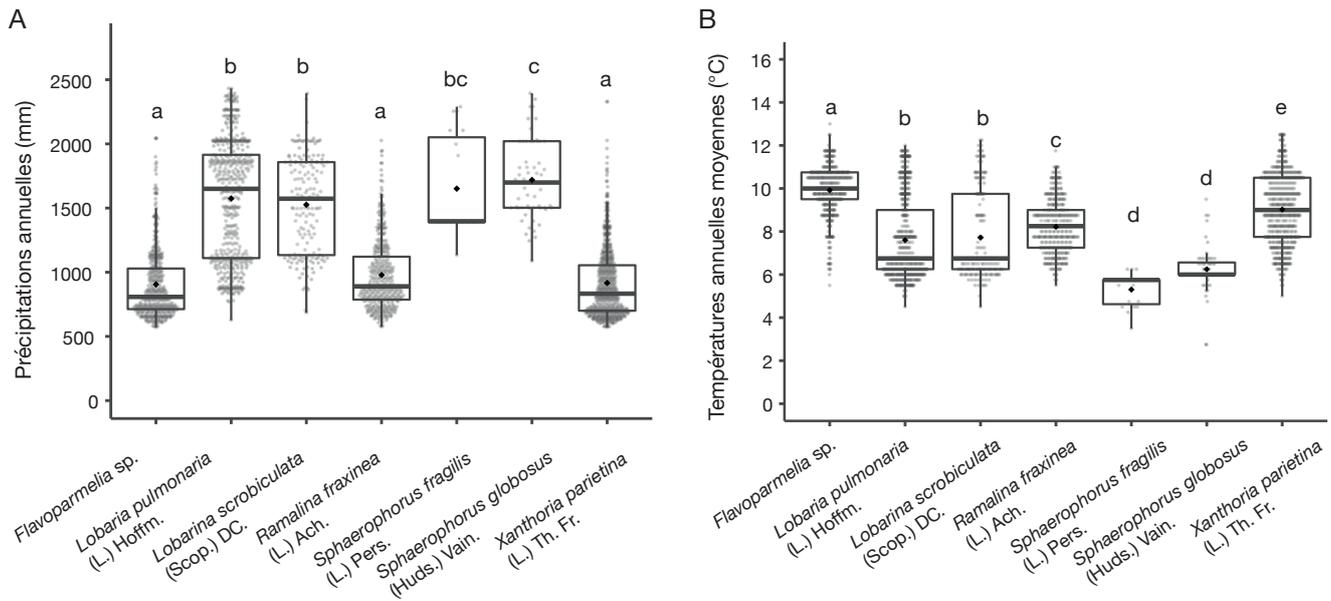


FIG. 6. — Boîtes à moustaches représentant : (A) la distribution des taxons cibles selon les précipitations annuelles moyennes en mm ($F=302$, $ddl=6$, $P<0,001$), et (B) la distribution des taxons cibles selon les températures annuelles moyennes en °C ($F=141$, $ddl=6$, $P<0,001$). Des lettres différentes montrent des différences significatives entre les moyennes de distribution des différents taxons au seuil $\alpha=0,05$. Les losanges noirs correspondent aux moyennes des échantillons.

constater que celles-ci se répartissent en trois groupes distincts au sein desquels la distribution de chaque taxon ne diffère pas significativement des autres ;

- le premier est constitué d'espèces présentes principalement dans des localités qui reçoivent en moyenne les précipitations annuelles moyennes les plus basses : *Flavoparmelia* sp. (905 ± 27 mm), *Ramalina fraxinea* (978 ± 28 mm) et *Xanthoria parietina* (916 ± 23 mm). On peut noter que ces trois taxons ont majoritairement été observés dans des conditions de précipitations variant relativement peu, mais qu'elles peuvent cependant être assez fréquemment observées dans des stations à pluviosité nettement supérieure pouvant avoisiner les 2000 mm d'eau par an ;
- le second groupe est constitué d'espèces présentes dans des localités plus arrosées annuellement : *Lobaria pulmonaria* (1574 ± 39 mm), *Lobarina scrobiculata* (1526 ± 57 mm) et *Sphaerophorus fragilis* (1651 ± 175 mm). Toutes montrent une plasticité plus limitée en direction d'une réduction des précipitations annuelles moyennes. Cependant, au sein de ce groupe, les deux Lobariaceae ont été observées dans des conditions de précipitation variant davantage (minimums respectifs de 627 mm et 685 mm ; maximums de 2432 mm et 2394 mm) et selon une distribution qui semble bi-modale. À l'inverse, *S. fragilis* semble plus restreinte sur le gradient de pluviométrie (minimum 1134 mm ; maximum 2290 mm). Le rattachement de *S. fragilis* à ce groupe pourrait s'expliquer par son faible nombre d'occurrence dans l'échantillonnage et il serait donc nécessaire d'augmenter le nombre d'observations de ce taxon pour confirmer cette absence de différence ;
- le dernier groupe est formé par *S. fragilis* et *S. globosus* (1719 ± 76 mm). Ce groupe est celui ayant la distribution moyenne la plus haute et la plus restreinte sur le gradient de précipitations annuelles.

L'analyse des températures annuelles moyennes des localités où ont été observées les espèces cibles (Fig. 6B) permet de constater que celles-ci se répartissent en cinq groupes au sein desquels les taxons ne diffèrent pas significativement entre eux :

- le premier groupe est formé par le genre *Flavoparmelia* sp. avec la moyenne de températures la plus élevée parmi les taxons relevés dans l'enquête ($9,9 \pm 0,1^\circ\text{C}$ en moyenne). Sa distribution sur le gradient de température moyenne annuelle semble suivre une loi normale ;
- le second groupe est constitué par les deux Lobariaceae. *L. pulmonaria* et *L. scrobiculata* sont les deux espèces qui ont été observées dans le plus large gradient de température et les moyennes des températures de localités où elles ont été observées sont très similaires et plutôt fraîches (respectivement : $7,6 \pm 0,2^\circ\text{C}$ et $7,7 \pm 0,3^\circ\text{C}$ en moyenne). Comme pour la pluviométrie, ces deux espèces semblent se distribuer selon une loi normale multimodale avec au moins deux modes principaux, le principal étant situé aux alentours de $6,3^\circ\text{C}$, et le second, moins marqué autour de $10,4^\circ\text{C}$;
- le troisième groupe est constitué uniquement de *Ramalina fraxinea*. L'amplitude couverte par ce taxon est, là encore, relativement importante (de $5,5$ à $11,8^\circ\text{C}$), et les données sont distribuées de manière proche d'une loi normale, avec une moyenne qui s'établit à $8,2 \pm 0,1^\circ\text{C}$;
- le quatrième groupe est constitué des deux Sphaerophora-ceae. Ces deux taxons, qui ont été retrouvés dans les localités les plus froides en moyenne ($5,3 \pm 0,4^\circ\text{C}$ pour *S. fragilis*, et $6,2 \pm 0,3^\circ\text{C}$ pour *S. globosus*), sont également celles dont la distribution est la plus resserrée sur le gradient de température ;
- le dernier groupe est formé par le seul taxon *Xanthoria parietina* que l'on retrouve sur une amplitude assez large (entre 5°C et $12,5^\circ\text{C}$ avec une moyenne à $9 \pm 0,1^\circ\text{C}$). La

TABLEAU 5. — Proportion des sept taxons au sein des types physiologiques de milieu; comparaison avec un test du χ^2 suivi de comparaisons multiples par des tests du χ^2 avec correction de Bonferroni, des lettres différentes correspondent à des différences significatives pour les différents milieux au sein d'un même taxon au seuil $\alpha = 0,05$.

Taxons	N	Proportion par milieu \pm IC 95 % (%)							
		Autres	Espaces verts	Arbres isolés	Alignements d'arbres	Bois	Lisières	Forêts	
<i>Flavoparmelia</i> sp.	411	3,2 ^b \pm 1,7	3,2 ^b \pm 1,7	3,6 ^b \pm 1,8	13,4 ^{ab} \pm 3,3	14,1 ^{ab} \pm 3,4	28,7 ^a \pm 4,4	33,8 ^a \pm 4,6	
<i>Lobaria pulmonaria</i> (L.) Hoffm.	522	0,8 ^c \pm 0,8	0,2 ^c \pm 0,4	0,2 ^c \pm 0,4	1,5 ^c \pm 1,0	1,9 ^c \pm 1,2	28,0 ^b \pm 3,8	67,4 ^a \pm 4,0	
<i>Lobarina scrobiculata</i> (Scop.) DC.	167	0,6 ^c \pm 1,2	0,6 ^c \pm 1,2	1,8 ^c \pm 2,0	1,8 ^c \pm 2,0	4,8 ^c \pm 3,2	32,3 ^b \pm 7,1	58,1 ^a \pm 7,4	
<i>Ramalina fraxinea</i> (L.) Ach.	376	3,5 ^d \pm 1,9	3,5 ^d \pm 1,9	14,4 ^{bc} \pm 3,5	45,2 ^a \pm 5,0	8,0 ^{cd} \pm 2,7	15,7 ^b \pm 3,7	9,8 ^c \pm 3,0	
<i>Sphaerophorus fragilis</i> (L.) Pers.	19	100	—	—	—	—	—	—	
<i>Sphaerophorus globosus</i> (Huds.) Vain.	60	11,7 ^b \pm 8,1	—	—	—	—	16,7 ^b \pm 9,4	71,7 ^a \pm 11,4	
<i>Xanthoria parietina</i> (L.) Th. Fr.	588	9,2 ^c \pm 2,3	6,6 ^{cd} \pm 2,0	14,3 ^b \pm 2,8	45,6 ^a \pm 4,0	8,2 ^{cd} \pm 2,2	11,9 ^{bc} \pm 2,6	4,2 ^d \pm 1,6	

distribution de ce taxon sur le gradient de température est également fortement étalée, avec de nombreuses occurrences au-delà de l'espace inter-quartile.

Répartition des taxons par types de milieu

L'analyse des types de milieu où ont été observées les espèces cibles permet de constater qu'elles montrent toutes des préférences écologiques relativement bien définies et qu'elles se répartissent en trois groupes distincts (Tableau 5).

