HAL
open science

Écologie et fonctionnement des communautés lichéniques saxicoles-hydrophiles

Clother Coste

To cite this version:

Clother Coste. Écologie et fonctionnement des communautés lichéniques saxicoles-hydrophiles. Biodiversité et Ecologie. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2011. Français. NNT : . tel-00745808

HAL Id: tel-00745808

https://theses.hal.science/tel-00745808v1

Submitted on 26 Oct 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par
Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier)

Discipline ou spécialité : *Écologie.*

Présentée et soutenue par

Clother COSTE

Le 23 juin 2011

Titre :
Écologie et fonctionnement des communautés lichéniques saxicoles-hydrophiles.

JURY

Prof. Joel BOUSTIE, MCF Évelyne BUFFAN-DUBAU, DR. Éric CHAUVET, DR. Alain GOJON, Prof. Philippe GRIEU, Prof. Thierry LAMAZE, DR. Jean-François MOROT-GAUDRY et Prof. Pere NAVARRO-ROSINES.

École doctorale : *Sciences de l'univers, de l'environnement et de l'espace (SDU2E).*

Unités de recherche : *Laboratoire d'écologie fonctionnelle et environnement (ECOLAB) et Centre d'études spatiales de la biosphère (CESBIO).*

Directeur(s) de Thèse : *Éric CHAUVET et Thierry LAMAZE.*

Rapporteurs : *Alain GOJON et Pere NAVARRO-ROSINES.*

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS 3
RÉSUMÉ DE THÈSE 5
ABSTRACT THESIS 7
AVANT PROPOS 9
INTRODUCTION 11
CHAPITRE I : FLORE FRANÇAISE DES LICHENS ET CHAMPIGNONS LICHÉNICOLES DES ROCHES DE BERGE DE RIVIÈRE
Introduction 23
Matériel et méthode 23
Clé de détermination 25
Conclusion et perspectives 44
CHAPITRE II : STRUCTURE ET COMPOSITION FLORISTIQUE DES COMMUNAUTÉS LICHÉNIQUES SAXICOLES-HYDROPHILES
Introduction 45
Matériel et méthode 46
Résultats 50
Discussion et conclusion 58
CHAPITRE III : ÉTUDE FONCTIONNELLE DE QUATRE LICHENS « MODÈLES » HYDROPHILES (HYPER, MÉSO, SUBHYDROPHILE) ET NON AQUATIQUE
Introduction 65
Matériel et méthodes 65
Résultats 70
Discussion et conclusion 90
CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES 95
BIBLIOGRAPHIE 101

ANNEXES

CATALOGUE 109
LISTE DES STATIONS PROSPECTÉES 123
GLOSSAIRE 137
PROTOCOLE D'IDENTIFICATION DES ALGUES LICHÉNISÉES 139

Remerciements

De nombreuses personnes m'ont soutenu dans ce travail de thèse, y ont participé et collaboré : qu'elles soient ici très sincèrement remerciées.

J'adresse toute ma gratitude à *Thierry Lamaze* (CESBIO) et *Éric Chauvet* (ÉCOLAB) dont les qualités scientifiques et pédagogiques ont été sans failles au cours de ces trois années de thèse. Je les remercie vivement de m'avoir transmis avec gentillesse et simplicité leurs connaissances et leurs compétences dans l'objectif de faire progresser les savoirs.

J'adresse mes remerciements les plus chaleureux à *Philippe Grieu (INRA)* et *Pierre Maury (INRA)* pour leur aide particulièrement efficace pour les expérimentations sur la photosynthèse en milieu aérien et sur la photochimie des lichens.

Mes plus vifs remerciements s'adressent également à tous les professeurs, enseignants-chercheurs et maîtres de conférence qui m'ont efficacement épaulé pendant mes travaux ; Merci à *Micky Tackx (Écolab)*, *Évelyne Buffan-Dubau (Écolab)*, *Éric Pinelli (Écolab)*, *Gael Grenouillet* (*EDB*), *Jocéphine Leflaive* (*Écolab*), j'ai eu un réel plaisir à travailler à leur côté.

Tout ce travail n'aurait pas vu le jour s'il n'y avait pas eu l'aide très précieuse des ingénieurs et des techniciens d'écolab : je les remercie vivement pour leur aide. *Sylvain Lamothe*, *Frédéric Azémar*, *Jérôme Sylvestre*, *Didier Lambrigot* et *Jessica Ferriol*, grâce auxquels j'ai pu mener toutes mes expérimentations dans les meilleures conditions.

Ce travail de thèse a nécessité beaucoup de campagnes de terrain. L'aide pratique et la sympathie des gestionnaires de milieux naturels m'ont été d'un grand secours. J'adresse donc mes remerciements aux conservateurs et techniciens des réserves naturelles catalanes : *Céline Quélennec*, *Olivier Guardiole*, *Caroline Sentenac*, *Alain Arasa*, *Yann Boutolleau*, *Claude Guisset*, *Raúl Pimenta*, *Fabrice Covato*, *Pascal Gaultier*, *Rosmaryn Staats*. À *Étienne Florence* et l'équipe du secteur de Cauterets du Parc National des Pyrénées. À *Frantz Hopkins* et l'équipe du Parc National des Cévennes.

Toute démarche de thèse commence inévitablement par les recherches bibliographiques, je remercie donc chaleureusement *Mike O'Donoghue* (*Chef de la subdivision Langues*, ENAC), son épouse *Marie-Hélène O'Donoghue* (*Documentaliste*, Écolab) et *William Exbrayat* (OMP) d'avoir mis leurs compétences à mon service avec autant de gentillesse.

Je dois également remercier pour m'avoir transmis des documentations très utiles pour ce travail de recherche : *Joel Boustie*, Professeur à Rennes, *Ted Esslinger*, Department of Biological Sciences, North Dakota State University, *Claude Roux* (CNRS, Marseille), *Pere Navarro-Rosinès*, Enseignant chercheur, Université de Barcelone, *Didier Masson*, professeur de lycée à Biscarosse, *Jean-Pierre Vincent*, Enseignant chercheur, Université Paul Sabatier, *Juliette Asta*, laboratoire de biologie alpine, Université de Grenoble I, *Michel Botineau*, Laboratoire des sciences de l'eau et de l'environnement, Université de Limoges, *Juri Nascimbene*, Université de Trieste, *Paul Diederich*, Musée National d'Histoire Naturelle du Luxembourg.

Mes remerciements les plus sincères s'adressent également à *Gilles Corriol*, coordinateur des actions de connaissance au Conservatoire Botanique National des Pyrénées et de Midi-Pyrénées, *Gérard Largier*, directeur et *Jacques Brune*, Président du conservatoire, sans lesquels ce travail de thèse n'aurait pas pu être développé, ainsi que l'équipe du Conservatoire *Élodie Hamdi*, *Karine Borgella*, *François Prud'homme*, *Ludovic Olicard*, *Carole Hannoire*, *Françoise Laigneau*, *Bruno Durand*, *Lionel Gire*, *Anne Gaultier*, *Nicolas Leblond* et *Nadine Sauter* pour leur sympathie et pour leur appui technique et administratif.

Résumé de thèse

Algues et champignons ont formés par association symbiotique les lichens qui, de par leur amplitude écologique, ont pu coloniser tous les milieux. Nous proposons d'appeler « hydrophiles », les lichens soumis à des périodes d'immersion par les eaux d'un cours d'eau

Les compositions floristiques des communautés lichéniques hydrophiles ont été définies par leur durée annuelle d'immersion. Les groupements subhydrophiles sont immergés pendant moins de trois mois, les groupements mésohydrophiles pendant plus de trois mois et moins dix mois et enfin les groupements hyperhydrophiles sont immergés plus de dix mois de l'année. Sur la base de trois cent relevés effectués par la méthode de prélèvement intégral, un schéma phytosociologique a été construit.

Les lichens présents aux différents niveaux de noyage et d'altitude des cours d'eau forment une classe au sein de laquelle sont identifiés les trois ordres phytosociologiques caractérisés par la durée annuelle d'immersion. Dans chacun de ces ordres, deux alliances sont définies par l'étage bioclimatique. Pour chacune de ces six alliances, des associations de plusieurs lichens existent et sont définies par leurs caractéristiques biotiques.

Du fait de leur fréquence dans un niveau d'immersion et de l'importance de leur recouvrement, quatre lichens « modèles » ont été retenus (une espèce aérienne et trois hydrophyles). Pour la première fois concernant des lichens hydrophiles, les flux de CO_2 et d'O_2 ont été quantifiés sous différents éclairements, en milieux aquatique et aérien. Les pigments photosynthétiques ainsi que l'ergostérol ont été estimés ; la réponse du potentiel photochimique (Ψ_{PSII}) au taux d'hydratation a été caractérisée.

L'activité photosynthétique et respiratoire des lichens hydrophiles est comparable à celle de la littérature pour les lichens aériens. Les lichens hydrophiles démontrent des cinétiques rapides d'hydratation-déshydratation lors des transitions immersion-exondation. Ψ_{PSII} s'avère très sensible à ces transitions. Pour toutes les fonctions étudiées, des différences significatives apparaissent entre les lichens hyper et subhydrophile alors que les lichens mesohydrophiles se comportent de façon intermédiaire.

Nos résultats constituent la première caractérisation écologique et fonctionnelle des lichens hydrophiles. Ils pourront certainement être exploités et développés pour permettre une meilleure compréhension du rôle des lichens dans la colonisation des terres émergées par les phanérogames.

Thesis Abstract

Algae and fungi have formed lichens by symbiotic association, which, due to their ecological amplitude, have been able to colonise all environments. We propose that lichens subject to periods of immersion in river water be called "hydrophilic".

The floristic compositions of hydrophilic lichen communities were defined by the annual duration of their immersion. The sub-hydrophilic groups were immersed for less than three months, the meso-hydrophilic groups for more than three months and less than ten months and finally the hyper-hydrophilic groups were immersed for more than ten months of the year. A phytosociological schema was created, based on three hundred surveys conducted by the integral sampling method.

The lichens present at the various levels of embedment and river altitude form a class comprising of three phytosociological orders, characterised by the annual duration of immersion. Two alliances are defined for each of these orders, by bioclimatic stage. For each of these six alliances there are associations of several lichens, which are defined by their biotic characteristics.

Due to their frequency of immersion and the significance of their recovery, four "model" lichens were selected (one aerial and three hydrophilic species). For the first time with regards to hydrophilic lichens, the flow of CO_2 and O_2 were quantified under different lighting, aquatic and aerial. Photosynthetic pigments and ergosterol were valued; the photochemical potential (Ψ_{PSII}) response to the rate of hydration was qualified.

The photosynthetic and respiratory activity of the hydrophilic lichens is comparable to the literature on aerial lichens. The hydrophilic lichens present rapid hydration-dehydration kinetics during transitions between immersion and exposure. Ψ_{PSII} proves to be very sensitive to these transitions. For all of the functions studied, significant differences appeared between the hyper and sub-hydrophilic lichens, whilst the meso-hydrophilic lichens behaved intermediately.

Our results constitute the first ecological and functional characterisation of hydrophilic lichens. They will certainly be exploited and developed in order to provide a better understanding of the role of lichens in land surface colonisation by phanerogams.

Avant propos

La première mention du terme de lichen[1] apparaît au IV ème siècle avant JC pour désigner les hépatiques[2] (*Théophraste*). Plus tard, le suédois *Acharius* différencie les lichens des autres cryptogames par leur morphologie (1798 à 1814). Ce n'est qu'en 1867 que la véritable nature symbiotique du lichen, symbiose d'une algue ou d'une cyanobactérie et d'un champignon, est décrite pour la première fois par *Schwendener* et *De Bary*. La symbiose est très fréquente dans la nature (les exemples sont nombreux : protozoaires, métazoaires, champignons en symbiose avec divers organismes autotrophes tels que les chlorelles, les spermaphytes …). La spécificité du lichen est de développer une structure particulière unique : le thalle lichénique composé de filaments mycéliens, les mycosymbiotes (les hyphes, hétérotrophes) et de cellules d'algues, les photosymbiotes (les gonidies, autotrophes). Cette double nature permet aux lichens quelques caractéristiques : ils sont capables de stopper leur métabolisme lorsqu'ils sont à l'état sec (forme de résistance) pour reprendre leur activité lorsque les conditions hydriques deviennent favorables ce qui leurs confère une large amplitude écologique. Ils colonisent des zones soumises à des conditions climatiques extrêmes qui dépassent les limites physiologiques de la plupart des végétaux terrestres.

Un lichen est une association stable et indépendante, entre un mycosymbiote et un photosymbiote, dans laquelle le mycosymbiote est le partenaire englobant l'autre dans une structure originale : le thalle lichénique. Cette définition implique la théorie présomptive de la coévolution où les deux partenaires auraient vu leur génome se modifier jusqu'à aboutir à un organisme spécifique pionnier et ubiquiste. Ils sont classés parmi les Opisthoconthes qui sont apparus il y a 680 MA. Cette théorie présomptive et leur position cladistique nous laisse penser que le rôle des lichens a été primordial lors de la conquête des terres émergées par les végétaux.