Le premier est constitué d'espèces qui ont principalement été observées en milieux forestiers au sens large (bois, lisières, forêts) : *Lobaria pulmonaria*, *Lobarina scrobiculata*, *Sphaerophorus globosus* et *Flavoparmelia* sp. Au sein de ce groupe, on peut noter que les deux Lobariaceae montrent une forte spécialisation aux milieux forestiers au sens strict puisque ces taxons n'ont quasiment jamais été observés en dehors des forêts et de leurs lisières et que *S. globosus* montre quant à lui des préférences écologiques plus variable puisque cette espèce qui est majoritairement forestière (donc épiphyte) a aussi été observée dans plus de 11 % des cas sur roche (catégorie « autres »). De même, on constate que *Flavoparmelia* sp. a été observée dans une plus grande variété de milieux à dominante boisée que les autres taxons du groupe. Le deuxième groupe est constitué d'espèces majoritairement observées sur des phorophytes poussant en conditions plus ouvertes (alignements d'arbres, arbres isolés et lisières) : *Ramalina fraxinea* et *Xanthoria parietina*. Le troisième groupe est uniquement constitué de *Sphaerophorus fragilis* qui est la seule espèce à n'avoir jamais été observée en condition épiphyte, mais uniquement sur roche (catégorie « autres »), selon les informations complémentaires transmises par les observateurs.

Le genre *Flavoparmelia* sp. (Fig. 7A) a été observé de la plaine (166 m d'altitude) à l'étage montagnard (1352 m) avec une médiane (520 m) et une moyenne (535 \pm 12 m) situées à l'étage collinéen. La répartition altitudinale de ce taxon semble suivre une loi binomiale négative avec un pic à l'étage planitiaire et un au collinéen. Concernant les supports, ce taxon a été majoritairement observé sur *Quercus* sp. (45,2 \pm 2,4 % des occurrences) qui diffère significativement des autres supports (X^2 , $p < 0,001$).

Lobaria pulmonaria (Fig. 7B) a été observé de la plaine (181 m) à l'étage montagnard (1485 m) avec une médiane (1179 m) et une moyenne (1024 \pm 15 m) situées à l'étage montagnard. Concernant les supports, la répartition de cette espèce semble montrer deux modes, un premier dominé par *Quercus* sp. de la plaine à l'étage collinéen supérieur et un second dominé par *Fagus* sp. à l'étage montagnard. La rupture entre les deux se situe aux environs de 800 mètres d'altitude. Au total, l'espèce est retrouvée majoritairement sur *Fagus* sp. (52,9 \pm 2,2 % des occurrences) qui diffère significativement de tous les autres supports (X^2 , $p < 0,001$). Il est suivi par *Quercus* sp. (16,9 \pm 1,6 %) qui diffère lui aussi significativement de tous les autres supports (X^2 , $p < 0,001$).

Lobarina scrobiculata (Fig. 7C) a été observé de la plaine (170 m) à l'étage montagnard (1477 m) avec une médiane (1199 m) et une moyenne (1008 \pm 28 m) situées à l'étage montagnard. La distribution altitudinale de *L. scrobiculata* ne diffère pas significativement de celle de *Lobaria pulmonaria* (Mann-Whitney, $U = 44614$, $p = 0,6466$) et semble également être bi-modale avec une rupture aux environs 1000 mètres d'altitude. Le premier mode s'étend de la plaine à l'étage collinéen supérieur et est principalement dominé par des occurrences sur *Quercus* sp. Le second mode s'étend à l'étage montagnard et est principalement dominé par des occurrences sur *Fagus* sp. Au total l'espèce est retrouvée majoritairement sur *Fagus* sp. (55,7 \pm 3,8 % des occurrences) qui diffère significativement de tous les autres supports (X^2 , $p < 0,001$). Il est suivi par *Quercus* sp. (22,2 \pm 3,2 %) qui diffère lui aussi significativement de tous les autres supports (X^2 , $p < 0,001$).

Ramalina fraxinea (Fig. 7D) a été observé de la plaine (200 m) à l'étage montagnard (1470 m) avec une médiane (896 m) et une moyenne (875 \pm 13 m) situées à l'étage collinéen. On constate que la distribution altitudinale de l'espèce se rapproche d'une loi normale. Concernant les supports, cette espèce a été majoritairement observée sur *Fraxinus* sp. (49,7 \pm 2,6 % des occurrences) qui diffère significativement de tous les autres supports (X^2 , $p < 0,001$). Il est suivi par *Quercus* sp. (10,4 \pm 1,6 %) et *Salix* sp. (8,5 \pm 1,4 %) qui diffèrent eux aussi significativement des autres espèces d'arbres feuillus (X^2 , $p < 0,01$) mais pas des autres supports (X^2 , $p > 0,05$).

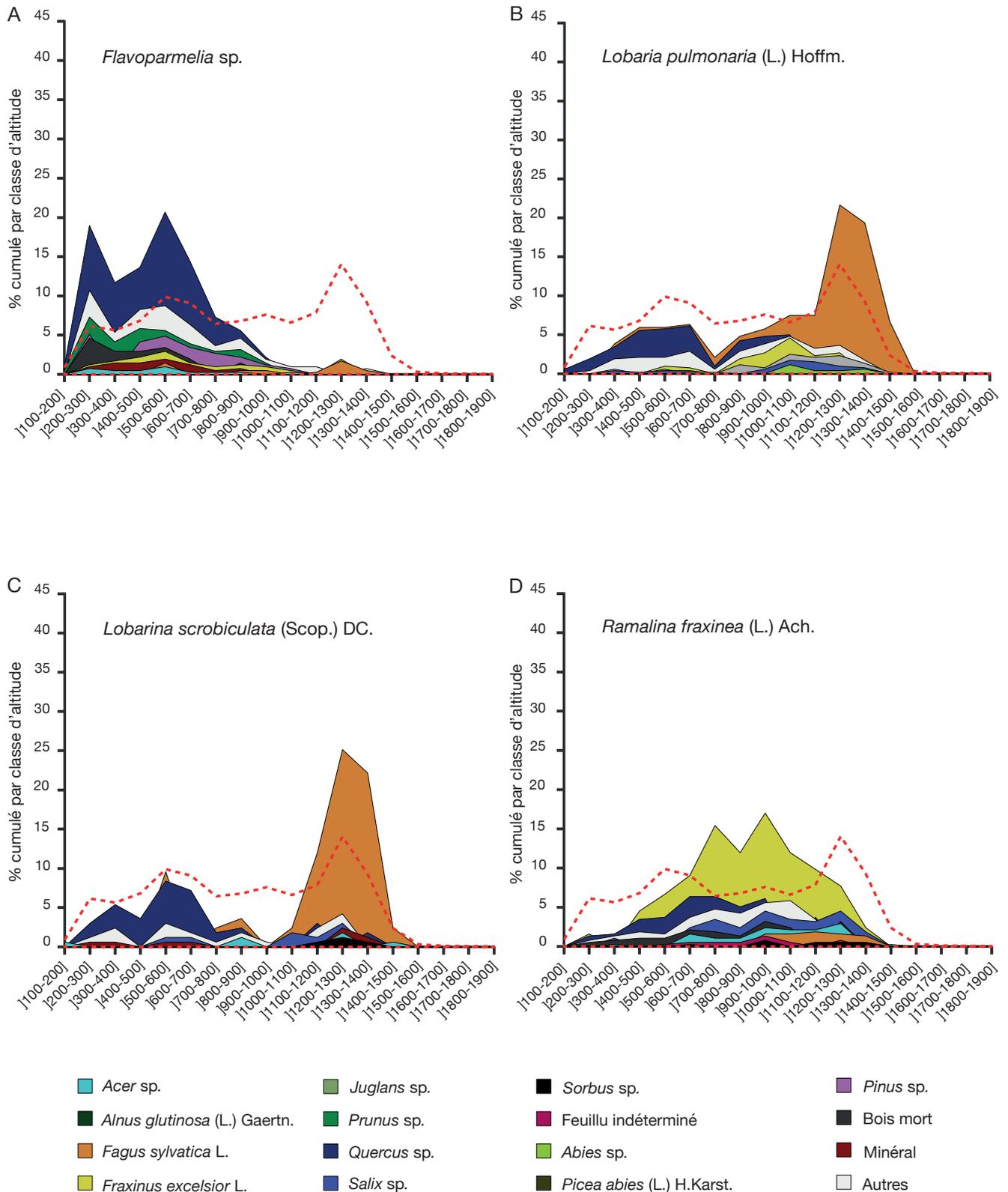


FIG. 7. — Répartition par classes d'altitude des taxons cibles en fonction des types de phorophytes sur lesquels ils ont été observés. L'axe des ordonnées représente le pourcentage cumulé des observations. L'axe des abscisses représente les différentes classes d'altitudes par pas de 100 m et est borné de la classe d'altitude la plus basse où un échantillon a été relevé ([100-200]) à la plus haute ([1800-1900]). La ligne hachurée rouge représente la répartition de l'ensemble des taxons en fonction des classes d'altitudes. Par comparaison, cela permet de mettre en évidence la singularité de la répartition des observations du taxon considéré par rapport à la totalité des données récoltées. La catégorie « Autres » a été créée pour des raisons de visibilité, lorsqu'elle est présente elle rassemble l'ensemble des autres supports sur lesquels le taxon a pu être retrouvé, elle ne dépasse jamais 30 % de l'échantillonnage pour le taxon considéré et ne contient que des supports ne représentant, au maximum, que 4 % de l'échantillon.

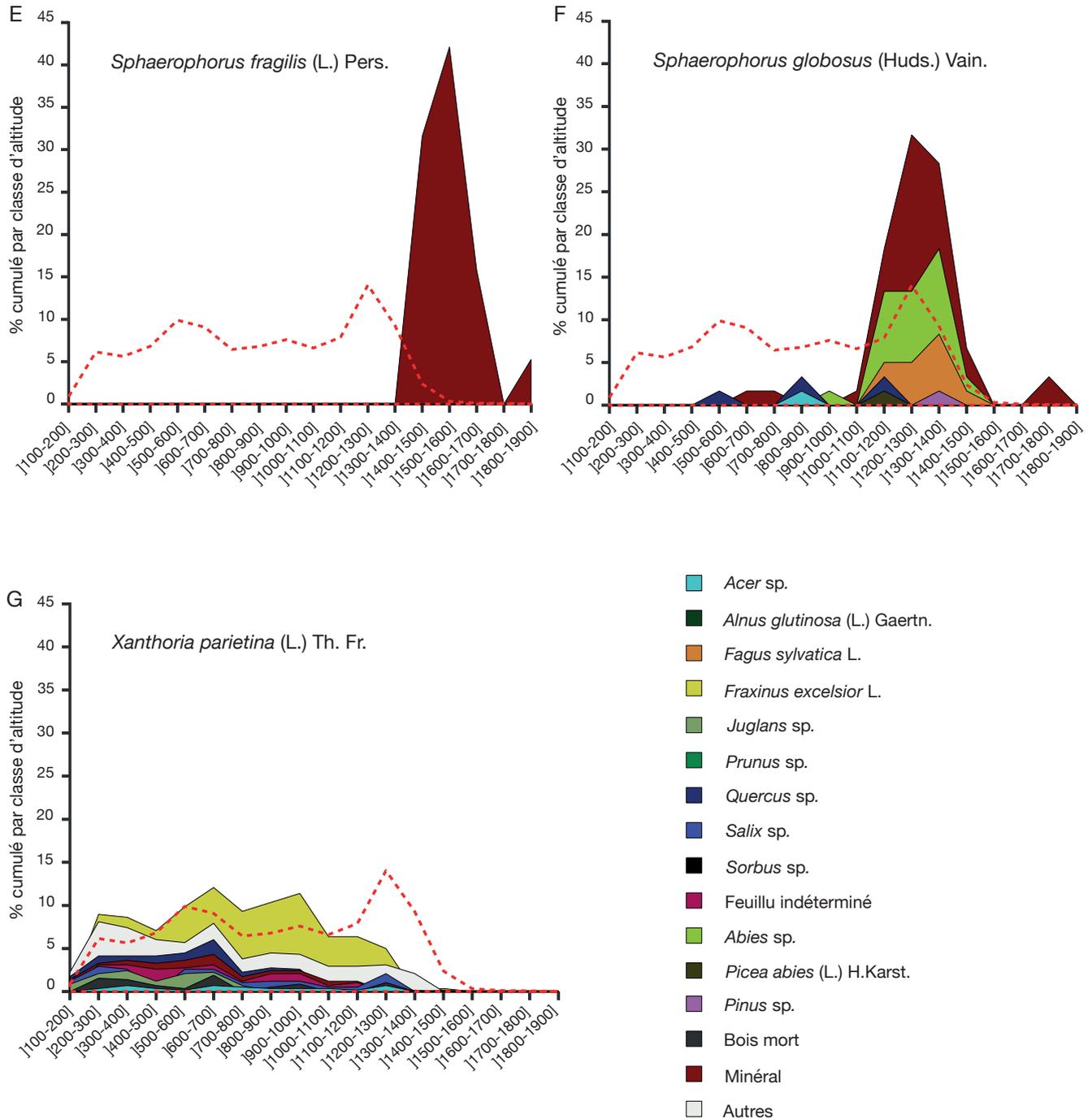


FIG. 7. — Suite.

Sphaerophorus fragilis (Fig. 7E) a été observé de l'étage montagnard (1397 m) à l'étage subalpin (1818 m) avec une médiane (1518 m) et une moyenne (1536 ± 25 m) situées à l'étage subalpin. On constate que la distribution altitudinale de cette espèce suit approximativement une loi normale. Concernant les supports, *S. fragilis* n'a été observé que sur substrat minéral.

Sphaerophorus globosus (Fig. 7F) a été observé de l'étage collinéen (557 m) à l'étage subalpin (1774 m) avec une médiane (1275 m) et une moyenne (1245 ± 26 m) situées à l'étage

montagnard. On constate que sa distribution altitudinale suit approximativement une loi normale. Concernant les supports, cette espèce a été principalement observée sur substrat minéral ($45,0 \pm 6,4$ % des occurrences) qui diffère significativement de tous les autres supports (X^2 , $p < 0,05$), excepté d'*Abies* sp. ($30,0 \pm 5,9$ %). *Abies* sp. diffère aussi significativement de tous les autres supports (X^2 , $p < 0,05$) excepté de *Fagus* sp. ($15,0 \pm 4,6$ %).

Xanthoria parietina (Fig. 7G) a été observé de la plaine (102 m) à l'étage montagnard (1471 m) avec une médiane

(705 m) et une moyenne (719 ± 13 m) situées à l'étage collinéen. On constate que la distribution de l'espèce suit approximativement une loi normale. Concernant les supports, cette espèce a été principalement observée sur *Fraxinus* sp. (38,3 ± 2,0 %) qui diffère significativement de tous les autres supports (X^2 , $p < 0,001$).

DISCUSSION

RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR LA CONDUITE DU PROJET

Avantages et limites du pilotage multi-partenarial

Le projet initié par la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes a été ouvert dès sa phase de préfiguration à des acteurs locaux et nationaux provenant de la sphère publique et de la société civile. Ce choix d'ouverture a apporté de réelles plus-values qui ont sans aucun doute participé à sa réussite. D'une part, le pilotage multi-partenarial a permis d'augmenter significativement les compétences mobilisables lors de la phase de préfiguration (définition des objectifs, choix des espèces cibles, définition du protocole de collecte de l'information, structuration des jeux de données, etc.) et lors de la phase opérationnelle (formation des participants, validation des données, animation de l'enquête, etc.). D'autre part cette ouverture a permis d'augmenter les ressources disponibles et mobilisables pour la réalisation du projet. En effet, les contributions de chaque acteur (personnes et/ou institutions) ont participé de manière significative à leur augmentation en apportant des compétences et des moyens techniques (conception de la base de donnée, conception et hébergement du site internet, etc.) ou thématiques (formation des participants, validation des données, etc.). Enfin, ce pilotage multi-partenarial a permis de renforcer la légitimité du projet, notamment parce qu'il associait des acteurs spécialisés dans le domaine des politiques publiques d'étude et de conservation de la biodiversité (pilotage et gestion de projet, conception et gestion de bases de données, etc.) et des acteurs experts dans des domaines plus thématiques (sciences naturelles, inventaires de la biodiversité, lichénologie, etc.). Ce pilotage multi-partenarial a par ailleurs joué un rôle notable dans la promotion du projet d'enquête participative au sein des réseaux des différents acteurs.

Cependant, si ce mode de pilotage s'est révélé positif à de nombreux égards, notamment parce qu'il a été l'occasion de rassembler avec succès de nombreux acteurs autour d'un projet commun, nous pouvons noter deux limites qui n'ont pas posé de problème significatif durant l'enquête participative sur les Lichens forestiers du Massif central, mais qui pourraient être problématiques dans d'autres projets similaires. La première concerne la définition des objectifs du projet: cette phase peut s'avérer d'autant plus complexe que les acteurs qui participent au pilotage proviennent d'horizons variés et ont des activités dont les finalités diffèrent. La seconde limite concerne majoritairement l'investissement des acteurs de la société civile (associations, experts participant intuitu personæ, etc.) qui a principalement été réalisée à titre bénévole. Or, sans la participation active d'un certain nombre d'entre eux tels que les membres de l'Association française de Liché-

nologie et de la Société mycologique, botanique et lichénologique d'Auvergne, ou d'autres acteurs intervenants intuitu personæ, qui ont consacré un volume de temps significatif au projet et qui ont accepté de s'investir dans des actions de transfert de compétence (formation, validation des données, etc.), le projet portant sur les Lichens forestiers du Massif central n'aurait probablement pas connu le même succès et des solutions alternatives auraient dû être recherchées. Cette dernière limite concerne bon nombre d'activités liées à l'étude et à la conservation de la biodiversité et il serait pertinent que cette question fasse l'objet d'un audit au niveau national en vue de disposer d'éléments d'économétrie utiles, à la fois pour mieux évaluer les coûts réels de ces types de projet et pour mieux mesurer l'importance de la participation de la société civile s.l. dans l'étude et la conservation de la biodiversité.

Animation du projet: l'importance des actions concrètes

L'animation de l'enquête participative sur les Lichens forestiers du Massif central s'est déclinée en cinq grandes actions qui ont rythmé le projet dans son ensemble, elles concernaient:

- la constitution et la coordination du comité de suivi et des acteurs du projet;
- la publicité du projet d'enquête participative et le recrutement des participants;
- la formation des participants et les transferts de compétences vers les acteurs du projet;
- la validation des données d'observation et l'échange avec les participants et les experts externes au projet;
- le soutien de la dynamique et l'orientation des observateurs.

Ces différentes actions afférentes à l'animation du projet s.l. ont généré un ensemble de coûts plus ou moins importants en temps, en savoir-faire, en technologie et en vecteurs d'information. Ainsi par exemple la publicité de l'enquête participative et le recrutement des participants ont pu être réalisés à différents moments au moyen de:

- la diffusion d'informations dans des réseaux potentiellement concernés (rédaction de brèves, diffusion par courriel, etc.);
- la conception et la diffusion de documents de présentation du projet et d'un Guide du participant;
- la conception et la mise en ligne d'un site dédié à l'enquête participative sur lequel il était possible d'interagir et de participer de façon autonome;
- la coordination et la formation des acteurs externes au projet pouvant endosser le rôle de tête de réseau et recruter indirectement des observateurs;
- la publicité via les médias traditionnels qui ciblent le grand public (presse écrite et télévisuelle).

Ces actions qui ont contribué à faire la publicité de l'enquête participative et à recruter des observateurs ont nécessité de mettre en œuvre différents savoir-faire et ressources. Elles ont de fait occasionné des coûts relativement difficiles à évaluer dans la mesure où ils sont dilués dans l'ensemble du projet et où une partie d'entre eux recouvrent plusieurs objectifs d'animation. Aussi, il est difficile d'évaluer avec précision l'efficacité des moyens mis en œuvre (rapport coûts/efficacité) et d'identifier les actions les plus fonctionnelles ou celles qui nécessiteraient d'être améliorées. Cependant, nous jugeons que

le relatif succès de l'enquête participative a largement reposé sur le dispositif d'animation mis en œuvre dans son ensemble et particulièrement sur son caractère très concret puisque la place réservée à l'intervention humaine (formation des observateurs, validation des données, transferts de compétences, etc.) a été largement favorisée au détriment d'une certaine forme d'automatisation de l'animation. Bien que cette analyse ne repose pas sur des données mesurées, elle semble indiquer que pour certains projets, ou certains groupes taxonomiques, le succès pourrait dépendre de la place prise par l'intervention humaine dans le dispositif d'animation. Or, dans le cadre de projets qui mobilisent des moyens limités, l'allocation d'un tel niveau de ressource à l'intervention humaine implique très probablement qu'ils soient réalisés à l'échelle de territoires peu étendus et/ou qu'ils concernent une diversité d'espèces limitée. Il convient d'ailleurs de se demander si le choix qui a été fait, peu après le début de l'enquête participative, d'élargir le projet à l'ensemble du Massif central au lieu de le limiter aux quatre départements de l'ancienne région Auvergne comme c'était initialement le cas, a constitué un choix pertinent. En effet, cet élargissement du territoire d'étude a pu générer une certaine dilution du niveau d'animation qui aurait peut-être été plus efficace s'il avait été concentré sur un territoire moins étendu. La représentation de la pression d'observation par mailles de 5×5 km à l'échelle du territoire d'étude (Fig. 4) permet d'ailleurs de constater que le Puy-de-Dôme, le Cantal et la Haute-Loire constituent les trois départements les plus prospectés, loin devant le reste du territoire.