Les études portant sur les lichens aquatiques continentaux sont rares si bien que la connaissance de leur sociologie, de leur écologie et de leur physiologie reste très parcellaire. Ainsi, l'histoire des relations évolutives entre les lichens marins et les lichens aquatiques d'eau douce nous est totalement inconnue. C'est pourquoi nous proposons dans ce travail d'approfondir les connaissances sur la floristique, l'écologie, la phytosociologie[3], la dynamique ainsi que sur le fonctionnement et le rôle des lichens saxicoles-hydrophiles[4] des écosystèmes aquatiques continentaux.

Les résultats de nos travaux pourront sans aucun doute être exploités dans les domaines de la physiologie, de la systématique, de l'environnement, de la phytosociologie, de l'écologique, de la chimie, de la biochimie et des diverses applications tant médicales qu'industrielles.

---

[1] Un lichen est une association stable et indépendante, entre un mycosymbiote et un photosymbiote, dans laquelle le mycosymbiote est le partenaire englobant l'autre dans une structure originale : le thalle lichénique.
[2] Bryophytes s.l. aux formes aplaties avec une différenciation dorsi-ventrale bien nette et aux feuilles sans nervure centrale.
[3] Étude des associations végétales.
[4] Qui se développent sur les roches soumises à des périodes d'immersion par les eaux d'un cours d'eau.

INTRODUCTION

Les lichens, organismes symbiotiques constitués de l'association entre une algue ou une cyanobactérie (élément autotrophe) et un champignon (élément hétérotrophe), sont classés dans le groupe des Opisthoconthes avec les animaux, les microsporidia et les champignons. Ils sont apparus il y a 680 millions d'années. Au Précambrien (< 543 MA) les algues, les champignons et les lichens primitivement aquatiques arrivent à survivre sur les roches qui bordent les océans. De nos jours, ils colonisent tous les milieux terrestres. Le mécanisme qui a permis aux lichens de résister aux périodes d'exondation dues aux retraits des océans du Précambrien à nos jours, nous est totalement inconnu : *quelles ont été leurs fonctions dans la colonisation des terres émergées et quels mécanismes ont permis leur adaptation à la vie terrestre non aquatique ?* Apporter des réponses à ces questions passionnantes nécessite un important travail de recherche sur l'écologie fonctionnelle de ces organismes.

L'objectif de cette introduction est de faire le point des connaissances actuelles sur les lichens aquatiques continentaux dans tous les secteurs de la biologie (physiologie, floristique, écologie, fonctionnalité).

Recherches bibliographiques

I - Floristique

Malgré un nombre important de publications, l'étude de la flore lichénique européenne reste encore très superficielle. En effet, les ouvrages existants sont anciens pour la majorité et peu homogènes à l'échelle européenne. Le premier ouvrage d'identification est la flore[1] illustrée d'Ozenda et Clauzade (1970) qui est peu utilisée aujourd'hui. Clauzade et Roux publient en espéranto la flore des lichens d'Europe Occidentale (1985) qui est à ce jour l'ouvrage de référence auquel viennent s'ajouter les ouvrages de détermination des flores étrangères (Purvis et al., 1992, Smith et al., 2009 pour les anglais ; Wirth, 1995, pour l'Allemagne ; pour ne citer que les ouvrages majeurs). Un travail important couplant la caractérisation du partenaire fongique à celle de l'algue, et utilisant à la fois des méthodes classiques de morphologie et des méthodes modernes de biologie moléculaire, permettrait de mettre à jour le catalogue des lichens européens.

Le catalogue français comprend à ce jour environ 3900 espèces (Champignons lichénisés[2], champignons lichénicoles non lichénisés[3] et champignons non lichénisés non lichénicoles[4] habituellement étudiés par les lichénologues). Il comprend environ 58 lichens hydrophiles qui colonisent principalement les supports inondables par les eaux d'un cours d'eau, 38 espèces ubiquistes qui colonisent indifféremment les substrats inondables ou soumis à des écoulements de surfaces issus des pluies et enfin 230 lichens ékréophiles qui colonisent principalement les supports soumis à des écoulements de surfaces mais qui pénètrent les zones soumises à des périodes d'inondation par les eaux d'un cours d'eau. La difficulté majeure dans l'étude des lichens aquatiques est la détermination des espèces. En effet les lichens hydrophiles sont pour la plus part des pyrénolichens[5] à thalle crustacé[1] qui nécessitent

---

[1] Ouvrage de détermination.
[2] Lichens
[3] Champignon qui se développe spécifiquement sur les lichens.
[4] Champignon qui se développe sur tous les supports exceptés les lichens.
[5] Fructification de type périthèce.

un important travail de laboratoire pour être déterminés avec certitude. En outre très peu d'espèces sont identifiables sur le terrain contrairement aux macrolichens foliacés[2] et corticoles[3]. Il n'existe pas actuellement de catalogue ou de clé de détermination spécifique des lichens et des champignons lichénicoles qui colonisent les roches des berges des rivières françaises.

Les ouvrages floristiques les plus significatifs pour la France sont : les articles sur l'étude des lichens du Parc National des Cévennes (Roux et al., de 2002 à 2006), les articles cités en bibliographie (Coste, 1990 à 2010) , les résultats des études floristiques en cours des Réserves Naturelles des Pyrénées-Orientales (Prats-de-Mollo-La-Preste, Jujols, Eyne, Nohède, Mantet, Py), les résultats des études personnelles (Coste, inédit) des lichens saxicoles-hydrophiles, effectuées dans les départements suivants : Ardèche, Ariège, Aveyron, Basse-Normandie, Gard, Hautes-Pyrénées, Hérault, Lozère et Vosges.

Quelques articles spécifiques sur les lichens hydrophiles des territoires étrangers ont été également étudiés (Gilbert, 1996 ; Gilbert et Giavarini, 1997, 2000 ; Molitor et Diederich, 1997 ; Valcarcel et al., 1999 ; Valcarcel et Carballal, 2002 ; Nascimbene et Nimis, 2006 et 2007 ; Nascimbene et al., 2007).

II - Systématique

Les ouvrages généraux qui abordent les problématiques de la classification des lichens sont pour la plupart anciens, mais toujours d'actualité : Des Abbaye (1951), Ozenda et Clauzade (1970), Souchon (1971) et Nash III (2008). Le travail de systématique est de nos jours orienté vers la biologie moléculaire. Il existe actuellement 536 familles de champignons, lichénisés et non lichénisés actuellement recensées en fonction des données récentes de la phylogénie moléculaire (Hibbett et al., 2007 ; Cannon et Kirk, 2007). Malgré un travail important dans ce domaine beaucoup d'espèces sont encore à décrire.

La systématique (Classification) des lichens est définie par les caractéristiques structurales du champignon (Bellemère, 1967 ; Roux et al., 1986). Beaucoup d'études de laboratoire sont réalisées pour déterminer la nature et le développement du photosymbiote[4] ou du mycosymbiote[5] (Boissière et al., 1989 ; Pereira,1992). Quelques photosymbiotes ont pu être déterminés ainsi que la description des cycles de multiplication des cyanobactéries dans le thalle lichénique.

Les travaux sur les lichens aquatiques continentaux sont rares et de nombreuses espèces sont encore à décrire (Molitor et Diederich, 1997 ; Valcarcel et al., 1999 ; Valcarcel et Carballal, 2002 ; Orange, 1998, 2000, 2002 et 2004). Les études existantes (Keller, 1995 ; Gueidan et al., 2007 ; Thüs, 2002 et Thüs et Schultz, 2009) ont révélé le haut niveau de variabilité infraspécifique. Un échantillonnage plus dense d'espèces avec moins d'incertitudes phylogénétiques dans les rapports profonds de ce groupe écologique serait nécessaire pour reconstruire l'histoire évolutive de ce groupe de lichens (Gueidan et al., 2007) et définir plus précisément leurs rapports avec les espèces non aquatiques. De plus une analyse des relations taxonomiques entre espèces aquatiques de même écologie apporterait des informations importantes quant à la valeur évolutive de leurs adaptations aux conditions environnementales.

Les lichens aquatiques continentaux se retrouvent dans divers types d'habitats présentant une très forte humidité ou un compartiment d'eau liquide (condensation, ruissellement de

---

[1] Thalle enforme de croûte difficilement détachable du support.
[2] Thalle en forme de feuille large de plusieurs cm^2.
[3] Qui se développe sur les écorces des arbres.
[4] Algues ou cyanobactérie lichénisées.
[5] Champignon lichénisé.

l'eau de pluie ou de condensation, cours d'eau, etc..). En particulier, on les trouve sur les berges des cours d'eau ; sur des roches obligatoirement immergées une période de l'année. Nous proposons d'adopter la terminologie d' « hydrophiles » pour ces derniers qui, se développant à proximité des rivières, nécessitent des périodes d'immersions.

III - Écologie des lichens saxicoles-hydrophiles

III – 1. Zonations des durées d'immersion

Les lichens dépendent d'une période alternative de sècheresse et d'humidité, et ne sont physiologiquement actifs qu'à l'état mouillé. Cependant, une hyperhydratation tout comme la dessiccation sont délétères (Ried, 1960 ; Dietz et Hartung, 1999). L'amplitude des périodes alternatives d'humidité et de sécheresse détermine la composition de la flore lichénique aquatique. La déshydratation des tissus aboutit à un arrêt du métabolisme cellulaire chez les lichens comme chez les autres végétaux. Une trop forte imbibition des tissus semblent chez de nombreuses espèces (notamment non aquatiques) limiter la diffusion des gaz et donc l'activité respiratoire et/ou photosynthétique. Néanmoins, une des caractéristiques étonnante de ces organismes est de pouvoir résister à de longues périodes de très fortes contraintes hydriques et de rétablir une activité métabolique suite à la réhydratation des tissus.

Il existe deux groupes écologiques bien différenciés : 1. les lichens ékréophiles soumis à des périodes d'immersion par les eaux des écoulements de surfaces issus des pluies (James et al., 1977 ; Roux et al., 2006) ; 2. les lichens hydrophiles soumis à des périodes d'immersion par les eaux d'un cours d'eau ; ils sont localisés sur les roches riveraines. Les deux groupements peuvent être nommés aquatiques ou amphibies.

Les zones de contacts écologiques sont nombreuses entre les lichens ékréophiles et hydrophiles (James et al., 1977). Des espèces normalement localisées sur les berges d'un cours d'eau colonisent des surfaces non riveraines constamment humides. Inversement des communautés lichéniques fréquentes en milieu terrestre non hydrophiles peuvent s'observer sur les berges d'un cours d'eau.

Un des facteurs structurant les communautés lichéniques hydrophiles est la durée d'immersion par les eaux du cours d'eau. De nombreux auteurs ont ainsi élaboré une zonation « lichénique » transversale au lit d'un cours d'eau (ou de lacs ; Santesson, 1939 ; Beschel, 1954 ; Gilbert, 1996 ; Gilbert et Giavarini, 2000 et Gilbert et Giavarini, 1997 ; Aptroot et Seaward, 2003). Ces zonations sont basées sur le schéma européen de pourcentage annuel d'inondation des roches en fonction de leur hauteur par rapport au centre de l'axe du cours d'eau (**Figure 1**).

Certains auteurs (Beschel, 1954) proposent d'utiliser la répartition écologique des lichens comme indication du niveau moyen des eaux. La **figure 2** récapitule les diverses zonations proposées.

Des expérimentations sur site (Keller et Scheidegger, 1994) ou des études expérimentales (Valcarcel et Carballal, 2002) ont permis de compléter cette zonation par une quantification des durées d'immersion des supports et des lichens. Trois zones ont ainsi été retenues : 10 mois d'immersion au minimum (85% de l'année, zone d'immersion), 3 mois au minimum (de 84% à 24 % de l'année, zone méso-fluviale) et moins de trois mois (moins de 25% de l'année, zone xérofluviale).

La durée d'inondation n'est pas le seul paramètre structurant les communautés hydrophiles. La vitesse de dessiccation des substrats (Coste, 2005) joue un rôle non négligeable. Celle-ci dépend notamment de l'exposition (ensoleillement et vent) et de la nature de la roche (porosité). Il existe ainsi des zones dites « tampons » où le manque d'immersion est compensé

par une localisation des substrats dans les stations très protégées de la dessiccation (protection du vent ou du soleil, (Nascimbene et al., 2007).

La notion de « durée d'hydratation » (Coste, 2009) permet finalement une meilleure compréhension des groupements. Cette nouvelle notion prend en compte globalement : la durée d'immersion par les eaux d'un cours d'eau, la vitesse de dessiccation des substrats et enfin la turbulence des eaux. Plusieurs termes sont proposés pour nommer les lichens des trois zones d'inondation.

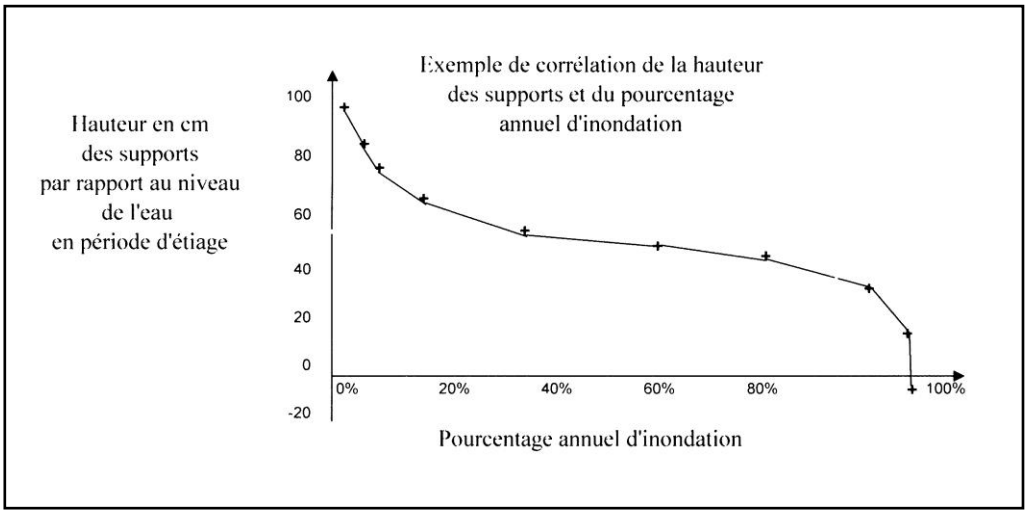

Figure 1 : Exemple de corrélation de la hauteur des substrats et du pourcentage annuel de noyage (Schéma type européen, Santesson, 1939).

Différentes zones	Nominations	Caractéristiques
Zone d'immersion	Inondation permanente	
Zone meso-fluviale	Lichens amphibies	Inclus les lichens de la zone xérofluviale inférieure
Zone xero-fluviale	Lichens xérophiles	Subdivisée en deux zones : inférieure et supérieure.

Figure 2 : Zonation selon Gilbert (1996) et Gilbert et Giavarini (1997), reprise par Aptroot et Seaward (2003).

III – 2. Caractéristiques écologiques

Bien que la durée d'immersion soit le principal facteur influençant la répartition des lichens hydrophiles, ces derniers sont sensibles à de nombreuses autres caractéristiques écologiques. Plusieurs auteurs ont précisés ces caractéristiques (James et al., 1977 ; Pereira, 1992 ; Gilbert, 1996 ; Gilbert et Giavarini, 1997, 2000 ; Thüs, 2002 ; Thüs et Schultz, 2009 ; Valcarcel et Carballal, 2002 ; Aptroot et Seaward, 2003 ; Krzewicka et Galas, 2006).

En résumé (Coste, 2005), les lichens hydrophiles dépendent :

1. de la présence de roches suffisamment stables dans le ruisseau ou la rivière : les roches instables ne permettent pas l'installation de groupements lichéniques en raison de la très lente croissance de ces derniers ;
2. du niveau de charge sédimentaire de l'eau : lorsque les sédiments sont abondants, ils se déposent sur la roche et les lichens eux même, endommageant leurs tissus ou inhibant leur développement ;

3. de la charge en polluants de l'eau : les lichens aquatiques sont très sensibles à toute forme de pollution de l'eau ;
4. de la force du courant : lorsque le courant est fort, il exerce sur la roche un pouvoir "décapant" qui endommage les thalles ou même empêche l'installation des groupements lichéniques. Lorsque le courant est modéré, seuls certains peuplements, dits rhéophiles, peuvent s'installer. Au contraire, lorsque le courant est faible ou nul, s'installent d'autres peuplements dits rhéophobes. »

IV - Hiérarchisation phytosociologique

IV – 1. Phytosociologiques

Il existe à ce jour deux méthodes d'études phytosociologiques[1]. La méthode classique dite de prélèvements partiels (Wirth, 1972 : étude d'une grande surface de l'ordre du m^2, détermination des espèces sur le terrain et prélèvements aléatoires des espèces non identifiées) et la méthode de prélèvement intégral (Roux, 1990 : prélèvement d'une surface supérieure à l' « aire minimale[2] » qui est de l'ordre de 200 cm^2 pour les lichens crustacés et détermination au laboratoire de toutes les espèces présentes sur la roche). La première méthode a été utilisée pour construire tous les schémas phytosociologiques[3] existants qui sont présentés au paragraphe suivant. La méthode de prélèvement intégral a été récemment utilisée pour la première fois en France pour les communautés lichéniques hydrophiles (Coste, 2005). Cette méthode si elle est longue et fastidieuse en laboratoire permet des analyses écologique et floristique particulièrement précises qui génèrent des hiérarchisations intéressantes.

IV – 2. Hiérarchisations

Il existe peu de schémas phytosociologiques (Klement, 1955 ; Wirth, 1972, 1980 et 1995 ; Thüs, 2002 ; Thüs et Schultz, 2009). Quelques associations lichéniques[4] observées en Europe sans indiquer de hiérarchisation phytosociologique sont proposées (Asta, Clauzade et Roux, 1972 et 1974 ; Asta, 1975 ; James et al., 1977 ; Gilbert, Coppins et Fox, 1988 ; Gilbert, 1996 ; Gilbert et Giavarini, 1997 et 2000 ; Roux, Bricaud et Trachida, 1999 et 2001). La synthèse de ces travaux est présentée par le schéma suivant, seules les communautés lichéniques hydrophiles sont prises en compte en excluant les communautés lichéniques ékréophiles, hygrophiles ou de contact telles que : *Ephebetum lanatae* Frey 1922 ; *Caloplaco-Verrucarietum praetermissae* Pereira y Llimona 1992 ; *Porinion lectissimae* Wirth 1980 ; *Porpidietum glaucophaeae* Wirth 1969.

***Classe** : Aspicilietea lacustris* Wirth 1972
***Ordre** : Aspicilietalia lacustris* Drehwald 1993
***Alliance** : Verrucarion siliceae* Wirth 1972
***Associations** :*
Verrucarietum siliceae Wirth 1972
Verrucarietum hydrelae Wirth 1972
(?) *Verrucarietum elaeomelaenae* Wirth 1972
***Alliance** : Verrucarion praetermissae* Cernohorsky et Hadac emend. Wirth 1972
***Associations** :*

[1] Étude des associations végétales. La phytosociologie cherche à décrire les compositions floristiques, l'architecture, mais aussi le fonctionnement dynamique et écologique.
[2] Surface au-delà de laquelle le nombre d'espèces n'augmente plus.
[3] Classification des associations végétales en classe, ordre, alliance et association.
[4] Groupement floristique statistiquement homogène qui possède au moins deux espèces caractéristiques.

Ionaspidetum suaveolentis Frey 1922
Porpidietum hydrophilae Ullrich 1962 emend. Drehwald 1993

Autres associations proposées par divers auteurs mais non hiérarchisées :
Staurotheletun fissae Klement 1955
Thelidietum aeneovinosi Motyka 1925
Staurotheletum solventis Asta, Clauzade et Roux 1973
Verrucarietum knowlesiae Roux, Bricaud et Trachida 1999

Plusieurs communautés sans hiérarchisation, sont proposées par Pereira (1992) :
Communauté à *Staurothele immersa* f. *geographica*
Communauté à *Staurothele frustulenta*
Communauté à *Verrucaria margacea* et *V. submersella*

Par comparaison avec les autres milieux très étudiés en phytosociologie (Communautés corticoles[1], saxicoles[2] non aquatiques …), on constate une insuffisance des schémas proposés ainsi qu'une difficulté à intégrer les résultats récents dans cette hiérarchisation proposée par Wirth en 1972. Un important travail de hiérarchisation basé sur l'étude de nombreux relevés effectués par la méthode de prélèvement intégral et réalisés dans plusieurs départements français est à envisager afin d'améliorer la compréhension du synsystème[3]. D'autre part compte tenu de l'originalité écologique de ces communautés lichéniques, il convient de définir leurs rôles au sein des écosystèmes aquatiques en fonction de leur spécificité écologique.

V – Fonctionnement des lichens hydrophiles

Quelques auteurs (Nash III, 2008 ; Thüs et Schultz, 2009) présentent dans des ouvrages généraux les grands axes fonctionnels des lichens saxicoles-hydrophiles.

V – 1. Physiologie

La première donnée sur l'activité photosynthétique des lichens hydrophiles apparaît dans Souchon (1971) qui indique que les lichens aquatiques (*Verrucaria elaeomelaena* par exemple) ont « *une photosynthèse maximum à saturation en eau ce qui constitue une particularité en rapport avec leur milieu de vie* ». Il n'existe pas, à notre connaissance, d'autres publications sur cette thématique pour les communautés hydrophiles. L'activité photosynthétique, réalisée par l'algue symbiotique, et l'intensité respiratoire ont fait l'objet de nombreuses travaux, en relation avec l'incorporation de divers polluants, le niveau d'hydratation et la nature des photosynthétats produits par les lichens terrestres non aquatiques (Palmqvist, 1995 ; Palmqvist et al., 1997, 1998 et 2002 ; Liden et al ;, 2010 ; Jonsson et al ;, 2010). Seules les publications pouvant éventuellement être pertinentes pour des études sur l'activité photosynthétique des lichens hydrophiles ont été prises en compte.

Il existe une forte dépendance entre la photosynthèse nette, la respiration nocturne et le niveau d'hydratation du lichen. L'eau est un facteur prépondérant pour la photosynthèse (Vincent, 1987 ; Linden et al., 2010 ; Jonsson et al, 2010). Le maximum d'activité des lichens se situe au voisinage de la saturation et se réalise pour une hydratation des thalles située entre 130 et 235 % d'eau sur la base de la matière sèche (MF-MS/MS), ce qui se rencontre le matin

[1] Qui se développe sur les écorces.
[2] Qui se développe sur les roches.
[3] Classification phytosociologique.

après imprégnation grâce à l'humidité de la nuit ou lors des périodes pluvieuses orageuses. Une hyper saturation en eau diminue considérablement (Kershaw, 1977) l'activité photosynthétique (assimilation et respiration). Á titre d'information le taux d'assimilation de CO_2 pour *Peltigera canina* (Cyanolichen à thalle foliacé) est compris entre 0,27 et 2,90 mg de $CO_2.g^{-1}MS.h^{-1}$ pour une teneur en eau des thalles de 75 à 115 % (Kappen et Breuer, 1991). Le maximum d'intensité respiratoire (Vincent, 1989) se situe, comme pour la photosynthèse, proche de la saturation en eau des thalles. Selon Görs et al. (2007), l'ergostérol (composant de la membrane fongique) est le marqueur le plus approprié pour l'évaluation de la masse fongique lichénique. Sundberg et al. (1999) montre que l'ergostérol est un bon indicateur de l'intensité respiratoire lichénique.

Selon Bruns-Strenge et Lange (1992), la photosynthèse nette des lichens (influx de CO_2) est la plus forte en automne, elle est plus faible au printemps et en été, et de moitié en hiver. Selon les auteurs, les températures sont en grandes parties responsables de ces différences. La photosynthèse nette dépasse très largement la quantité de carbone qui est intégrée dans une nouvelle biomasse par unité de temps (Lange et Green, 2005 et 2006), ce qui justifie la très lente croissance des lichens. Ceci résulte de la respiration (efflux de CO_2) qui atteint des niveaux élevés et qui est d'autant plus importante que la photosynthèse est elle-même élevée. La faible intégration de carbone dans la nouvelle biomasse est de ce fait similaire toute l'année.

L'efficacité photosynthétique et les périodes d'activités des lichens sont dépendants de la nature du partenaire autotrophe. Selon Hill (1993), le champignon contrôlerait la taille de la masse algale lichénisée. Les algues vertes symbiotiques cessent leur activité photosynthétique pendant les épisodes de fortes dessiccations et d'hyperhydratations du thalle (Bilger et al., 1989 ; Kappen et Breuer, 1991 Green et al., 1993 et Lange et al., 2001). Elle possède la capacité de développer une activité en utilisant l'eau sous forme vapeur. Dans le cas des cyanobactéries symbiotiques, on observe une importante activité photosynthétique lorsque le thalle est en « hypersaturation » en eau. Ces lichens nécessitent un contact direct avec de l'eau sous forme liquide (Lange et al., 1993).

La capacité de rétention en eau du lichen, la vitesse de dessiccation du thalle ainsi que le point de compensation de température sont des facteurs déterminant du niveau d'activité photosynthétique. La lumière et l'humidité affectent aussi fortement l'activité métabolique (Reiter et al., 2008 ; Davis et al., 2003). Les UV-B solaires n'ont pas d'influences sur la respiration ni sur la photosynthèse nette mais un impact sur la production des substances lichéniques (Bachereau et Asta, 1998). L'activité photosynthétique diminue plus rapidement que le poids du lichen.

De nombreuses publications présentent les résultats d'analyses de rendements de fluorescence. Ces méthodes permettent d'évaluer le potentiel photochimique du photosystème 2 (PS_2, Ψ_{PSII}), notamment en fonction des variations de l'hydratation des thalles (Calatayud et al., 1997 ; Linden et al., 2010). La plupart de ces études a été réalisée sur des macrolichens corticoles non aquatiques à thalle foliacé tels que *Flavoparmelia caperata*.

Tout comme l'activité physiologique, la nature des pigments contenus dans les thalles lichéniques peut varier. Czeczuga et Olech (1990) ont identifié chez 21 espèces de lichens les carotenoïdes suivants : neurosporene, alpha et bêta carotène, Bêta cryptoxanthine, luteine, zeaxanthine, antheraxanthine, canthaxanthine, alpha doradexanthine, diadinoxanthine, fucoxanthine, fucoxanthinol, violaxanthine, neoxanthine, mutochrome, flavochrome, mutatoxanthine. Les auteurs indiquent que la diadinoxanthine, la fucoxanthine, le fucoxanthinol et le paracentrone ont été observés pour la première fois dans les lichens. Les taux varient entre 13,6 et 79,8 µg par g de matière sèche. D'autre part, Descy JP. et Métens A. (1996) ont démontré la proportionnalité du taux de chlorophylle *a* et la masse algale.