Les Lichens comme objet d'étude dans les sciences participatives
 À l'échelle mondiale, un certain nombre de projets de sciences participatives (ou sciences citoyennes) ont déjà considéré les Lichens comme objet d'étude. Une part significative d'entre eux les a utilisés pour leur caractère indicateur, notamment de la qualité de l'air et des niveaux de pollution atmosphérique (Kett *et al.* 2005 ; Seed *et al.* 2013 ; Tregidgo *et al.* 2013 ; Dauphin *et al.* 2018 ; Welden *et al.* 2018) et une part moindre dans des projets plus orientés sur l'évaluation de la biodiversité lichénologique (Casanovas *et al.* 2014, 2015). Le projet d'enquête participative sur les Lichens forestiers du Massif central présente deux particularités notables par rapport à la majorité des projets cités précédemment : d'une part il a largement porté sur des milieux naturels (par opposition à la majorité des projets qui sont focalisés sur l'évaluation de la qualité atmosphérique en milieux urbains) et a été réalisé à une très vaste échelle (le Massif central), d'autre part il était majoritairement focalisé sur la recherche d'espèces définies au préalable (par opposition aux autres projets où le premier prérequis n'est pas la capacité à identifier une/des espèces en particulier, mais consiste plutôt à évaluer la diversité lichénologique).

Ces deux particularités confèrent au projet d'enquête participative sur les Lichens forestiers du Massif central un intérêt notable dans la mesure où les excellents résultats obtenus sur le plan qualitatif (96,5 % des données transmises par les participants ont été validées) et sur le plan quantitatif (2752 données valides d'observations ont été transmises par les participants) indiquent très nettement que les macrolichens

constituent un objet d'étude très bien adapté aux projets de sciences citoyennes focalisés sur l'inventaire de la biodiversité (Maréchal *et al.* 2017). Bien qu'il soit difficile de mettre en perspective les résultats obtenus dans ce projet concernant la capacité du grand public à identifier correctement des macrolichens avec les résultats obtenus dans d'autres projets de science citoyenne (ces informations sont généralement peu discutées), nous pensons que l'excellent taux d'identification des espèces cible obtenu repose largement sur les actions de formations et sur le processus de validation des données mis en place.

L'enquête participative sur les Lichens forestiers du Massif central a donc permis de démontrer que sous réserve d'un bon accompagnement des participants, les Lichens constituent un objet d'étude adapté au grand public. Cependant, le niveau relativement élevé d'accompagnement des participants (formation, validation, etc.) qui semble nécessaire constitue probablement une limite qui implique que ce type de projet soit déployé à l'échelle de territoires limités et concerne un nombre d'espèce peu important. Ajoutons enfin qu'un nombre assez important de données repose sur une petite quantité de participants qui ont été très actifs.

AMÉLIORATION DES CONNAISSANCES SUR LA LICHÉNOFONGE *Plus-values quantitatives et chorologiques*

Au niveau national l'enquête participative sur les Lichens forestiers du Massif central a contribué à alimenter l'Inventaire national du Patrimoine naturel (INPN). En 2015, lors de la phase de préfiguration du projet, moins de 25 000 données d'occurrence au niveau national concernaient les Lichens dans l'INPN et parmi ces données, une part importante était relativement ancienne puisque seulement 5 100 données dataient d'après 1980. Les 2752 données valides collectées lors de l'enquête participative représentent donc près de 11 % de l'ensemble des données disponibles dans l'INPN en 2015 et près de 54 % des données réalisées après 1980. Aussi, bien que concernant un nombre limité d'espèces (63 taxons au total), l'enquête participative a contribué de manière significative à la complétion de l'INPN et à la mise à jour de certaines données.

De plus, le projet a permis de recenser de nouvelles espèces dans quelques départements ou de réactualiser des données anciennes datant d'avant 1959. Ces données issues de sciences participatives ont donc un intérêt certain pour l'amélioration des connaissances sur la distribution des espèces au niveau national et complètent le Catalogue des Lichens de France métropolitaine (Roux *et al.* 2017).

À l'échelle du Massif central, l'enquête participative a permis d'améliorer les connaissances portant sur la distribution des espèces cibles, notamment pour celles qui sont les moins ubiquistes. Ainsi, les données d'occurrence collectées permettent de constater que les deux taxons phares du projet (*Lobaria pulmonaria* et *Lobarina scrobiculata*) sont majoritairement localisés dans les massifs qui forment la bordure ouest du Massif central (Massif du Sancy, Chaîne des Puys, Monts du Cantal) qui offrent des conditions climatiques très marquées par les entrées atmosphériques humides atlantiques et par l'altitude. Ces deux espèces ont été nettement moins observées

dans les massifs localisés à l'est de ces derniers (Livradois, Monts du Forez, Monts d'Ardèche) qui sont moins soumis aux influences du climat atlantique. De plus, on peut noter que *L. pulmonaria* a aussi été observé assez fréquemment dans la bordure occidentale des Cévennes qui sont elles aussi soumises à un climat assez atlantique. Par ailleurs, bon nombre des données d'occurrence qui ont été faites à plus basse altitude sont localisées à l'ouest du Massif central dans le Limousin et dans la vallée de la Dordogne. Ces données confirment le caractère relativement océanique de ces deux espèces et permettent de disposer d'informations utiles pour estimer leur aire de distribution potentielle dans le Massif central. La comparaison de la distribution et de l'abondance de ces deux espèces (*L. pulmonaria* a été observé trois fois plus que *L. scrobiculata*) laisse par ailleurs penser que leurs niches écologiques respectives sont différenciées par certains paramètres puisque *L. pulmonaria* a été plus souvent observé en vallée de la Dordogne et dans des stations méridionales (sud du Massif central), alors que *L. scrobiculata* semble plus présent dans les stations septentrionales (nord du Massif central). La relative forte concentration d'observations de cette dernière espèce à l'étage collinéen aux alentours de Limoges où *L. pulmonaria* ne semble pas très présent pose d'ailleurs question quant aux paramètres écologiques qui conditionnent la présence de ces deux espèces. Une étude menée par Gauslaa *et al.* (2012) qui met en évidence que le cyanolichen *L. scrobiculata* résiste mieux que le céphalolichen *L. pulmonaria* et le chlorolichen *Platismatia glauca* (L.) W.L. Culb. & C.F. Culb. à la dessiccation en condition de forte lumière permet d'émettre une première hypothèse explicative de la moindre présence de *L. pulmonaria* dans ces stations. Une analyse comparative de la lumière incidente reçue dans quelques stations abritant en proportion variable ces deux Lobariaceae permettrait d'améliorer les connaissances portant sur leurs préférences écologiques et sur leur caractère indicateur. Ces données collectées au cours de l'enquête participative constituent donc un matériel utile qui devrait permettre de mieux différencier l'écologie de ces deux taxons qui est actuellement décrite de manière très similaire en France (Roux *et al.* 2017).

De la même manière, les données de l'enquête participative permettent de mieux circonscrire les aires de présence des deux Sphaerophoraceae : *Sphaerophorus fragilis* et *S. globosus* dans le Massif central. Ces données d'occurrence indiquent que les deux taxons semblent être très peu répartis et principalement limités aux plus hautes altitudes. On constate que *S. fragilis* apparaît comme l'espèce la plus rare (19 observations) et la plus restreinte aux localités d'altitude, alors que *S. globosus* semble plus fréquent (60 observations) et plus enclin à coloniser des localités moins hautes. Ces informations portant sur la distribution restreinte de ces deux espèces et sur leur relative faible abondance posent notamment la question de leur pérennité dans le Massif central dans le contexte actuel de changements climatiques. Il pourrait d'ailleurs être envisagé de suivre un certain nombre de stations de ces deux espèces en vue d'évaluer l'effet des changements climatiques sur leur répartition et le cas échéant d'améliorer les connaissances

portant sur leur caractère indicateur. Hauck (2009) indique au sujet de ces deux espèces qu'elles sont tolérantes au froid, mais que le réchauffement des températures pourrait ne pas causer directement leur disparition s'il n'est pas corrélé avec d'autres facteurs (augmentation du SO₂, etc.). Des études complémentaires utilisant les données d'occurrence issues de l'enquête participative pourraient permettre de confirmer cette hypothèse.

Un certain nombre de limites doivent cependant être signalées quant aux plus-values qualitatives et chorologiques issues de l'enquête participative. D'une part, le jeu de données a été constitué à partir d'observations collectées de manière opportuniste, ou doit être majoritairement considéré comme tel dans la mesure où il est presque impossible d'évaluer l'effet des orientations de prospections préconisées en cours de programme. D'autre part le jeu de données est assez fortement hétérogène à l'échelle du Massif central puisque la majorité des données ont été faites dans trois des quatre départements de l'ancienne région Auvergne (le Puy-de-Dôme, le Cantal et la Haute-Loire) et s'il peut s'avérer difficile de confirmer que l'absence de donnée d'occurrence pour les espèces les moins fréquentes est une absence réelle et non pas une absence de données, il est plus facile de le faire pour les taxons les plus fréquents (*Xanthoria parietina* et *Flavoparmelia* sp.). Or, il apparaît clairement que ces deux dernières espèces qui ont fait l'objet d'un effort de prospection élevé (respectivement 602 et 428 données d'occurrence) ont aussi majoritairement été observées dans le Puy-de-Dôme, le Cantal et la Haute-Loire. Enfin, un biais assez communément constaté lors de la collecte opportuniste de données est la localisation des observations par rapport à l'accessibilité du terrain : les bords de route ou de chemin sont ainsi sur-échantillonnés au détriment des zones centrales de massifs forestiers ou de certains sites peu accessibles. Notons cependant que le jeu de données collecté est relativement important et concerne un nombre limité de taxons pour lesquels le nombre élevé de données d'occurrence garantit de documenter relativement bien leur distribution et leur autécologie, du moins dans les trois départements les plus échantillonnés.

Autécologie des espèces ciblées par l'enquête

L'analyse des données collectées durant l'enquête participative permet de documenter l'autécologie des espèces cibles à l'échelle du Massif central. Différents patterns correspondants à des préférences climatiques ou édaphiques se distinguent très nettement et participent de la confirmation et de l'amélioration des connaissances actuellement disponibles en France qui sont majoritairement basées sur l'expertise et l'observation empirique.