D'autres travaux présentent le rôle des différents pigments photosynthétiques et des substances lichéniques dans la résistance aux stress : oxydatif, thermique, lors de forte dessiccation ou de l'impact de substances toxiques sur la reproduction fongique (Calatayud et al., 1997 ; Dietz et Hartung, 1999 ; Sundberg et al., 1999 ; Kranner et al., 2003 ; Kranner et al., 2005). Le Glutathion (composé constitué de 3 acides aminés dont la cystéine et son groupement thiol fournisseur d'hydrogène) joue un rôle prépondérant pour la tolérance à la dessiccation de nombreuses espèces (Kranner, 2002 ; Kranner et al., 2006).

V – 2. Colonisation des surfaces vierges

Il existe peu de travaux publiés sur le processus de colonisation des surfaces vierges par les lichens (Keller, 2005 ; Asta et al., 1986, 1990, 2001 ; Asta et Letrouit, 1994 et 1995). Les étapes décrites (Asta et al., 1986, 1990, 2001 et Asta et Letrouit, 1995) de colonisation d'une roche vierge démontrent qu'il existe plusieurs scénarii et des phénomènes qui se conjuguent. Sur un support identique peuvent cohabiter des thalles grands et jeunes mais également des thalles petits et vieux.

Le dépôt d'une spore susceptible de germer sur le substrat vierge (Lawrey, 1983) peut provenir des déjections de mollusques ou d'une dispersion passive par fragmentation de thalles pré-existants.

Une connaissance des caractéristiques physiologiques de chaque espèce hydrophile pourrait nous renseigner utilement sur les mécanismes de colonisation des surfaces vierges, et permettre d'identifier de possibles différences en fonction de la zone d'immersion. Pourquoi certains lichens sont réhophiles[1] et d'autres réhophobes ?

Les colonisations des supports artificiels installés dans plusieurs cours d'eau Suisses (Keller, 2005) donnent quelques résultats intéressants. Après quatre mois d'installation les supports sont colonisés par des algues, des champignons aquatiques et des bactéries. Les premières colonisations lichéniques sont observées après trois années voire quatre ou cinq années pour certains sites et selon l'étage bioclimatique. Les premières espèces à coloniser ces supports sont les lichens les plus fréquents dans chaque site d'expérimentation, ils appartiennent au genre *Staurothele* et *Verrucaria* (cf. *Verrucaria hydrela*).

V – 3. Réseau trophique

Il existe quelques publications sur les différentes associations avec les invertébrés terrestres non aquatiques et les lichens. La biomasse lichénique est une ressource importante pour les arthropodes, tardigrades et rotifères (Gerson et Seaward, 1977 ; Stubbs, 1989) et de fait la biomasse d'invertébré est proportionnelle à la biomasse lichénique au niveau de la canopée (Petterson et al., 1995). Une diminution de la biomasse lichénique induit une diminution d'invertébrés et par conséquent une baisse considérable de la biodiversité faunistique. Il existerait aussi (Lawrey, 1983 ; Fröberg et al., 1993 ; Benesteri et Tetriach, 2004) une « hypothèse de préférence » des mollusques pour certains lichens quelle que soit la nature de la substance lichénique produite. Certains mollusques auraient une préférence pour des thalles qui auraient accumulé de fortes concentrations en éléments biogènes telles que le calcium, l'azote ou le phosphore. Les gastéropodes brouteurs en particulier s'attaquent d'abord aux structures lichéniques riches en lipide telles que les fructifications et ensuite au cortex, riche en Ca.

---

[1] Se développe sur les roches soumises à des périodes d'immersion dans les zones où les eaux sont à forte énergie.

La répartition des différents éléments biogènes dans les couches anatomiques de certains lichens joue un rôle important pour leur consommation par les invertébrés. Cette répartition des éléments biogènes ou polluants dans un lichen peut être expliquée par leur fonction dans les cycles biogéochimiques : capacité d'absorption en fonction des durées d'immersion.

Les recherches bibliographiques concernant les relations entre les lichens hydrophiles et les invertébrés d'eau douce ont été infructueuses. Cependant, on peut supposer, à la lumière de l'existence de relations trophiques entre les lichens et les invertébrés terrestres, que de telles relations existent également en milieu aquatique.

V – 4. Cycles biogéochimiques

Dans cette thématique les expérimentations en laboratoire sont nombreuses pour les lichens terrestres non aquatiques mais inexistants pour les espèces hydrophiles. Je ne citerai que les travaux les plus significatifs transposables aux lichens aquatiques et plus particulièrement la localisation des éléments biogènes dans les diverses couches structurales ainsi que les modalités d'absorption et de re largages de ces éléments par un lichen non aquatique.

Les éléments biogènes tels que Ca, K, Mg et P ont un rôle important dans la nutrition des végétaux après la mort du lichen. La localisation de ces éléments dans les différentes couches anatomiques de quelques lichens foliacés et fruticuleux est bien connue (Asta et Garrec, 1980 ; Asta, 1992). Les cortex inférieur et supérieur sont riches en Ca ; la couche gonidiale est riche en K, Mg et P avec une quasi absence de Ca. Il existe une forte corrélation entre les concentrations des éléments et les facteurs du milieu analysé.

Les lichens saxicoles (Silva et al., 1999) ont cette particularité de réduire la perte des éléments mobiles de la roche pendant l'érosion. Les communautés lithobiontiques (De Los Rios et al., 2002) forment un biofilm d'interface avec de fortes interactions géochimiques et géophysiques avec le support. Les lichens, les cyanobactéries, les champignons et les algues colonisent préférentiellement les surfaces du support les plus soumises aux effets de l'érosion. On peut supposer une action similaire en milieu aquatique.

V – 5. Pollutions

Il existe de nombreuses publications sur la sensibilité des lichens aux divers facteurs de pollution atmosphérique et sur l'assimilation par les lichens terrestres de divers polluants (Belandria et al., 1989 ; Déruelle, 1992 et 1993 ; Monnet et al ;, 2005 ; Backor et Loppi, 2009). Les fortes pollutions affectent les principales fonctions du lichen (Vincent, 1990). Ces perturbations de l'activité physiologique apparaissent souvent sans que l'on puisse observer de véritables lésions extérieures quand on soumet un lichen aux atmosphères urbaines polluantes. Une nouvelle méthode d'exploration par photographie infrarouge couleurs (Gouaux et Vincent, 1990) démontre que les réponses spectrales sont différentes pour les lichens des zones polluées et pour les lichens des zones non polluées. Il y a une chute de l'indice de végétation des lichens implantés dans des zones polluées.

De la même manière, il existe une très forte dépendance dans les relations entre la dégradation de la flore lichénique aquatique et les diverses pollutions des eaux (James el al., 1977 ; Glime, 1992 ; Perreira, 1992 ; Molitor et Diederich, 1997 ; Chatenet et Botineau, 1999 ; Nascimbene et Nimis, 2007). Les lichens aquatiques concentrent de façon très significative divers facteurs de pollution dont les métaux lourds (Botineau et Ghestem, 1995 et Chatenet et al., 1997, 2001 et 2002).

V – 6. Successions autogéniques lichéniques

Les recherches bibliographiques sur le thème des successions autogéniques des communautés lichéniques hydrophiles se sont révélées infructueuses. Des suivis diachroniques ont été faits (Ménard, 1997) pour les communautés lichéniques saxicoles non aquatiques afin de déterminer la dynamique des peuplements. Il est habituellement admis pour les communautés végétales (vasculaires) que les différents stades (successions les plus fréquentes) appartiennent à des syntaxons[1] de rangs supérieurs différents.

Les stades de successions (Jun, 2005) se déroulent en quatre points : stade I, pionnier ; stade II, transitoire ; stade III, substitution ; stade IV, spécialisation. Il semblerait que la saturation des cortèges (enrichissements au sein d'un même syntaxon) concomitant à une substitution liée au passage d'un stade de rang supérieur à un rang inférieur soit le modèle plus fréquent pour les communautés cryptogamiques (Coste, observations personnelles).

La diversité des champignons lichénicoles et la diversité des lichens augmentent au cours de l'évolution normale des successions des communautés lichéniques (Lawrey et Diederich, 2003).

Une importante étude des successions autogéniques lichéniques devrait être entreprise pour comprendre les relations entre la classification phytosociologique, la colonisation des surfaces vierges et le rôle des lichens comme interface biogéochimique ou biogéophysique.

Conclusion et perspectives

Par leur amplitude écologique, les lichens ont certainement tenu un rôle important voire déterminant dans l'expansion des espèces : *quelles ont été leurs fonctions dans la colonisation des terres émergées et quels mécanismes ont permis leur adaptation à la vie terrestre non aquatique* ? Les recherches bibliographiques si elles apportent quelques éléments de réflexions, ne permettent pas de répondre aux questions posées sur le fonctionnement des espèces hydrophiles.

Pour tenter de cerner le rôle des lichens au cours de l'émergence des terres, il faut donc avant tout s'intéresser aux lichens des berges des cours d'eau (lichens hydrophiles) et essayer de comprendre leur fonctionnement par rapport à leur durée d'immersion, dans le but d'obtenir des réponses sur leur adaptation éventuelle aux différents temps de noyage des roches riveraines. Un modèle d'adaptation permettrait sans aucun doute de comprendre le rôle fonctionnel des lichens pour l'évolution des espèces et leur expansion.

Le premier travail qui apportera de nouvelles informations sera de réaliser un catalogue et une clé de détermination des espèces (lichens et champignons lichénicoles) et d'améliorer les caractéristiques écologiques des groupements saxicoles-hydrophiles. Pour ce faire un nombre important de relevés doit être réalisé dans différentes régions par des méthodes scientifiquement rigoureuses comme la méthode de prélèvement intégral. De fait une hiérarchisation écologique des espèces selon les méthodes phytosociologiques classiquement utilisées pourra être réalisée et améliorera les schémas actuellement proposés. Lorsque les caractéristiques écologiques et floristiques des communautés lichéniques saxicoles-hydrophiles seront mieux comprises, il sera possible de développer des expérimentations en vue de mieux apprécier leurs caractéristiques fonctionnelles.

Pour ce dernier point, plusieurs axes peuvent être envisagés. Ces différents axes de recherches concernent tout d'abord un important travail de laboratoire mais également un important travail d'expérimentations de terrain.

---

[1] Association phytosociologique.

Une étude de l'activité photosynthétique des lichens hydrophiles en fonction de l'état d'hydratation permettra d'interpréter les flux de CO_2 et d'O_2 en fonction de la durée d'immersion. La détermination et la quantification des pigments photosynthétiques complèteraient les résultats des flux CO_2 et d'O_2. En outre le dosage de l'ergostérol apportera des informations sur la masse fongique et donc sur le niveau d'intensité respiratoire. Ces données (respiration et assimilation) permettront de mieux apprécier le rôle de chacun des protagonistes (algue et champignon) pour le lichen. Pour approfondir ces résultats il serait également intéressant de mesurer le potentiel photochimique (Ψ_{PSII}) de quelques espèces en fonction de leur taux d'hydratation ce qui permettra de connaître l'adaptation biologique des espèces aux caractéristiques écologiques qui leur sont propres.

Un deuxième axe de recherche doit être engagé : le rôle des lichens saxicoles-hydrophiles dans les cycles biogéochimiques et leur sensibilité aux diverses pollutions. En effet il serait pertinent de comprendre les relations entre les éléments biogènes ou polluants en solutions dans l'eau du cours d'eau ou de pluies et l'écologie des communautés lichéniques saxicoles hydrophiles car très peu de données existent sur cette thématique.

Pour compléter le deuxième axe précédemment cité, le rôle des lichens dans le réseau trophique devrait être étudié. Il n'existe aucune donnée sur cette thématique, et les relations avec l'axe précèdent donneraient certainement des résultats intéressants (bioamplification par exemple).

Enfin un travail d'expérimentations de terrain doit être envisagé pour mieux apprécier le mode de colonisation des surfaces vierges et les étapes de cette colonisation : des colonisations pionnières aux associations climaciques (successions autogéniques).

Pour ces axes les données bibliographiques sont inexistantes, si bien qu'un programme ambitieux de recherche en laboratoire mais aussi de terrain doit être envisagé.

CHAPITRE 1

Flore française des lichens et champignons lichénicoles des roches de berge de rivière

Introduction

Malgré un nombre important de publications, l'étude de la flore lichénique européenne reste encore très superficielle. En effet, les ouvrages existants sont anciens pour la majorité et peu homogènes à l'échelle européenne. Ces flores offrent cependant quelques possibilités de détermination des taxons saxicoles-hydrophiles, mais elles restent, par absence de recherches soutenues, très incomplètes en termes d'espèces qui sont par ailleurs décrites de manière superficielle du fait du peu d'échantillonnages effectués. Cette lacune est due à la difficulté de prélèvement des espèces qui doivent, pour être étudiés sérieusement au laboratoire, être récoltées avec leur support, ce qui représente une contrainte de terrain non négligeable (dureté et accessibilité de la roche).

D'autre part les lichens saxicoles-hydrophiles comprennent de nombreux pyrénolichens à thalle crustacé qui sont difficiles à identifier. En effet de nombreuses observations microscopiques sur des coupes fines, ainsi que des réactions colorées sur les différentes structures des ascocarpes[1], sont nécessaires pour la détermination des taxons, mais délicates à réaliser.

Enfin les travaux européens publiés actuellement sur les espèces hydrophiles et réalisés sur la base d'études effectuées dans des périmètres géographiques réduits ne reflètent pas la diversité bioclimatique de la France (climats méditerranéen, atlantique et continental) et plus généralement celle de l'Europe occidentale.

Un outil spécifique d'identification des taxons saxicoles-hydrophiles est donc indispensable pour faciliter l'étude des communautés de lichens et des champignons lichénicoles qui se développent sur les roches de berge des cours d'eau de géomorphologie variée et différents climats et reliefs européens.

Matériel et méthode

Il est évident qu'une étude exhaustive du territoire français était impossible dans le laps de temps qui nous était imparti. Nous avons sélectionné en fonction des contraintes climatiques, logistiques et financières, une série de cours d'eau situés pour la majorité dans le sud de la France mais également dans le nord-est (Lorraine) et le nord-ouest (Bretagne). Les rivières étudiées (environ 50) sont situées sous les différents climats français : méditerranéen, atlantique ou continental. Les espèces ont été prélevées avec leur support à l'aide d'un

[1] Fructifications.

marteau et d'un burin par cheminement le long des berges du cours d'eau. Les éclats de roche prélevés sont introduits dans une enveloppe papier pour le transport. Les poches plastiques sont à proscrire car elles accélèrent le pourrissement des thalles. Les caractéristiques environnementales ont été notées sur les enveloppes. Ainsi l'altitude a été obtenue à l'aide d'un GPS (projection WGS 84) ; les orientations générale et locale ont été relevées à l'aide d'une boussole ; la nature du support a été déterminée au laboratoire à l'aide de la clé de détermination des roches (Clauzade, 1992) ; l'inclinaison du support a été estimée sur le terrain (0°, 30°, 45° et 90°). Pour évaluer l'effet de la durée d'immersion annuelle des espèces, les relevés ont été effectués à différent niveau d'éloignement du centre de l'axe du cours d'eau (**Figure 1**). La localisation du relevé par rapport au niveau de la berge (PSLA[1], PILA[2] et CE[3]) a été déterminée en période d'étiage. Les relevés ont été effectués au niveau de l'eau pour le CE, puis dans la partie supérieure du lit apparent identifiée à l'aide de différents indices : divers dépôts transportés par les hautes eaux de la rivière, présence d'une flore phanérogamique et/ou d'une flore lichénique franchement non hydrophile. Le troisième relevé a été effectué au centre des deux premiers relevés.

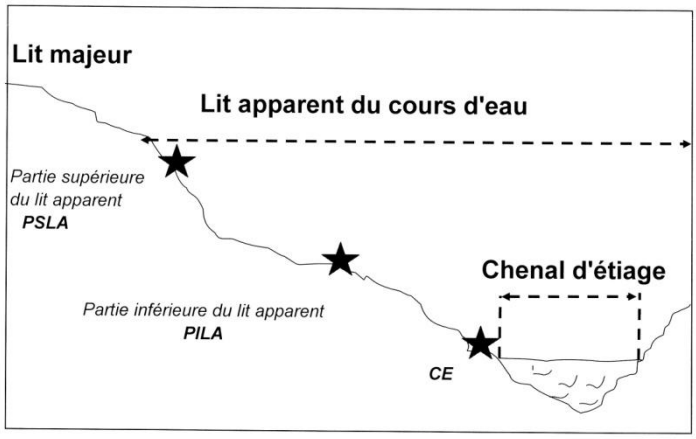

Figure 1 : Localisation des relevés.

Les lichens saxicoles ne sont, pour une grande majorité, pas identifiables sur le terrain. Les déterminations doivent être réalisées au laboratoire avec une loupe binoculaire et un microscope. Tous les éclats de roche pour chaque relevé ont été étudiés pour déterminer tous les taxons présents.

Pour les déterminations, nous avons utilisé un stéréomicroscope (grossissement de 6 à 50 fois), un microscope à transmission équipé d'un dispositif à contraste interférentiel (grossissement de 60 à 1500 fois) et les réactifs chimiques usuels :

– KOH (solution aqueuse à 20 %) : noté K dans les clés de détermination. Déposer une fine goutte de K sur la partie du lichen à tester et attendre la coloration qui peut être assez longue à venir.

– NaClO (solution aqueuse concentrée (10%) d'eau de javel du commerce, diluée 2 fois et préparée avant les séances de détermination) : noté C dans les clés de détermination. Déposer une fine goutte de C sur la partie du lichen à tester et attendre la coloration qui peut être assez longue à venir. Lorsque dans les clés de détermination il est mentionné KC, il faut déposer une fine goutte de K sur la partie du lichen à tester, laisser agir quelques secondes, éliminer l'excédent de K avec du papier absorbant puis déposer une fine goutte de C et attendre la coloration qui peut être longue à venir.

---

[1] Partie supérieure du lit apparent
[2] Partie inférieure du lit apparent
[3] Chenal d'étiage

– HNO_3 (solution aqueuse à 50 %) : noté N dans les clés de détermination. Pour tester l'épithécium, lorsque une coupe fine est montée dans l'eau entre lame et lamelle, il faut avec du papier absorbant retirer l'eau du montage d'un côté de la lamelle et la remplacer simultanément de l'autre côté de la lamelle par N à l'aide d'une pipette pasteur.

– KI (solution iodo-iodurée : lugol) : noté I dans les clés de détermination. Pour tester la médulle du lichen, il suffit de mettre la médulle à nue à l'aide d'un scalpel et déposer un fine goutte d'I et attendre la réaction bleue s'il y a lieu. Pour tester les sommets des asques procéder comme avec l'N ci-dessus.

– $C_6H_8N_2$ (paraphénylène diamine) solution alcoolique fraîchement préparée (quelques cristaux dans quelques gouttes d'alcool à brûler) : noté P dans les clés de détermination. Déposer une fine goutte de P sur la partie du lichen à tester et attendre la coloration qui peut être assez longue à venir.

Pour les réactions avec les UV : mettre la médulle du lichen à nue à l'aide d'un scalpel, se placer dans une pièce obscure et allumer la lampe à UV (lampe à UV de poche du commerce pour philatélistes) et observer la coloration de la médulle.

Les coupes sont réalisées sous la loupe binoculaire à l'aide d'un scalpel munie d'une lame neuve et sur des échantillons secs (pour faciliter les coupes). La coupe est déposée sur une lame sur laquelle il est déposé au préalable une goutte d'eau ou de KOH (pour éclaircissement du montage) puis recouvert d'une lamelle. Les observations sont réalisées dans la majorité des cas au grossissement de 400 ou à l'immersion au grossissement de 1000.

Tous les lichens et les champignons lichénicoles non lichénisés récoltés ont été déterminés. Les ouvrages de détermination utilisés sont :

– Pour les lichens : Clauzade et Roux, 1985 (et les suppléments) ; Ozenda et Clauzade, 1970 ; Purvis et al., 1992 ; Smith et al., 2009 ; Thüs , 2002 ; Thüs et Schultz, 2009 ; Wirth, 1980 et 1995.

– Pour les champignons lichénicoles non lichénisés : Clauzade et al., 1989 et de nombreuses publications récentes mentionnées en bibliographie.

Le catalogue (donné en annexe) a été réalisé grâce aux flores précédemment citées, aux données de la base relationnelle du conservatoire botanique national Des Pyrénées et de Midi-Pyrénées (CBNPMP) et au catalogue des lichens de France (Roux et coll., en préparation, version 09/2010).

Clé de détermination

0.
Lichen (Champignon lichénisé) 1
Champignon non lichénisé mais lichénicole 52

1.
Chlorolichen 2
Cyanolichen 45

2.
Thalle foliacé ou squamuleux 3
Thalle crustacé 13

3.
Pyrenolichen 4

Discolichen 5

4.
Spores simples ..... *Dermatocarpon*
Spores murales ..... *Endocarpon*
Spores uniseptées ..... *Placidiopsis crassa*

5.
Asque octosporé 6
Asque contenant plus de 8 spores ..... *Acarospora*

6.
Spores simples 7
Spores septées ou polariloculaires 9

7.
Thalle de type grand foliacé ..... Groupe « grands foliacés »
Thalle de type crustacé lobé 8

8.
Apothécie cratériforme ..... *Aspicilia*, *Lobothallia*
Apothécie cupuliforme ..... *Lecanora*

9.
Spores brunes 10
Spores incolores 12

10.
Thalle K+ très jaune ..... *Physcia*
Thalle K- 11

11.
Spores 17-27 x 8-12 µm ..... *Phaeophyscia*
Spores 23-38 x 12-20 µm, thalle sorédié ..... *Physconia grisea*

12.
Thalle foliacé orange ou rouge orangé K+ rouge ..... *Xanthoria*
Thalle granuleux jaune d'oeuf ..... *Candelariella vitellina*

13.
Discolichen 14
Pyrenolichen 39

14.
Spores simples 15
Spores septées ou murales 31

15.
Asque contenant beaucoup plus de 8 spores (50 à 100) 16
Asque contenant 2, 4, 6 ou 8 spores 19

16.
Apothécies dépourvues d'algues 17
Apothécies contenant des algues ..... *Acarospora*

17.
Thalle non ou peu visible 18
Thalle bien visible, C+ Rouge carmin ..... *Sporastatia tudestinea*

18.
Hyménium recouvert d'un excipulum noir carbonacé ..... *Polysporina simplex*
Hyménium non recouvert d'un excipulum noir carbonacé .. *Sarcogyne clavus*

19.
Apothécies lécanorines 20
Apothécies lécidéines 24

20.
Thalle paraplectenchymateux ..... *Koerberiella wimmeriana*
Thalle non paraplectenchymateux 21

21.
Hyménium rouge violacé ..... *Tephromela atra*
Hyménium incolore 22

22.
Sommet de l'asque I+ très bleu intense ..... *Lecanora*
Sommet de l'asque I- ou I+ bleu très clair 23

23.
Epithecium incolore, jaunâtre ou très bleu ..... *Hymenelia, Ionaspis*
Epithécium verdâtre à brunâtre ..... *Aspicilia, Lobothallia*

24.
Apothécies rouges et K+ rouge ..... *Protoblastenia rupestris*
Apothécies noires ou brunes 25

25.
Apothécies noires 26
Apothécies brunes 30

26.
Thalle couleur rouille ..... *Tremolecia atrata*
Thalle non rouille : blanc, brun, gris, jaunâtre 27

27.
Paraphyses très peu cohérentes 28
Paraphyses cohérentes 29

28.

Thalle blanc granuleux ..... *Lecidella*
Thalle violacé ..... *Fuscidea*

29.
Hypothécium incolore ou brun clair..... *Lecidea, Adelolecia*
Hypothécium noir carbonacé ..... *Porpidia*

30.
Thalle C+..... *Trapelia*
Thalle C-..... *Micarea*

31.
Spores incolores 32
Spores brunes 36

32.
Spores septées transversalement 33
Spores murales ou polariloculaires 35

33.
Spores vermiformes..... *Scoliciosporum umbrinum*
Spores non vermiformes à plus de 3 cloisons ..... *Bacidia, Bacidina, Lecania*
Spores ovoïdes uniseptées..... 34

34.
Thalle jaune d'œuf et apothécies jaunes ..... *Candelariella vitellina*
Thalle verdâtre et apothécies noires..... *Catillaria*

35.
Spores murales ..... *Gyalecta*
Spores polariloculaires ..... *Caloplaca*

36.
Apothécies lécidéines..... 37
Apothécies lécanorines..... *Rinodina*

37.
Apothécie en forme de lirelles ..... *Opegrapha lutulenta*
Apothécies rondes 38

38.
Spores halonées ..... *Rhizocarpon*
Spores non halonées ..... *Buellia*

39.
Spores simples..... *Verrucaria, Hydropunctaria*
Spores septées ou murales..... 40

40.
Spores septées transversalement 41

Spores submurales ou murales 43

41.
Spores uniseptées ..... *Placidiopsis crassa*
Spores pluriseptées transversalement ..... 42.

42.
Algue verte ..... *Thelidium*
Algue orange ..... *Porina*

43.
Spores brunes ..... *Staurothele*
Spores incolores 44

44.
Spores de 11-20 x 6-10 µm, thalle gris verdâtre ..... *Polyblastia quartzina*
Spores de 22-32 x 10-16 µm, thalle gris rougeâtre ..... *Polyblastia peminosa*
Spores de 15-21 x 4-6 µm ..... *Clathroporina rivularis*
Spores de 40-80 x 21-40 µm ..... *Sporodictyon cruentum*

45.
Thalle foliacé 46
Thalle squamuleux ..... *Vahliella leucophaea*
Thalle crustacé 49
Thalle fruticuleux ou en forme de coussinet 50
Thalle crustacé lobé à hypothalle vert bleu ..... *Placynthium*
Thalle umbiliqué ..... *Lichinella heppii*

46.
Thalle non gélatineux ..... *Peltigera*
Thalle gélatineux 47

47.
Spores simples ..... *Lempholemma polyanthes*
Spores septées ..... 48.

48.
Thalle non cortiqué ..... *Collema*
Thalle cortiqué ..... *Leptogium*

49.
Cyanobactéries vert-bleu entourées d'une enveloppe gélatineuse
pourpre, épaisse et K+ violacée ..... *Pyrenopsis, Pterygiopsis*
Cyanobactéries en chaînettes brunes, K- ..... *Porocyphus*

50.
Thalle fruticuleux couché sur la roche ..... *Ephebe lanata*
Thalle en forme de coussinet dressé sur la roche ..... *Spilonema revertens*

51.
Ascomycètes noirs ou bruns..... 52
Hyphomycètes de couleur rose ..... *Marchandiomyces corallinus*

52.
Pyrénomycètes 53
Discomycètes, mycélium allongé sur le thalle ..... *Lichenostigma* sp. nov.

53.
Spores brunes 54
Spores incolores 58

54.
Asque à 16 spores ou plus ..... *Muellerella*
Asque à 2, 4, 6 ou 8 spores..... 55

55.
Spores simples, sur *Trapelia glebulosa* ..... *Roselliniella microthelia*
Spores uniseptées 56
Spores pluriseptées transversalement..... 57

56.
Paraphyses bien distinctes..... *Polycoccum arnoldii*
Paraphyses peu distinctes..... *Endococcus*

57.
Paraphyses peu distinctes, asque octosporé ..... *Phaeospora rimosicola*
Paraphyses bien distinctes,
asque à 2, 4 ou 6 spores..... *Pyrenidium*

58.
Spores à 1 ou 2 septums transversaux..... 59
Spores à plus de 2 septums transversaux, sur *I. lacustris* .... *Opegrapha reactiva*

59.
Paraphyses bien distinctes..... *Cercidospora*
Paraphyses peu distinctes..... 60

60.
Spores de 11-15 x 5-7 µm, sur *Staurothele fissa* ..... *Stigmidium rivulorum*
Spores de 15-18 x 5-6 µm, sur *Verrucaria*, *Staurothele*..... *Stigmidium hydrophilum*
Spores de 20-23 x 2-5 µm, sur *Verrucaria margacea* ..... *« Pharcidia » verrucariarum*

Clé de détermination des espèces

Acarospora Massal.