Si la majorité des résultats présentés précédemment apportent surtout des précisions sur l'autécologie des espèces, notamment en identifiant les seuils entre lesquels elles trouvent leurs conditions optimales (altitude, précipitations annuelles moyennes, températures annuelles moyennes) et en précisant les grands types de milieux et de phorophytes qui leurs sont le plus favorables, ils ont aussi permis de faire émerger un fait particulièrement intéressant. En effet, l'analyse de l'occurrence

des espèces cibles en fonction de l'altitude et du phorophyte permet de constater que les deux Lobariaceae présentent un pattern de distribution très particulier marqué par un changement brutal de phorophyte à une altitude précise : *Lobaria pulmonaria* est majoritairement observé sur *Quercus* sp. jusqu'à 800 m d'altitude et *Lobarina scrobiculata* jusqu'à 900 m, au-delà, la grande majorité des observations concernant ces deux espèces est faite sur *Fagus sylvatica* (Figs 7B, 7C). Or, aux altitudes inférieures à 900 et 800 m, ces deux espèces n'ont quasiment jamais été observées sur *F. sylvatica* qui est pourtant une espèce très bien représentée dans l'ensemble du Massif central (en boisements purs : hêtraies ; ou en boisements mixtes : chênaies-hêtraies). Cette situation est notamment particulièrement bien illustrée dans la Chaîne des Puys. Or, si de nombreuses études ont porté sur l'écologie des Lobariaceae d'Europe (surtout *L. pulmonaria*) et se sont attachées à préciser l'autécologie de ces espèces et à étudier leurs relations avec les phorophytes et les écosystèmes forestiers (Scheidegger *et al.* 2012 ; Brunialti *et al.* 2015 ; Otálora *et al.* 2015 ; Ignatenko & Tarasova 2017), aucune ne fait, à notre connaissance, état d'une telle observation. Différents facteurs liés aux types de peuplements forestiers, à leur gestion (ancienneté des forêts, sélection des espèces ligneuses, etc.), aux conditions édaphiques et climatiques, aux types de photobiontes, etc., pourraient expliquer ce changement brutal de phorophyte. Cependant aucune information ne permet actuellement de comprendre avec certitude les raisons de ce changement d'espèce support pour les deux Lichens. Notons toutefois que dans la mesure où ce phénomène concerne les deux Lobariaceae qui sont toutes les deux caractérisées par des traits de vie divergents, certains facteurs d'ordre biologique potentiellement responsables de ce changement de phorophyte peuvent apparaître moins explicatifs que des facteurs d'ordre édaphique ou historique (notamment ceux liés à la gestion des peuplements sylvicoles). Ainsi, les deux espèces de Lobariaceae hébergent des photobiontes nettement différents : une algue verte (*Dictyochloropsis reticulata* (Tschermak-Woess) Tschermak-Woess) qui domine dans le thalle pour *L. pulmonaria* et une cyanobactérie de type Nostoc dans des céphalodies internes éparses et rares (Zoller *et al.* 1999 ; Werth & Scheidegger 2012 ; Merinero *et al.* 2015) alors que *L. scrobiculata* abrite uniquement une cyanobactérie de type Nostoc dans son thalle (Merinero *et al.* 2015). De plus, les deux espèces ont des stratégies de dispersion et de reproduction significativement différentes : *L. pulmonaria* adopte une stratégie de dispersion mixte (sexuée via la production de spores dans des apothécies et asexuée avec des isidies et des sorédies), tandis que *L. scrobiculata* adopte une stratégie de dispersion majoritairement asexuée (avec des sorédies) (Nascimbene *et al.* 2016) et très rarement sexuée (Prieto *et al.* 2015). Notons que Gauslaa (2006) indique que la dispersion de *L. pulmonaria* se fait principalement de manière asexuée mais que Zoller *et al.* (1999) indiquent le rôle important de la reproduction sexuée pour cette dernière espèce qui se traduit de manière significative sur le plan génétique. Ces divergences notables concernant certains traits de vie relativement structurants entre ces deux espèces de Lobariaceae pourraient logiquement se traduire en des comportements différents d'une

espèce à l'autre concernant la préférence pour les phorophytes, or les données de l'enquête participative ne permettent pas de percevoir de variation significative entre les deux espèces. L'origine du changement brutal d'espèce support entre 800 et 900 m pourrait donc plutôt trouver son explication dans des modifications de la structure forestière. Une étude comparative de la gestion et de l'histoire des forêts où ces deux Lobariaceae poussent sur des phorophytes différents pourrait peut-être permettre d'identifier certains paramètres responsables de ce changement d'espèce support. Les résultats présentés par Öckinger *et al.* (2005), indiquant que *L. pulmonaria* est plus fréquemment observé sur les arbres qui ont les plus gros troncs et qui sont largement couverts de bryophytes (voir aussi Benesperi *et al.* 2018), laissent penser que certains facteurs mécaniques (rugosité du substrat, capacité de rétention des propagules et des spores, etc.) pourraient être à l'origine de ce changement de phorophyte.

Évaluation des enjeux de conservation

Les données collectées au cours du projet permettent de disposer d'informations particulièrement utiles pour préciser les enjeux de conservation de certaines espèces phares et de leurs habitats. Ainsi, pour les Lobariaceae et les Sphaerophoraceae dont le niveau de menace à large échelle est déjà relativement bien documenté : *Lobaria pulmonaria*, *Lobarina scrobiculata* et *Sphaerophorus globosus* sont considérés comme « en danger » dans de nombreux pays d'Europe occidentale (Gauslaa 1995 ; Zoller *et al.* 1999 ; Gu *et al.* 2001 ; Jürriado & Liira 2009 ; Mikryukov *et al.* 2010 ; Scheidegger *et al.* 2012 ; Benesperi *et al.* 2018), les connaissances portant sur leur distribution et leur abondance dans les quatre départements de l'ancienne région Auvergne (et plus largement dans le Massif central) ont été largement améliorées.

On constate que les enjeux de conservation de ces espèces sont multiples. D'une part, ils apparaissent élevés au regard de leur relative rareté puisque les données collectées révèlent que leur aire de répartition est limitée (surtout pour les deux Sphaerophoraceae) et que leur abondance peut être qualifiée de faible à très faible puisqu'elles ont été observées 540 fois pour *L. pulmonaria*, 167 fois pour *L. scrobiculata*, 60 fois pour *S. globosus* et seulement 19 fois pour *S. fragilis* (Fig. 5) sur un total de plus de 2700 observations. Notons qu'il est impossible de connaître la part de données d'occurrence « uniques » dans le jeu de donnée et qu'un certain nombre de stations a pu être pointé plusieurs fois par différents observateurs. Par ailleurs, l'apparente fréquence de *L. pulmonaria* par rapport au jeu de donnée total ne reflète pas sa rareté à l'échelle du Massif central dans la mesure où cette espèce comptait parmi les plus recherchées par les participants, la comparaison avec le nombre de données collectées pour d'autres espèces réputées très fréquentes et moins recherchées telles que *Xanthoria parietina* (602) ou *Flavoparmelia* sp. (428) (Fig. 5) n'indique donc pas un niveau de rareté similaire pour ces espèces. D'autre part, les enjeux de conservation apparaissent élevés au regard des cortèges d'espèces qui sont généralement associés aux quatre espèces phares de l'enquête participative. Ainsi, de nombreuses études démontrent que leur présence est très souvent accom-

pagnée d'une diversité élevée d'espèces (James *et al.* 1977 ; Gauslaa 1985 ; Campbell & Fredeen 2004 ; Nationalparkforstamt Eifel 2014) dont une part significative appartient à des groupes taxonomiques peu étudiés et rarement pris en compte dans les politiques de conservation de la biodiversité (faune invertébrée, Lichens, Bryophytes, etc.). Il s'agit notamment de taxons fortement spécialisés et à enjeu de conservation élevé (Nascimbene *et al.* 2010) dont la présence dépend de l'existence de niches écologiques spécifiques et menacées par les activités anthropiques (pollutions atmosphériques, exploitation forestière, etc.). Enfin, les enjeux de conservation de ces quatre espèces phares apparaissent très élevés au regard des menaces qui pèsent sur leurs habitats qui subissent à la fois une régression quantitative et qualitative. En effet, de nombreux auteurs soulignent le très fort recul des milieux qui leur sont favorables (disparition des forêts anciennes, gestion sylvicole intensive, etc.) et identifient les perturbations qui menacent ces espèces (pollutions atmosphériques, isolation des populations, réduction des surfaces d'habitats d'espèce, etc.) (Zoller *et al.* 1999 ; Cameron & Bondrup-Nielsen 2012). Benesperi *et al.* (2018) indiquent à ce sujet que la mise en œuvre de mesures de conservation à l'échelle des habitats constitue la meilleure solution pour garantir la pérennité des populations de ces espèces menacées en favorisant le maintien des conditions édapho-climatiques qui leur sont favorables.

En apportant des renseignements relativement précis sur les localités où les espèces cibles ont été observées le plus fréquemment, les données collectées durant l'enquête participative permettent d'identifier certaines populations « sources » qui pourraient faire l'objet de mesures de conservation ou de protection et de mettre en évidence assez clairement certains secteurs où ces espèces sont absentes ou plus rares. Ces localités où les populations des espèces cibles semblent de plus petite taille, ou moins dynamiques, posent d'ailleurs la question de la meilleure stratégie à adopter en cas de déploiement d'une politique de conservation : faut-il conserver en priorité les cœurs de population ou plutôt concentrer les efforts sur les zones les plus marginales et les limites d'aire ? Répondre à cette question impliquerait de cerner précisément les menaces qui pèsent sur ces deux types de populations, d'évaluer leur pérennité sur le long terme et de disposer d'informations sur leurs dynamiques démographiques.