Thalle brun, C+ rouge ..... *A. fuscata*
Thalle couleur rouille, C- ..... *A. sinopica*

Aspicilia Massal.

Thalle crustacé non lobé au pourtour ..... *Aspicilia*
Thalle crustacé lobé au pourtour ..... *Lobothallia*

Aspicilia

1.
Thalle K+ jaune puis rouge sang..... 2
Thalle K+ jaune puis rougeâtre, spores de 13-25 x 9-18 µm ..... *A. laevata*
Thalle K- 3

2.
Spores de 12-22 x 6-13 µm ..... *A. cinerea*
Spores de 20-30 x 11-20 µm ..... *A. intermutans*

3.
Asques à 6 à 8 spores 4
Asques à 4 à 6 spores ..... *A. contorta*

4.
Thalle blanc ou gris clair non limité de noir,
spores de 22-35 x 14-18 µm..... *A. aquatica*
Thalle bleuâtre, brunâtre ou gris foncé, spores de 14-30 x 7-16 µm ..... *A. caesiocinerea*
Thalle blanc limité de noir, spores de 15-25 x 10-14 µm ..... *A. supertegens*

Lobothallia

1.
Thalle K+ jaune puis rouge ou K- mais très adhérent au support..... 2.
Thalle K- et très peu adhérent au support ..... *L. melanaspis*

2.
Thalle très facile à détacher du support, blanc à gris clair ..... *L. alphoplaca*
Thalle très difficile à détacher du support support, blanc à noir ..... *L. radiosa*

Bacidia De Not., Bacidina Vezda et Lecania Massal.

Apothécies contenant des algues, spores uniseptées..... *Lecania*
Apothécies ne contenant pas d'algues, spores multiseptées ..... *Bacidia*

Lecania

Thalle aréolé, aréoles verruqueuses ..... *L. inundata*
Thalle aérolé, aréoles plates ..... *L. rabenhorstii*

Bacidia

1.
Hypothecium brun, spores de moins de 20 µm de long, 0 à 3 septum.... *B. trachona*
Hypothecium incolore ou à peine jaunâtre..... 2

2.
Spores 20-35 x 1-2 µm, 3 à 15 septum, apothécie jaunâtre ..... *B. chloroticula*
Spores 25-40 x 3-4 µm, 1 à 5 septum, apothécie rougeâtre ..... *B. carneoglauca*
Spores 20-45 x 1-3 µm, 3 à 7 septum, apothécie brune ..... *B. inundata*

Buellia De Not.

Thalle K+ jaune puis rouge ..... *B. aethalea*
Thalle K+ brun jaunâtre ..... *B. stellulata*

Caloplaca Th. Fr.

1.
Thalle gris foncé couvert de fines isidies ..... *C. isidiigera*
Thalle grisâtre, rouge, jaune ou orangé, non couvert d'isidies 2

2.
Fructifications noires..... *C. diphyodes*
Fructifications rouges, jaune ocre ou orangées 3

3.
Fructifications rouges, thalle gris, noir, blanc ou peu visible 4
Fructifications orangées ou jaune d'œuf, thalle jaune ou orangé,
Spores 11-23 x 5-8 µm..... *C. crenulatella*
Fructifications jaune ocre, thalle gris noir, spores de 10-15 x 6-8 µm.... *C. cerinoides*

4.
Thalle peu visible ..... *C. oxfordensis*
Thalle bien distinct..... 5

5.
Spore à septum long de 4-8 µm..... 6
Spore à septum long de 2,5-4 µm..... *C. submergenda*

6.
Spores 12-17 x 6-9 µm, apothécie 0,4-0,8 mm jaune orangé ..... *C. atroflava*
Spores 9-16 x 4-8 µm, apothécie 0,5-1,5 mm rouge foncé ..... *C. pelodella*

Catillaria Massal.

Excipulum noir carbonacé, calcifuge ..... *C. chalybeia*

Excipulum brunâtre, calcicole ..... *C. lenticularis*

Cercidospora Körb.

Sur le thalle de *Lecanora polytropa*, *Ionaspis lacustris*, *Rinodina* ..... *C. epipolytropa*
Sur le thalle de *Xanthoria parietina* ..... *C. xanthoriae*

Collema F.H. Wigg.

1.
Lobes dichotomiques, thalle de moins de 3 cm de diamètre ..... *C. dichotonum*
Lobes larges, en éventail, thalle de 3 à 10 cm de diamètre ..... 2.

2.
Lobes de 10 mm de large, entre du thalle recouvert d'isidies globuleuses *C. glebulentum*
Lobes de 3 cm recouvert d'isidies non globuleuses très nombreuses ..... *C. flaccidum*
Lobes pustulés de 2 à 5 mm, isidies éparses ..... *C. fuscovirens*

Dermatocarpon Eschw.

1.
Face inférieure du thalle veinée ..... *D. rivulorum*
Face inférieure du thalle non veinée 2

2.
Thalle pruineux 3
Thalle non pruineux 4

3.
Squamules de 1 à 4 mm, spores 10-18 x 5-8 µm ..... *D. leptophyllodes*
Squamules de 3 à 40 mm, spores 6-12 x 5-7 µm ..... *D. leptophyllum*
Squamules de 8 à 15 mm, spores 11-30 x 6-9 µm ..... *D. luridum decipiens*

4.
Médulle I+ rouge ..... *D. luridum*
Médulle I- ..... *D. meiophyllisum*

Endocarpon Hedw.

Squamules de 1 à 2 mm, face inférieure jaunâtre ..... *E. pallidum*
Sqamules de 1 à 4 mm, face inférieure brun foncé ..... *E. pusillum*

Endococcus Nyl.

Sur *Ionaspis lacustris*, spores verruqueuses, 10-12 x 6-8 µm..... *E. verrucisporus*
Sur *Rhizocarpon lavatum*, spore non chagrinée, 12-20 x 5-7 µm..... *E. fusiger*
Sur *Aspicilia aquatica*, spores verruqueuses, 13-18 x 7-9 µm..... *E verrucosus*
Sur *Porpidia cinereoatra*, spore non chagrinée, 10-12 x 5-7 µm ..... *E. propinquus*
Sur *Verrucaria sp*., spore chagrinée, 10-12 x 5-7 µm..... *E. rugulosus* (coll.)

Fuscidea Wirth et Vezda

Apothécies de 0,5 à 1 mm de diamètre, non enfoncées dans le thalle,
spores de 6-8 x 4-6 µm ..... *F. mollis*
Apothécies de 0,5 à 3 mm de diamètre enfoncées dans le thalle,
spores de 5-10 x 5-7 µm ..... *F. kochiana*
Apothécies 0,3 à 1 mm de diamètre, non enfoncées dans le thalle,
spores de 8-10 x 5-7 µm ..... *F. lygea*

Gyalecta Ach.

Spores à 4 à 9 septums, 20-50 x 3-5 µm, calcicole ..... *G. leucaspis*
Spores murales, 13-25 x 5-10 µm, calcifuge et calcicole ..... *G. jenensis*

Groupe « grands foliacés »

1.
Médulle UV+ blanc 10
Médulle UV- 2

2.
Médulle C+ rouge ou rose 3
Médulle C- 8

3.
Thalle brun 4
Thalle gris bleu 6

4.
Thalle isidié 5
Thalle non isidié ..... *Melanelixia glabra*

5.
Thalle brun noir ..... *Melanelixia fuliginosa* ssp. *fuliginosa*
Thalle verdâtre ou brun olivâtre ..... *Melanelixia fuliginosa* ssp. *glabratula*

6.
Médulle C+ rose ..... *Punctelia borreri*
Médulle C+ rouge 7

7.
Thalle isidié, isidies coraliformes gris bleu ..... *Parmelina atricha*
Thalle isidié, isidies rondes, noir +/- bleu ..... *Parmelina pastillifera*

8.
Thalle brun 9
Thalle vert, médulle P+ rouge orangé, K+ jaune ..... *Flavoparmelia caperata*
Thalle gris bleu, médulle K+ rouge ..... *Parmotrema reticulatum*

9.
Thalle brun verdâtre +/- rougeâtre, médulle P- ..... *Melanohalea elegantula*
Thalle brun très foncé presque noir, médulle P+ jaune *Melanelia infumata*

10.
Thalle brun 11
Thalle vert 12

11.
Médulle C+ rouge rose, thalle non isidié .....*Xanthoparmelia pulla* ssp. *pulla* v. *pulla*
Médulle C+ rouge, thalle isidié .....*Xanthoparmelia loxodes*

12.
Thalle sorédié, médulle P+ orange, K+ jaune orangé, C- ..... *X. mougeotii*
Thalle isidié 13
Thalle non isidié 14

13.
Médulle K+ jaune puis rouge foncé, isidies globuleuses ..... *X. tinctina*
Médulle K+ jaune puis rouge clair, isidies cylindriques ..... *X. conspersa*

14.
Face inférieure du thalle noire.....*X. angustiphylla*
Face inférieure du thalle brun clair .....*X. stenophylla*

Hymenelia Kremp. et Ionaspis Th. Fr.

1.
Apothécies roses à brun jaunâtre..... 2
Apothécies noires ou noirâtres 4

2.
Hymenium K-..... 3
Hymenium K+ rose clair, spores de 9-12 x 5-6 µm ..... *I. odora*

3.
Hymenium K-, calcicole, spores de 17-20 x 5-12 µm ..... *H. epulotica*
Hymenium K-, calcifuge, spores de 12-24 x 6-12 µm, thalle ocre,
apothécies cratériformes..... *I. lacustris*
Hymenium K-, calcifuge, spores de 12-24 x 6-12 µm, thalle roux rouge,
apothécies sur le thalle ..... *I. obtecta*

4.
Calcifuge ..... 5.
Calcicole, épihymenium bleu et N+ pourpre,
spores 10-24 x 8-11 µm..... *H. melanocarpa*

5.
Epithecium N-, spores globuleuses 8-10 x 7µm ..... *I. suaveolens*
Epithecium N+ pourpre, disque des apothécies bleu,

spores ovoïdes 10-14 x 5-9 µm ..... *H. cyanocarpa*

Lecanora Ach.

1.
Thalle crustacé lobé, vert, apothécie à disque brun..... *L. muralis*
Thalle crustacé non lobé..... 2

2.
Thalle K+ jaune puis rouge ..... *L. schistina*
Thalle K+ jaune, disque des apothécies brun..... *L. campestris*
Thalle K- ou K+ jaunâtre, disque des apothécies vert, blanc ou jaune ... 3

3.
Thalle blanc ou peu visible voire inexistant ..... 4.
Thalle vert 5

4.
Thalle recouvert d'apothécies au disque jaunâtre, calcicole ..... *L albescens*
Thalle inexistant, apothécies dispersées au disque brun clair, calcicole. *L. dispersa*

5.
Apothécies au disque vert ou jaunâtre..... *L. polytropa*
Apothécies au disque vert, mais devenant noir ou noirâtre..... *L. intricata*

Lecidea Ach., Lecidella Körb. et Adelolecia Hertel et Haff.

0.
Parapahyses fortement cohérentes ..... *Lecidea*
Paraphyses très peu cohérentes ..... *Lecidella*

Lecidea

1.
Thalle brun ou gris, C+ rouge ..... *L. fuscoatra*
Thalle blanc ou gris clair, K+ jaune puis rouge ..... *L. lapicida*
Thalle roux rouge ..... *L. silicea*
1.
Médulle I+ bleu ..... *L. confluens*
Médulle I-..... 2.

2.
Spores de 7-15 x 3-5 µm ..... *Adelolecia conferenda*
Spores de 9-15 x 4-7 µm ..... *Lecidea lithophila*

Lecidella

Hypothécium jaune au rouge brun ..... *L. carpathica*
Hypothécium incolore..... *L. stigmatea*

Leptogium (Ach.) Gray

Thalle foliacé, lobes larges de 3-10 mm, très isidié, bleu gris plombé .. *L. cyanescens*
Thalle foliacé non isidié, lobes larges de 2-3 mm, gris bleu ..... *L. rivulare*
Thalle brun rouge, lobes larges de 2-10 cm ..... *L. plicatile*

Micarea Fr.

Spores à 3-7 septums, 16-38 x 4-7 µm..... *M. lignaria*
Spores simples de 5-12 x 2-5 µm..... *M. sylvicola*

Muellerella Hepp.

Hymenium I+ bleu, spores de 4-7 x 2-4 µm ..... *M. lichenicola*
Hymenium I+ rougeâtre, spores de 6-13 x 4-6 µm ..... *M. pygmea*

Peltigera Willd.

1.
Thalle avec des coccomyxa, diamètre inférieur à 20 mm ..... *P. venosa*
Thalle avec des nostocs, grand de plusieurs cm 2

2.
Thalle peu sorédié, brun noir, apothécies horizontales ..... *P. horizontalis*
Thalle brun gris, très sorédié, apothécies très rares..... *P. praetextata*

Phaeophyscia Moberg.

1.
Thalle de 1-3 cm de diamètre, bien lobé, ni sorédié, ni isidié..... *P. endococcina*
Thalle avec isidies noires 2

2.
Thalle de moins de 1 cm, aux lobes très petits, verticaux ..... *P. nigricans*
Thalle de 1 à 5 cm, horizontaux sur le support ..... *P. sciastra*

Parmelia Ach. et Parmelina Hale

1.
Thalle brun ..... *P. glabratula*
Thalle gris bleu..... 2

2.
Thalle isidié..... *Parmelina atricha*
Thalle réticulé..... *P. reticulata*

Physcia Schreb. et Physconia Poelt

1.

Thalle K+ jaune 2
Thalle K- ..... *Physconia grisea*

2.
Thalle sorédié ..... *P. caesia*
Thalle non sorédié 3

3.
Lobes ciliés ..... *P. tenella*
Lobes non ciliés ..... *P. dubia*

Placynthium Gray

1.
Thalle crustacé non lobé limité d'une ligne bleu noire, calcicole 2
Thalle distinctement lobé, spores à 3 septum, calcifuge 3

2.
Spores à 1 septum, 10-20 x 7-9 µm ..... *P. tantaleum*
Spores à 3 septums, 8-25 x 4-6 µm ..... *P. nigrum*

3.
Thalle limité d'une ligne noire, 15-20 x 5-7 µm ..... *P. pannariellum*
Thalle non limité par une ligne noire ..... 4.

4.
Lobes périphériques de 3 x 0,2-0,3 mm, spores de 15-20 x 7-8 µm ..... *P. flabellosum* (coll.)
Lobes périphériques de 0,3-1 x 0,2-0,3 mm, spores de 18-20 x 5-6 µm. *P. rosulans*

Polyblastia Massal.

Spores de 11-20 x 6-10 µm, thalle gris verdâtre ..... *P. quartzina*
Spores de 22-32 x 10-16 µm, thalle gris rougeâtre ..... *P. peminosa*

Porina Müll. Arg.

1.
Périthèces jaunes, brunes ou roses ..... 2.
Périthèces noirs 3

2.
Périthèces de 0,3 à 0,5 mm de diamètre,
spores à 3 septums, 20-45 x 4-8 µm ..... *P. lectissima*
Périthèces de 0,3 à 0,5 mm de diamètre,
spores à 5 - 7 septums, 30-70 x 6-15 µm, ... *P. ahlesiana*
Périthèces de 0,1 à 0,2 mm de diamètre,
spores à 3 septums, 16-23 x 3-6 µm ..... *P. leptalea*

3.

Spores septées longitudinalement et transversalement ..... *P. interjungens*
Spores septées seulement transversalement ..... 4.

4.
Spores à 3 septums ..... *P. chlorotica*
Spores 3 à 7 septums ..... *P. guentheri*

Porocyphus Körb.

Calcicole, spores de 11-17 x 5-13 µm..... *P. rehmicus*
Calcifuge, spores de 11-18 x 7-13 µm ..... *P. coccodes*

Porpidia Körb.

1.
Thalle sorédié 2
Thalle non sorédié 3

2.
Soralies beues, thalle ocre jaune à brun roux ..... *P. occhrolemma*
Soralies bleues, thalle bleuté, gris verdâtre, médulle I+ bleu..... *P. tuberculosa*
Soralies blanches ou grisâtres, thalle blanc ou grisâtre ..... *P. rugosa*

3.
Excipulun jaunâtre à brun clair ..... *P. albocaerulescens*
Excupulun gris clair à brun foncé 4

4.
Épihyménium bleu vert soutenu..... *P. hydrophila*
Épihyménium brun ..... 5.

5.
Thalle aréolé ..... *P. cinereoatra*
Thalle peu distinct 6
6.
Spores de 12-22 x 6-10 µm, apothécies de 0,2 à 1 mm de diamètre..... *P. crustulata*
Spores de 16-26 x 6-11 µm, apothécies de 0,5 à 3 mm de diamètre..... *P. macrocarpa*

Pyrenopsis Nyl. et Pterygiopsis Vain.

1.
Thalle noir rougeâtre brunâtre..... 2.
Thalle noir verdâtre à brun …… *Pterygiopsis concordatula*

2.
Thalle buissonnant, éléments de moins de 0,5 mm de haut,
spores de 9-16 x 6-10 µm..... *P. conferta*
Thalle crustacé granuleux..... 3

3.
Spores de 5-10 x 5-6 µm ..... *P. sanguinea*
Spores de 9-18 x 6-11 µm ..... *P. subareolata*

Pyrenidium Nyl. (espèces collectives)

Asque à 8 spores de 23-26 x 6-9 µm
non rétrécies au niveau des septums ..... *P. hetairizans* (coll.)
Asque à 4 spores de 19-34 x 7-12 µm,
fortement rétrécies au niveau des septums ..... *P. actinellum* (coll.)

Rhizocarpon Th. Fr.

1.
Thalle jaune limité de noir 2
Thalle blanc, gris, noir ou brun 3
Thalle roux rouge ..... *R. orderi*

2.
Epithécium brun ou rouge brun K+ pourpre ..... *R. geographicum*
Epithécium brun ou vert K+ vert..... *R. lecanorinum*

3.
Spore uniseptée 4
Spores à 3 septum, murales ou submurales..... 5

4.
Spores incolores ..... *R. polycarpon*
Spores brunes ..... *R. badioatrum*

5.
Spores incolores 6
Spores brunes 11

6.
Spores submurales, 26-36 x 10-16 µm, apothécies dans le thalle..... *R. amphibium*
Spores à 3 septums puis submurales, 14-25 x 6-13 µm,
apothécies sur le thalle ..... *R. postunum*
Spores franchement murales 7

7.
Asque à (2)4 spores de 21-66 x 9-28 µm ..... *R. subgeminatum*
Asque à 8 spores..... 8

8.
Thalle blanc 9
Thalle brun 10

9.

Spores de 20-50 x 10-24 µm, thalle blanc crayeux à blanc bleuté..... *R. petraeum*
Spores de 30-40 x 14-18 µm, thalle blanc, gris, brun rouge ..... *R. lavatum*

10.
Spores 18-32 x 7-15 µm, thalle brun non isidié ..... *R. reductum*
Spores 14-24 x 7-12 µm, thalle brun isidié, apothécies gireuses ..... *R. furfurosum*

11.
Asque contenant 1 spore de 36-100 x 14-33 µm..... *R. disporum*
Asque contenant 2 spores de 25-72 x 14-28 µm ..... *R. geminatum*

Rinodina (Ach.) Gray

1.
Thalle et médulle C+ rouge 2
Thalle et médulle C- 3

2.
Thalle non sorédié ..... *R. aspersa atrocinerea*
Thalle sorédié, soralies blanches ..... *R. aspersa aspersa*

3.
Thalle K+ jaune 4
Thalle K- 5

4.
Thalle P- ..... *R. oxydata*
Thalle P+ jaune..... *R. confragosa*
5.
Spores lisses de 20-32 x 11-19 µm 6
Spores finement verruqueuses de 16-22 x 8-12 µm..... *R. milvina*

5.
Hypothalle distinct, bleu noir ..... *R. fimbriata*
Hypothalle indistinct ..... *R. teichophila*

Staurothele Norm.

1.
Asque contenant 1 ou 2 spores, calcifuge 2
Asque contenant 8 spores, calcicole..... *S. solvens*

2.
Thalle vert ..... *S. viridis*
Thalle brun foncé 3

3.
Algues hyméniales globuleuses de 2-6 µm de diamètre ..... 4.
Algues hyméniales en bâtonnets de 5-18 x 2-4 µm 6

4.
Spores brunes 5
Spores incolores ou très claires 6

5.
Thalle noir de suie, spores de 42-57 x 17-23 µm ..... *S. fuliginea*
Thalle brun noir ou brun verdâtre, spores de 35-70 x 14-30 µm ..... *S. fissa*
Thalle brun noir, spores de 21-34 x 12-17 µm, ... *S. lesdainiana*

6.
Lichen calcicole, spores de 30-52 x 12-25 µm ..... *S. areolata*
Lichen calcifuge 7

7.
Spores de 35-48 x 14-21 µm, thalle brun ou brun noir,
périthèce enfermé dans une verrue thalline ..... *S. clopima*
Spores de 38-50 x 14-21 µm, thalle brun rougeâtre,
périthèce non enfermé dans une verrue thalline
mais très enfoncé dans le thalle ..... *S. clopimoides*

Thelidium Massal.

1.
Périthèce très enfoncé dans la roche ou le thalle, lichen calcicole,
spores incolores à 3 septum, thalle limité de noir ..... *T. inundatum*
Périthèce distinctement sur le thalle ..... 2.

2.
Thalle noir, spores à 3 septums, calcicole ..... *T. aethioboloides*
Thalle gris, blanc, verdâtre ou brunâtre ..... 3.

3.
Spores à 1 septum, 20-46 x 11-21 µm ..... *T. methorium*
Spores à 3 septums, lichens calcicoles ..... 4.

4.
Involucrelum absent, spores de 26-36 x 10-14 µm, ... *T. zwackhii*
Involucrelum présent ..... 5.

5.
Spores de 24-36 x 10-14 µm ..... *T. fontigenum*
Spores de 30-52 x 12-22 µm ..... *T. papulare*

Trapelia Choisy

Thalle crustacé continu ..... *T. coarctata*
Thalle +/- squamuleux, squamules éparses, +/- lobées ..... *T. glebulosa*

Verrucaria Schrad. et Hydropunctaria Keller, Gueidan et Thüs

1.
Spores de moins de 15 µm de long 2
Spores de 16 à 24 µm de long 5
Spores de plus de 25 µm de long 15

2.
Asque à 8 spores..... 3
Asque à 3 à 5 spores..... *V. madida*

3.
Longueur moyenne des spores inférieure à 8 µm ..... *V. aquatilis*
Longueur moyenne des spores supérieure à 8 µm 4

4.
Involucrellum noir seulement au sommet ..... *H. rheitrophila*
Involucrellum et excipulum noirs en contact avec l'hypothalle noir ..... *H. scabra*

5.
Thalle noir, noir verdâtre, brun verdâtre ou brun noir 6
Thalle vert d'aspect huileux, brun, brun rougeâtre, beige ou gris..... 9

6.
Lichen calcicole..... 7
Lichen calcifuge 8

7.
Spores de 14-21 x 8-11 µm, périthèce sur le thalle,
Thalle continu, brun noir, hydrophile……*V. nigrescens leaviuscula*
Spores de 14-28 x 7-13 µ, périthèce dans le thalle,
thalle fendu aréolé, brun noir, non hydrophile ..... *V. nigrescens*
Spores de 5-25 x 8-13 µm, périthèce dans le thalle,
thalle continu ou à peine fendu, gris ou vert clair, non hydrophile..... *V. muralis*
Spores de 20-24 x 11-15 µm, périthèce dans le thalle,
thalle continu, lisse, gris verdâtre à brun, hydrophile ..... *V elaeomelaena*

8.
Spores de 15-23 x 6-9 µm ..... *V. pachyderma*
Spores de 20-28 x 8-13 µm ..... *V. funckii*

9.
Thalle vert clair, vert olive d'aspect huileux..... 10
Thalle beige, brun, brun rougeâtre, orange ou gris 11

10.
Thalle vert clair, excipulum incolore ..... *V. hydrela* (coll.)
Thalle vert olive d'aspect huileux ou brun verdâtre..... *V. funckii*

11.