PERSPECTIVES

Poursuite de la valorisation du jeu de données

Le jeu de données constitué au cours de l'enquête participative dispose de caractéristiques qui permettent d'envisager son utilisation à différentes fins afférentes à la connaissance, à la conservation, à l'évaluation et au suivi de la biodiversité et des écosystèmes. Bien que constitué de données d'occurrence pouvant être qualifiées d'opportunistes (ou semi-opportunistes) collectées selon un protocole très simplifié et dépourvu de données d'absence, il dispose d'atouts notables. En effet, il concerne des taxons au caractère indicateur reconnu ou supposé pour lesquels un volume important de données validées a été collecté en une période de temps restreinte (entre le 1er septembre 2015 et le 1er novembre 2016). Cette forte

concentration d'informations valides et récentes concernant leur distribution et quelques préférences écologiques confère au jeu de données un niveau de robustesse intéressant pour certaines analyses. Ainsi, un projet de modélisation de la distribution de *Lobaria pulmonaria* dans trois départements de l'ancienne région Auvergne : le Puy-de-Dôme, le Cantal et la Haute-Loire est actuellement en cours de réalisation (Maréchal *et al.* sous presse). Ce projet vise notamment à mieux délimiter l'aire de distribution potentielle de cette espèce emblématique et indicatrice dans les trois départements qui ont fait l'objet de la plus forte pression d'observation et permettra d'orienter les prochaines prospections naturalistes en localisant les secteurs à forte probabilité de présence où l'espèce n'a pas fait l'objet d'observations récentes. Parmi les résultats attendus, la comparaison entre les zones de forte probabilité de présence et les zones d'occurrence réelle devrait permettre de disposer d'informations particulièrement utiles pour la mise en œuvre de politiques de conservation de cette espèce et de ses habitats qui sont réputés menacés (Gauslaa 1995 ; Zoller *et al.* 1999 ; Gu *et al.* 2001 ; Jürjado & Liira 2009 ; Mikryukov *et al.* 2010 ; Cameron & Bondrup-Nielsen 2012 ; Scheidegger *et al.* 2012 ; Benesperi *et al.* 2018). L'utilisation de différents jeux de données climatiques et écologiques reproduisant certains effets liés aux changements climatiques devrait par ailleurs être utile pour évaluer l'efficacité d'éventuelles mesures de conservation ou de suivi de populations et de leurs habitats. Le croisement entre les données d'occurrence réelles, les données issues de modélisations présentant plusieurs scénarios d'évolution climatiques et d'occupation du sol et des données portant sur les traits de vie de cette espèce (modes de reproduction et de dispersion, dynamiques démographiques, brassage génétique, espérance de vie d'une génération, capacités de colonisation de supports vierges et de milieux vierges, etc.) devrait permettre de mettre en œuvre une stratégie de conservation adaptée (Franklin 2010).

D'autres perspectives d'utilisation du jeu de données sont envisageables, parmi lesquelles la comparaison des contextes forestiers et des cortèges d'espèces associés entre les localités où les deux Lobariaceae ont été observées ensemble et celles où seulement l'une des deux a été relevée (sous réserve de confirmer l'absence de l'autre). Cette analyse devrait permettre d'identifier certains des paramètres qui conditionnent la présence de ces espèces, notamment pour *Lobarina scrobiculata* qui est un cyanolichen qui requiert de disposer d'eau libre pour réaliser son activité photosynthétique (Lange *et al.* 1986). Parmi les résultats de cette analyse, en plus d'une amélioration des connaissances concernant l'autécologie de ces espèces et les cortèges d'espèces qui leur sont associés, certaines informations ayant trait aux relations entre l'occurrence de ces espèces et les modes de gestions sylvicoles, l'ancienneté des forêts, la structuration des trames paysagères, etc., devraient permettre d'améliorer les connaissances portant sur leur caractère indicateur et sur le niveau de menace de leurs habitats à différentes échelles (de l'habitat d'espèce pour les individus au paysage pour les populations). Le jeu de données pourrait aussi être mobilisé dans d'autres projets visant à identifier les paramètres qui

conditionnent l'absence des deux espèces les plus fréquentes (qui sont quasiment ubiquistes à l'échelle du territoire métropolitain) : *Xanthoria parietina* et *Flavoparmelia* sp. (*caperata*), qui pourraient ensuite être utilisées comme indicateurs de changements de ces paramètres. Ajoutons encore que le jeu de données sera probablement utile pour des projets d'analyse diachronique de la distribution des espèces cibles dans une ou deux décennies. Bien d'autres perspectives d'utilisation de ces données pourraient encore être envisagées en l'état des connaissances actuelles, et de nouvelles pourraient émerger au fur et à mesure de l'amélioration des connaissances lichénologiques. C'est pourquoi le choix a été fait de mettre à disposition de la communauté scientifique la totalité de ce jeu de données créé durant l'enquête participative, comme cela a déjà été fait par exemple avec les données de l'United States Forest Service (<http://gis.nacse.org/lichenair/>, dernière consultation le 1^{er} octobre 2019) en Amérique du Nord. Il est ainsi possible de demander l'ensemble des données et métadonnées associées sur le portail de l'INPN à l'adresse <https://inpn.mnhn.fr/espece/jeudonnees/2927>, dernière consultation le 1^{er} octobre 2019 ou de télécharger le jeu de données complet sur le portail GBIF à l'adresse <https://gbif.org/dataset/d89c884f-0661-4ceb-a531-ceae2374b915>, dernière consultation le 1^{er} octobre 2019.

Animation du réseau et déploiement de l'inventaire des Lichens dans le Massif central

Le pilotage multi partenarial du projet a été l'occasion, pour certains acteurs qui ont participé au comité de pilotage, de s'engager concrètement dans un premier projet portant sur la diversité lichénologique. Ainsi, le Conservatoire botanique national du Massif central (CBNMC) a entrepris plusieurs actions structurantes sur son territoire d'agrément pour l'étude des Lichens :

- la constitution d'un référentiel taxonomique local actualisé basé sur les publications récentes de Roux *et al.* (2017) et le référentiel taxonomique national TAXREF (version 10.1) ;
- la saisie des données préexistantes concernant les Lichens dans le système d'information CHLORIS[®] : données bibliographiques (flores, articles) et données issues des herbiers déposés au CBNMC ;
- des sessions de formations du personnel à la reconnaissance des Lichens, co-organisées en lien avec l'Association française de Lichénologie ;
- l'inventaire de certains sites et/ou la recherche de Lichens patrimoniaux sur le territoire d'agrément ;
- un inventaire par mailles 1×1 km des Lichens corticoles de l'agglomération du Puy-en-Velay (2016-2017) (70 mailles) ;
- le transfert de l'interface de saisie des données lichénologiques depuis le site dédié à l'enquête participative vers celui du CBNMC.

De plus, en vue de donner une suite au projet d'enquête participative, le CBNMC envisage son élargissement à d'autres espèces (Lichens foliacés, autres taxons indicateurs de forêts anciennes, etc.), ainsi que de proposer une offre de formation en lien avec l'ONF et l'AFL à destination de publics variés (forestiers, naturalistes, correspondants, etc.).

Enfin, il est intéressant de souligner que l'enquête participative a été l'occasion pour quelques participants de développer considérablement leurs compétences dans l'inventaire et l'étude des Lichens. Cette émergence d'expertise, qui a déjà permis une certaine amélioration des connaissances portant sur la diversité lichénologique (Coste & Pinault 2016, 2018 ; Pinault & Coste 2017 ; Collectif 2017) devrait favoriser la structuration d'un réseau de lichénologues actifs dans le Massif central. Plusieurs structures locales ont d'ailleurs initié des inventaires lichénologiques dans les sites dont ils assurent la gestion : Conservatoire des Espaces naturels d'Auvergne et Parc naturel régional du Livradois-Forez.

Identification de forêts à haute valeur patrimoniale et prise en compte dans la gestion forestière

L'enquête participative a permis d'identifier un certain nombre de secteurs forestiers à haute valeur biologique. Ils pourront faire l'objet d'une attention particulière de la part des gestionnaires forestiers, publics ou privés, lesquels montrent de plus en plus d'intérêt pour la gestion et la conservation de la biodiversité forestière. La participation de l'ONF au comité de pilotage a ainsi été l'occasion de promouvoir auprès de certains gestionnaires forestiers l'intérêt de quelques espèces de Lichens comme éléments de la biodiversité et comme indicateur de forêts à haute valeur patrimoniale (Coppins & Coppins 2002).

Étude et conservation des Lichens au niveau national

Sur le plan national, les perspectives de renforcement de la dynamique d'étude des Lichens apparaissent favorables à court et moyen terme. D'une part parce qu'il existe de longue date un réseau de naturalistes confirmés qui participent activement à l'amélioration des connaissances portant sur les Lichens sur lequel peuvent généralement s'appuyer des projets tels que celui qui a été réalisé sur les Lichens forestiers du Massif central. Soulignons à ce titre le remarquable travail réalisé par l'Association française de Lichénologie qui a mis à jour le Catalogue des Lichens et Champignons lichénicoles de France métropolitaine (Roux *et al.* 2017) et qui le diffuse sur son site Internet). À titre de comparaison, il n'existe pas d'équivalent pour les bryophytes. D'autre part parce qu'un certain nombre d'acteurs, notamment institutionnels démontrent un intérêt de plus en plus prononcé pour l'étude et l'inventaire des Lichens. Ainsi, nous pouvons par exemple citer :

- le programme CoLiBry porté par le Conservatoire botanique national de Brest qui vise à collecter et partager des données sur la répartition géographique des Bryophytes, Lichens et Charophytes de Normandie occidentale et des régions Bretagne et Pays de la Loire (<http://www.cbnbrest.fr/ecolibry/?page=colibry#home>, dernière consultation le 1^{er} octobre 2019) ;
- le programme Lichen Go ! (PartiCitaE) porté par l'Université Pierre et Marie Curie – Sorbonne Universités qui vise à proposer au grand public d'utiliser les Lichens épiphytes pour évaluer la qualité de l'air en Ville (<http://www.particitae.upmc.fr/fr/suivez-les-lichens.html>, dernière consultation le 1^{er} octobre 2019) ;

– un projet de suivi temporel des communautés lichéniques de Paris porté en partenariat par l'UMS PatriNat (AFB-CNRS-MNHN), Particitae (UPMC), Vigie Nature, la DGD collection du MNHN et l'Agence Régionale pour la Biodiversité/Natureparif, qui vise à mettre en perspective des données historiques et récentes dans Paris intramuros.

De plus, un certain nombre de signaux indiquent que l'étude et l'inventaire des Lichens devraient prendre de l'essor dans certaines régions de métropole et d'outre-mer sous l'impulsion de structures telles que les Conservatoires botaniques nationaux, le réseau des Réserves Nationales de France ou les Conservatoires d'Espaces naturels dont certains indiquent vouloir élargir, dans un futur assez proche (ou de manière effective comme c'est le cas pour le CBNMC notamment) leur domaine d'expertise en direction de la lichénologie. L'existence de plusieurs formations à la détermination des Lichens, notamment celles dispensées par l'Association française de Lichénologie (AFL) et la Station universitaire du Limousin (SULIM) et d'un réseau d'experts naturalistes très actifs devrait notamment permettre de satisfaire en partie les besoins de formations qui pourraient émerger suite à ce gain d'intérêt pour l'étude des Lichens. Par ailleurs, l'utilisation des Lichens comme bioindicateur des conditions environnementales augmente significativement l'intérêt de ce groupe taxonomique pour les acteurs et les institutions dont les activités portent sur l'évaluation de la qualité des milieux, l'effet des modifications des pratiques de gestion et des changements climatiques sur la biodiversité et la fonctionnalité des écosystèmes. Certains travaux récents portant sur l'utilisation des Lichens forestiers comme bioindicateur de la pollution atmosphérique aux métaux lourds (Agnan *et al.* 2017) devraient notamment participer de manière significative à accroître la prise en compte de ces taxons dans les inventaires naturalistes.

Certains grands chantiers restent cependant à engager concernant la diversité lichénofongique, parmi lesquels l'évaluation du niveau de patrimonialité et de vulnérabilité des espèces présentes sur le territoire national, ainsi que l'inscription des taxons les plus sensibles dans les textes législatifs portant sur la protection des espèces et leur prise en compte dans les sites et réseaux de protection de la biodiversité. Ainsi, il n'y a à l'heure actuelle aucune liste nationale ou régionale (officielles) des Lichens de France métropolitaine et d'outre-mer et aucune espèce de lichen ne bénéficie d'un statut de protection au niveau national ou n'est inscrite en Annexe II de la directive Habitats-Faune-Flore (à l'inverse des Bryophytes). Notons cependant que certains travaux proposent déjà des listes d'espèces à protéger au niveau national pour la France métropolitaine (Roux *et al.* 2003) et une évaluation du niveau de vulnérabilité de toutes les espèces recensées en métropole selon la classification UICN (Roux *et al.* 2017), toutefois ces deux publications détaillent très peu la méthodologie appliquée dans ces différentes évaluations. Par ailleurs, soulignons que certaines espèces de Lichens bénéficient déjà d'un statut de protection au niveau régional : *Lobaria pulmonaria* en Haute-Normandie et Basse-Normandie et *Peltigera ponojensis* Gyeln. en

Centre-Val de Loire, et que le sous-genre *Cladina* est inscrit en annexe V de la directive Habitats-Faune-Flore (liste des espèces animales et végétales dont le prélèvement dans la nature et l'exploitation sont susceptibles de faire l'objet de mesure de gestion). Enfin, notons qu'en dehors de certains travaux récents réalisés à La Réunion (van den Boom *et al.* 2011 ; Masson 2012 ; Masson *et al.* 2015) et en Guadeloupe (Bricaud 2009), la diversité lichénofongique de l'outre-mer français reste très largement méconnue.

CONCLUSION

L'enquête participative sur les Lichens forestiers du Massif central a été l'occasion de démontrer qu'il est possible de rassembler des acteurs provenant d'horizons divers (grand public, institutions, experts, associatifs, etc.) autour d'un projet portant sur des espèces relativement peu connues et réputées difficiles à identifier, à l'échelle d'un vaste territoire : le Massif central selon la Loi montagne, soit environ 15 % de la superficie du territoire métropolitain. Le bilan de cette enquête ouverte au grand public est très positif puisque si on limite l'analyse à la seule observation de son déroulement et au volume de données valides collectées par un panel de participants hétérogène, tant par sa provenance que par ses compétences en identification des macrolichens en début de projet, le constat est excellent. D'une part le projet porté par la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes a été piloté, dès sa phase de conception, par un collège d'acteurs professionnels et non professionnels provenant d'horizons divers et dont les domaines de compétence étaient complémentaires (expérience dans les enquêtes participatives, expertise naturaliste, connaissance du territoire, etc.). D'autre part, le volume considérable de données valides obtenues qui a cru de manière régulière tout au long de la durée de l'enquête démontre très nettement l'efficacité des outils et méthodes d'animation mis en place, l'intérêt des participants pour le sujet, et la capacité du grand public et des non-spécialistes à acquérir très rapidement les compétences nécessaires à l'identification des espèces. De plus, l'analyse de l'important jeu de données valides collectées pour les espèces cibles a permis d'améliorer significativement les connaissances portant sur leur écologie, leur distribution, leur rareté, leur caractère indicateur des conditions environnementales, ou encore sur leur sensibilité aux modifications de gestion des milieux et aux changements climatiques. Enfin, soulignons que ce projet a participé de manière significative à l'émergence d'une réelle dynamique autour de l'étude de la lichénofonge dans le Massif central puisque plusieurs partenaires ont poursuivi leur investissement dans l'étude des Lichens après l'enquête. Cette expérience apporte donc un témoignage supplémentaire de l'intérêt des démarches participatives, y compris pour des sujets réputés difficiles comme la biodiversité dite « discrète » ou « cryptique ». S'agissant des Lichens, on peut espérer que d'autres initiatives du même genre émergent et participent à leur tour à améliorer la connaissance de ce groupe taxonomique au niveau national.

Remerciements

Nous remercions chaleureusement Jonathan Signoret, Daniel Petit, Stéphane Francois, Jean-Claude Corbel, Clothier Coste, Laurent Lathuillière, Gilles Thébaud, Elisabeth Cartoux et Arnaud Piel pour leur aide et leur disponibilité durant l'enquête participative et la rédaction de cet article. Nos remerciements s'adressent également à l'Association française de lichénologie et Tela Botanica. Nous souhaitons enfin remercier Séverine Stauth et Julien Touroult, les deux évaluateurs du manuscrit, ainsi que Sarah Figuet, secrétaire d'édition de *Naturae*, qui ont assuré la relecture et nous ont proposé nombre d'ajustements déterminants pour la qualité cet article.

Marcel Peyroche, né à Vienne le 11 novembre 1945, nous a quittés suite à une longue maladie le 6 janvier 2017. Membre actif de la Société mycologique et botanique du Livradois-Forez (aujourd'hui devenue Société mycologique, botanique et lichénologique d'Auvergne) et du Groupe mycologique de Haute-Loire, il était aussi membre de l'Association française de Lichénologie. Il participait également à la formation mycologique des pharmaciens et intervenait dans les écoles lors d'activités péri-scolaires. Dans le cadre de l'enquête participative « Lichens forestiers du Massif central », il a participé activement à la formation de plus de 140 personnes malgré les ennuis de santé qui commençaient déjà à le ronger. L'animation de la formation au Mont-Dore sous une pluie battante ne l'avait pas arrêté. Nous lui dédions cet article pour son implication courageuse et sans faille.

RÉFÉRENCES

- AGNAN Y., PROBST A. & SÉJALON-DELMAS N. 2017. — Evaluation of lichen species resistance to atmospheric metal pollution by coupling diversity and bioaccumulation approaches: A new bioindication scale for French forested areas. *Ecological Indicators* 72: 99-110. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.08.006>
- BENESPERI R., NASCIMBENE J., LAZZARO L., BIANCHI E., TEPISCH A., LONGINOTTI S. & GIORDANI P. 2018. — Successful conservation of the endangered forest lichen *Lobaria pulmonaria* requires knowledge of fine-scale population structure. *Fungal Ecology* 33: 65-71. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2018.01.006>
- BOURGES A. 2015. — Les lichens sont partout... mais où? *La Montagne*, édition du 06/12/2015: 3-4.
- BRICAUD O. 2009. — *Prospection de la végétation lichénique du Parc national de la Guadeloupe et de sa zone périphérique: Résultats de la prospection 2009 des groupements foliicoles - phase III*. Parc national de la Guadeloupe et de la DIREN de Guadeloupe, Basse-Terre, 12 p.
- BRUNIALTI G., FRATI L. & RAVERA S. 2015. — Structural variables drive the distribution of the sensitive lichen *Lobaria pulmonaria* in Mediterranean old-growth forests. *Ecological indicators* 53: 37-42. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.01.023>
- CAMERON R. P. & BONDRUP-NIELSEN S. 2012. — Coral lichen (*Sphaerophorus globosus* (Huds.) Vain) as an indicator of Coniferous old-growth forest in Nova Scotia. *Northeastern Naturalist* 19 (4): 535-540. <https://doi.org/10.1656/045.019.0401>
- CAMPBELL J. & FREDDEEN A. L. 2004. — *Lobaria pulmonaria* abundance as an indicator of macrolichen diversity in Interior Cedar-Hemlock forests of east-central British Columbia. *Revue canadienne de botanique* 87 (2): 970-982. <https://doi.org/10.1139/b04-074>
- CASANOVA P., LYNCH H. J. & FAGAN W. F. 2014. — Using citizen science to estimate lichen diversity. *Biological Conservation* 171: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.12.020>
- CASANOVA P., BLACK M., FRETWELL P. & CONVEY P. 2015. — Mapping lichen distribution on the Antarctic Peninsula using remote sensing, lichen spectra and photographic documentation by citizen scientists. *Polar Research* 34. <https://doi.org/10.3402/polar.v34.25633>
- COLLECTIF 2017. — Contribution à l'inventaire des lichens de France, année 2016. *Bulletin de la Société botanique du Centre-Ouest* 48: 15-20.
- COLLECTIF 2018. — Contributions à l'inventaire des lichens et champignons lichénicoles de France. *Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest* 49: 11-17.
- COPPINS A. & COPPINS B. J. 2002. — *Indices of Ecological Continuity for woodland epiphytic lichen habitats in the British Isles*. British Lichen Society, Londres, 36 p.
- COSTE C. & PINAULT P. 2016. — Découverte d'un champignon lichénicole extrêmement rare en France: *Sphaerellothecium araneosum* (Rehm ex Arnold) Zopf. *Carnets natures* 3: 27-30.
- COSTE C. & PINAULT P. 2018. — Une association lichénique singulière sur des piquets de *Robinia pseudoacacia* L. en milieu rural: le *strangosporo moriformis-calicietum notarisii* ass. nov. *Revue d'écologie* 73 (1): 31-40.
- DAUPHIN C.-E., DRON J., AUSTRUY A., AGNAN Y., GRANIER V., CHAMARET P. 2018. — Participation de citoyens volontaires de la population locale dans les mesures de la qualité de l'air autour de la zone industrielle de Fos-sur-Mer. *Pollution atmosphérique* 236.
- DIAZ DE QUIJANO M., BONNEVIALE M., LÉOTOING M., BELANGUIER L., ROQUETANIÈRE O., PORTE A. & LATHUILLIÈRE L. 2016. — *Les forêts anciennes du Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. Étude cartographique et approche historique. Synthèse des résultats*. IPAMAC Parcs naturels du Massif central, Pélussin, 12p.
- DOBSON F. 2005. — *Lichens, an illustrated guide to the British and Irish Species, 5ème édition*. The Richmond Publishing Co., Londres, 473 p.
- DREAL AUVERGNE – RHÔNE-ALPES 2015. — *Enquête participatives sur les lichens forestiers d'Auvergne et du Massif central - Guide terrain à l'usage des participants*. Édition DREAL Auvergne-Rhône-Alpes, Clermont-Ferrand, 12 p.
- FRANKLIN J. 2010. — Moving beyond static species distribution model in support of conservation biogeography. *Diversity and Distributions* 16: 321-330. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00641.x>
- GAUSLAA Y. 1985. — The ecology of *Lobaria pulmonaria* and *Parmelion caperatae* in *Quercus* dominated forests in south-west Norway. *The lichenologist* 17 (2): 117-140. <https://doi.org/10.1017/S0024282985000184>
- GAUSLAA Y. 1995. — The *Lobarion*, an epiphytic community of ancient forests threatened by acid rain. *The Lichenologist* 27: 59-76. <https://doi.org/10.1006/lich.1995.0005>
- GAUSLAA Y. 2006. — Trade-off between reproduction and growth in the foliose old forest lichen *Lobaria pulmonaria*. *Basic and Applied Ecology* 7 (5): 455-460. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2005.12.007>
- GAUSLAA Y., COXON D. S. & SOLHAUG K. A. 2012. — The paradox of higher light tolerance during desiccation in rare old forest cyanolichens than in more widespread co-occurring chloro- and cephalolichens. *New Phytologist* 195 (4): 812-822. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04221.x>
- GU W.-D., KUUSINEN M., KONTTINEN T. & HANSKI I. 2001. — Spatial pattern in the occurrence of the lichen *Lobaria pulmonaria* in managed and virgin boreal forests. *Ecography* 24: 139-150. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0587.2001.240204.x>
- HAUCK M. 2009. — Global warming and alternative causes of decline in arctic-alpine and boreal-montane lichens in North-Western Central Europe. *Global Change Biology* 15: 2653-2661. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01968.x>
- IGNATENKO R. V. & TARASOVA V. N. 2017. — The population structure of the lichen *Lobaria pulmonaria* in the middle boreal forests depends on the time-since-disturbance. *Folia Cryptogamica Estonica* 54: 83-94. <https://doi.org/10.12697/fce.2017.54.13>
- IPAMAC 2011. — *Trame écologique du Massif-Central, Rapport de synthèse*. IPAMAC, Pélussin, 56 p.
- JAMES P. W., HAWKSWORTH D. L. & ROSEF. 1977. — Lichen com-

- munities in the British Isles: a preliminary conspectus, in SEAWARD M. R. D. (éd.), *Lichen ecology*. Academic Press, London, New York & San Francisco: 295-413
- JÜRIADO I. & LIIRA J. 2009. — Distribution and habitat ecology of the threatened forest lichen *Lobaria pulmonaria* in Estonia. *Folia Cryptogamica Estonica* 46: 55-65.
- KETT A., DONG S., ANDRACHUK H. & CRAIG B. 2005. — Learning with Lichens: Using Epiphytic Lichens as Bio-indicators of Air Pollution. *Green Teacher* 77: 27-32.
- LANGE O. L., KILIAN E. & ZIEGLER H. 1986. — Water vapor uptake and photosynthesis in lichens: performance differences in species with green and blue-green algae as phycobionts. *Oecologia* 71: 104-110. <https://doi.org/10.1007/BF00377327>
- LEBRETON E., RIVART S., MEYER C. & LEBLOND S. 2018. — *Suivi spatio-temporel des communautés lichéniques à Paris en lien avec les pressions environnementales*. Rapport UMS PatriNat, Paris, 46 p.
- MARÉCHAL T., MARSY S. & HAPPE D. 2017. — *Enquête participative Lichens forestiers d'Auvergne et du Massif central, résultats d'une mobilisation citoyenne*. DREAL Auvergne Rhône Alpes, Clermont-Ferrand, 18 p.
- MASSON D. 2012. — *Hypotrachyna altorum* sp. nov. a new lichen from the cloud forests of Réunion Island, Indian Ocean. *Cryptogamie, Mycologie* 33 (2): 203-212. <https://doi.org/10.7872/crym.v33.iss2.2012.203>
- MASSON D., DIVAKAR P. K. & SERUSIAUX E. 2015. — *Hypotrachyna penduliloba* and *Remototrachyna pandanu*, two new species in the hyperdiverse lichen family Parmeliaceae from Réunion in the Mascarene Archipelago. *Mycological Progress* 14 (5): 1-15. <https://doi.org/10.1007/s11557-015-1039-x>
- MERINERO S., MARTÍNEZ I., RUBIO-SALCEDO M. & GAUSLAA Y. 2015. — Epiphytic lichen growth in Mediterranean forests: Effects of proximity to the ground and reproductive stage. *Basic and Applied Ecology* 16 (3): 220-230. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2015.01.007>
- MIKRYUKOV V. S., MIKHAILOVA I. N. & SCHEIDEGGER C. 2010. — Reproductive Parameters of *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. *Russian Journal of Ecology* 41 (6): 475-479. <https://doi.org/10.1134/S1067413610060032>
- NATIONALPARKFORSTAMT EIFEL 2014. — *Nationalparkplan, Band 2: Bestandsanalyse*. Nationalpark Eifel, Scliden-Gemünd, 404 p.
- NASCIMBENE J., BRUNIALTI G., RAVERA S., FRATI L. & CANIGLIA G. 2010. — Testing *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. as an indicator of lichen conservation importance of Italian forests. *Ecological Indicators* 10: 353-360. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.06.013>
- NASCIMBENE J., CASAZZA G., BENESPERI R., CATALANO I., CATALDO D., GRILLO M., ISOCRONO D., MATTEUCCI E., ONGARO S., POTENZA G., PUNTILLO D., RAVERA S., ZEDDA L. & GIORDANI P. 2016. — Climate change fosters the decline of epiphytic *Lobaria* species in Italy. *Biological Conservation* 201: 377-384. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.08.003>
- ÖCKINGER E., NIKLASSON M. & NILSSON S. G. 2005. — Is local distribution of the epiphytic lichen *Lobaria pulmonaria* limited by dispersal capacity or habitat quality? *Biodiversity and Conservation* 14: 759-773. <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-004-4535-x>
- OTÁLORA M. A. G., BELINCHÓN R., PRIETO M., ARAGON G., IZQUIERDO P. & MARTÍNEZ I. 2015. — The threatened epiphytic lichen *Lobaria pulmonaria* in the Iberian Peninsula: Genetic diversity and structure across a latitudinal gradient. *Fungal Biology* 119: 802-811. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2015.05.004>
- PIEDALLU C., PEREZ V., SEYNAVE I., GASPAROTTO D. & GÉGOUT J.-C. 2014. — *Présentation du portail web SYLVAE: système d'informations localisées sur la végétation, les arbres et leur environnement*. Agro-ParisTech, Nancy, 10 p.
- PINAULT P. & COSTE C. 2017. — Découverte de *Toninia taurica* (Szatala) Oxner sur la cause Méjean (Parc National des Cévennes, Gatuères, 48). *Bulletin de la Société Botanique du Centre Ouest* 48: 13-14.
- PRIETO M., ROMERA L., MERINERO S., ARAGÓN G. & MARTÍNEZ I. 2015. — Development and characterization of fungal specific microsatellite markers in the lichen *Lobaria scrobiculata* (Lobariaceae, Ascomycota). *The Lichenologist* 47 (3): 183-186. <https://doi.org/10.1017/S0024282915000109>
- R CORE TEAM 2016. — *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- ROUX C., SIGNORET J. & MASSON D. 2003. — *Proposition d'une liste d'espèces de macrolichens à protéger en France*. Association française de Lichénologie, Fontainebleau, 33 p.
- ROUX C. ET COLL. 2017. — *Catalogue des lichens et champignons lichénicoles de France métropolitaine. 2e édition revue et augmentée*. Association française de lichénologie, Fontainebleau, 1581 p.
- SCHEIDEGGER C., BILOVITZ P. O., WERTH S., WIDMER I. & MAYRHOFER H. 2012. — Hitchhiking with forests: population genetics of the epiphytic lichen *Lobaria pulmonaria* in primeval and managed forests in southeastern Europe. *Ecology and Evolution* 2 (9): 2223-2240. <https://dx.doi.org/10.1002%2Fecce.3.341>
- SEED L., WOLSELEY P., GOSLING L., DAVIES L. & POWER S. A. 2013. — Modelling relationships between lichen bioindicators, air quality and climate on a national scale: Results from the UK OPAL air survey. *Environmental Pollution* 182: 437-447. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.07.045>
- SØCHTING U. 2004. — *Flavoparmelia caperata* – a probable indicator of increased temperatures in Denmark. *Graph Scr* 15: 53-56
- TREGIDGO D. J., WEST S. E. & ASHMORE M. R. 2013. — Can citizen science produce good science? Testing the OPAL Air Survey methodology, using lichens as indicators of nitrogenous pollution. *Environmental Pollution* 182: 448-451. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.034>
- VAN DEN BOOM P. P. G., BRAND M., ERTZ D., KALB K., MAGAIN N., MASSON D., SCHIEFELBEIN U., SIPMAN J. M. & SERUSIAUX E. 2011. — Discovering the lichen diversity of a remote tropical island: working list of species collected on Reunion (Mascarene archipelago, Indian Ocean). *Herzogia* 24 (2): 325-349. <https://doi.org/10.13158/hea.24.2.2011.325>
- VAN HALUWYN C., ASTA J. ET GAVÉRIAUX J.-P. 2009. — *Guide des lichens de France*. Éditions Belin, Paris, 240 p.
- VRIGNAUD S., HAPPE D. & DUPERRAY T. 2015. — *Intérêt d'une enquête participative: exemple des écrevisses et des bivalves en Auvergne*. Poster présenté au Colloque « Les Invertébrés dans la conservation et la gestion des espaces naturels » – organisation: CEN Midi-Pyrénées – 13 au 16 mai 2015, Toulouse.
- WELDEN N. A., WOLSELEY P. A. & ASHMORE M. R. 2018. — Citizen science identifies the effects of nitrogen deposition, climate and tree species on epiphytic lichens across the UK. *Environmental Pollution* 232: 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.09.020>
- WERTH S. & SCHEIDEGGER C. 2012. — Congruent genetic structure in the lichen-forming fungus *Lobaria pulmonaria* and its green-algal photobiont. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 25 (2): 220-230. <https://doi.org/10.1094/MPMI-03-11-0081>
- WITTÉ I. & TOUROULT J. 2017. — *Identification et cartographie des zones de méconnaissance naturaliste à l'échelle nationale (métropole) à partir des données partagées*. Service du patrimoine naturel, Muséum national d'histoire naturelle, Paris, 48 p.
- ZOLLER S., LUTZONI F. & SCHEIDEGGER C. 1999. — Genetic variation within and among populations of the threatened lichen *Lobaria pulmonaria* in Switzerland and implications for its conservation. *Molecular Ecology* 8: 2049-2059. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294x.1999.00820.x>

Soumis le 19 décembre 2018;
 accepté le 5 juillet 2019;
 publié le 6 novembre 2019.