Thalle beige ou brun 12
Thalle brun verdâtre, continu ..... *V. funckii*

12.
Thalle beige, continu ..... *V. submersella*
Thalle brun clair ou brun rougeâtre, fendu et aréolé 13

13.
Thalle brun rougeâtre, hypothalle noir rarement présent ..... *V. aethiobola*
Thalle brun clair, beige, gris 14

14.
Spores halonnées, hypothalle noir présent ..... *V. praetermissa*
Spores non halonnées, hypothalle noir absent ..... *V. elaeina*

15.
Excipulum toujours incolore ..... *V. latebrosa*
Excipulum noir (espèce collective) ..... *V. margacea*

Xanthoria (Fr.) Th. Fr.

Thalle très adhérent au support, rouge orangé,
lobes de moins de 1,5 mm de large ..... *X. elegans*
Thalle peu adhérent au support, jaune orangé,
lobes de 3-7 mm de large ..... *X. parietina*

Conclusion et perspectives

Le seul ouvrage existant actuellement est la flore de Thüs et Schultz (2009) décrivant les lichens hydrophiles d'Europe centrale. À ma connaissance il n'existe pas d'ouvrage regroupant à la fois les lichens et les champignons lichénicoles hydrophiles d'Europe occidentale. Le présent travail apporte donc une avancée intéressante pour une meilleure connaissance de cette flore lichénique hydrophile.

Les espèces mentionnées ici ont toutes été récoltées récemment (de 2005 à 2011) et le catalogue proposé en annexe présente environ 90% des espèces hydrophiles existantes en Europe. Des variations floristiques peuvent s'observer dans les différents pays européens, mais ces variations concernent principalement les espèces non hydrophiles observées dans les groupements hydrophiles localisés sur la partie supérieure du lit apparent.

Du point de vue biogéographique, le territoire étudié montre une flore lichénique très homogène. Un majorité d'espèces de large amplitude écologique peuvent s'observer sous les différents écoclimats, seules l'altitude et la nature de la roche (acide ou basique) sont des facteurs sélectifs.

En perspective, il serait très intéressant de poursuivre les études floristiques dans les régions françaises non étudiées à ce jour et d'élargir ces travaux aux autres pays européens afin d'améliorer et de développer ces clés de détermination.

CHAPITRE 2

STRUCTURE ET COMPOSITION FLORISTIQUE DES COMMUNAUTÉS LICHÉNIQUES SAXICOLES-HYDROPHILES

Introduction

Grâce à leur amplitude écologique liée à leur caractère symbiotique, les lichens colonisent tous les supports de tous les milieux. Il existe ainsi des lichens terrestres non aquatiques, mais également des lichens qui colonisent les supports soumis à des périodes d'immersion par les eaux des rivières ou des lacs (Wirth, 1972 ; Gilbert, 1996 ; Gilbert et Giavarini, 1997, 2000), par les eaux marines (James et al., 1977) ou par les eaux d'écoulements surfaciques issus des pluies (James et al. ; 1977, Roux et al., 2006). Les lichens immergés périodiquement sont appelés aquatiques.

Parmi les lichens aquatiques, deux groupes sont écologiquement bien différenciés : 1. les lichens ékréophiles soumis à des périodes d'immersion par les eaux des écoulements de surfaces issus des pluies (James et al., 1977 ; Roux et al., 2006) ; 2. les lichens hydrophiles soumis à des périodes d'immersion par les eaux d'une rivière ; ces derniers sont localisés sur les roches riveraines (Coste, 2005 ; Roux et al., 2006).

Peu de publications sont consacrées à la structure des groupements lichéniques saxicoles-hydrophiles[1]. Quelques articles apportent des informations intéressantes sur la répartition géographique de ces groupements (Allemagne : Wirth, 1972 ; Europe centrale : Thüs et Schultz, 2009 ; France : Coste, 1990 et 1991 ; Angleterre : Gilbert, 1996 ; Gilbert et Giavarini, 1997 et 2000 ; Espagne : Pereira, 1992 ; Italie : Nascimbene et Nimis, 2006 et 2007 ; Nascimbene et al., 2007), mais très peu font état de l'écologie générale et comparative de ces groupements (Wirth, 1972 ; Pereira, 1992).

Ce travail propose d'améliorer les connaissances sur la flore et la végétation lichéniques des roches des berges des rivières d'Europe occidentale. Pour ce faire, cette étude doit être menée sur les berges de cours d'eau présentant différentes géomorphologies et sous différents bioclimats afin d'avoir une bonne représentativité des résultats. Afin d'améliorer les connaissances sur les différentes structures de ces communautés, il convient de choisir une méthode de prélèvements permettant d'obtenir des résultats satisfaisants qualitativement (nombre d'espèces) et quantitativement (comparaison des conditions écologiques).

En effet, les méthodes utilisées jusqu'à présent ne permettent pas (ou alors de manière très succincte) de définir les caractéristiques écologiques de ces communautés (Wirth, 1972). Les surfaces étudiées, conformément à la méthode de prélèvement partiel[2] utilisée jusqu'à présent par les lichénologues, sont de l'ordre du m^2 (Wirth, 1972 ; Pereira, 1992 ; Gilbert, 1996). Si cette surface est nécessaire pour les études phytosociologiques[3] des plantes supérieures, elle est trop grande pour l'étude des communautés lichéniques compte tenu de la faible vitesse de

[1] Qui se développent sur les roches soumises à des périodes d'immersion par les eaux d'un cours d'eau.
[2] Étude d'une grande surface de l'ordre du m^2, détermination des espèces sur le terrain et prélèvements aléatoires des espèces non identifiées.
[3] Étude des associations végétales.

croissance annuelle des lichens (faible productivité) et des importantes variations microécologiques sur des surfaces de l'ordre du m^2. Pour ces raisons nous avons décidé de retenir comme surface maximale d'étude une surface à peine supérieure à l'aire minimale[1] des communautés. Les communautés saxicoles-hydrophiles sont majoritairement composées de lichens à thalle crustacé[2]. L'aire minimale pour cette morphologie est de l'ordre de 200 cm^2 (Roux, 1990). Elle est idéale pour l'étude phytosociologique des groupements lichéniques hydrophiles et permet une analyse qualitative et quantitative parfaitement adaptée aux lichens à thalle crustacé (Coste, 2005). Afin d'établir une classification phytosociologique précise, la méthode de prélèvement intégral[3] (Roux, 1990) déjà utilisée pour les communautés lichéniques hydrophiles (Coste, 2005) sera retenue : elle génère des résultats qualitatifs (comparaison des conditions écologiques) et quantitatifs (nombre d'espèces) très satisfaisants en comparaisons des autres méthodes utilisées jusqu'à présent. Les résultats obtenus feront l'objet d'analyses statistiques rigoureuses et objectives, ce qui n'a jamais été réalisé jusqu'à présent.

Ainsi, nous pourrons définir avec précision et de manière objective la structure et les compositions floristiques des communautés lichéniques saxicoles-hydrophiles représentatives des écosystèmes aquatiques continentaux d'Europe occidentale. Les roches calcaires étant très pauvres en espèces (Ozenda et Clauzade, 1970) et plus localisées géographiquement, notre travail porte plus spécifiquement sur les roches acides.

Matériel et Méthode

Sites d'étude

Les stations retenues dans ce travail ont été choisies afin de faire la liaison avec les études réalisées antérieurement par d'autres auteurs, dans le but d'obtenir une représentativité de la flore et de la végétation lichéniques saxicoles-hydrophiles d'Europe occidentale (**Figure 1**).

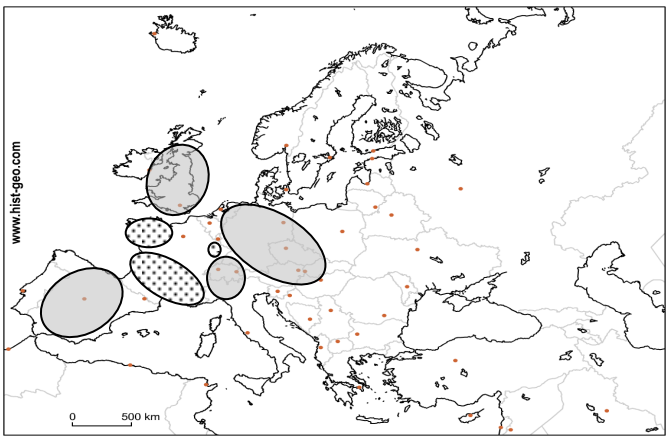

Figure 1 : Carte européenne des études déjà réalisées (rond grisé), notre étude (rond pointillé).

[1] Surface au-delà de laquelle le nombre d'espèces n'augmente pas.
[2] En forme de croûte sur la roche.
[3] Prélèvement de la totalité du support d'une surface supérieure à l'aire minimale et détermination au laboratoire de toutes les espèces présentes avec mesures de la surface des thalles et des différents éléments pour obtenir un recouvrement en %.

Les relevés ont été effectués dans 25 départements français (**Fig. 2**) couvrant une partie importante de la diversité climatique (climats atlantique, méditerranéen et plus continental) et du relief national (de l'étage collinéen à l'étage subalpin).

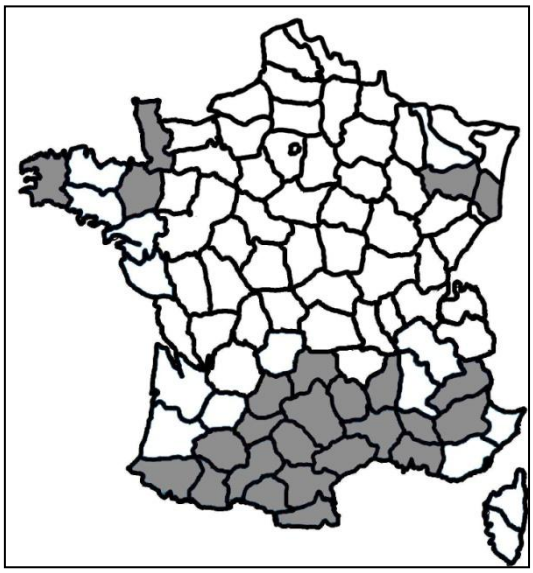

Figure 2 : Localisation des relevés.

Une grande partie des relevés a été réalisée dans le sud de la France sous climat méditerranéen (Gard, Bouches-du-Rhône, Pyrénées-Orientales …) ou en limite de ce climat méditerranéen comme le département du Tarn ou l'extrême ouest de l'Hérault. Certains relevés ont été réalisés en région Bretagne (Finistère et Ille-et-Vilaine) et Normandie (Manche), mais aussi dans les départements des Pyrénées-Atlantiques et Hautes-Pyrénées pour caractériser les espèces typiques du climat atlantique.

Les roches calcaires étant très pauvres en espèces et plus localisées géographiquement, nos relevés ont été réalisés sur les gneiss, granits et schistes. Trois cents relevés ont été effectués sur ces roches. Seulement 252 relevés ont été pris en compte. En effet 48 prélèvements ont été supprimés pour deux raisons : absence de lichens, surface prélevée trop faible (contrainte de terrain). Les relevés ont été réalisés par la méthode de prélèvement intégral. Cette méthode consiste à prélever au minimum 200 cm^2 de la surface d'une roche colonisée par les lichens à l'aide d'un marteau et d'un burin (100 à 300 cm^2). Les relevés ont été effectués à différentes distances de l'axe du centre du cours d'eau (**Figure 3**) : dans le chenal d'étiage (CE)[1], dans la partie haute du lit apparent[2] (PSLA) et dans la partie médiane située à égale distance de la partie haute et du chenal d'étiage ; cette zone correspondant à la partie inférieure du lit apparent (PILA).

Plusieurs relevés par rivière étudiée ont été réalisés. D'une manière générale, trois relevés (au niveau du PSLA, du PILA et du CE) ont été réalisés dans une même station[3] (au même niveau de la berge). Malheureusement cela n'a pas toujours été possible pour des raisons

[1] Chenal d'étiage dans lequel se concentrent les basses eaux, il n'est pas délimité par des berges et se situe à l'intérieur du lit apparent.
[2] Lit mineur ou lit mouillé ou lit apparent : espace qu'empruntent les eaux en temps normal hors crue historique.
[3] Lieu défini sur les berges du cours d'eau.

d'inaccessibilité. Il a donc été impossible de réaliser 1 relevé pour chaque niveau de la berge pour chaque station. Dans la mesure du possible, 2, 3 ou 4 stations différentes sur le même cours d'eau ont fait l'objet de relevés.

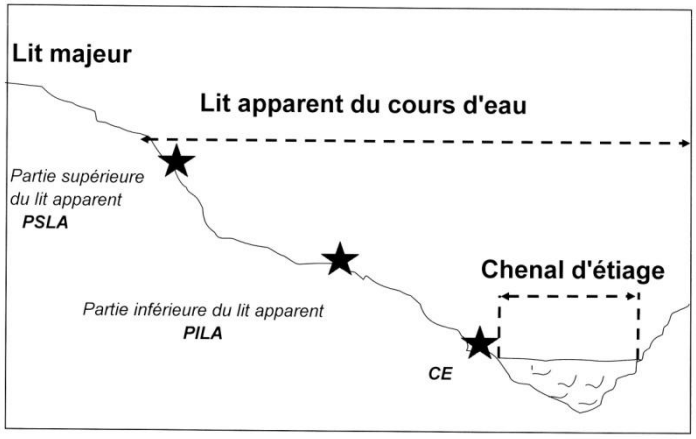

Figure 3 : Localisation des relevés (★) sur la berge du cours d'eau.

Ces stations ont été distantes de plusieurs mètres les unes des autres (50 à 100 m). Sur le terrain, une surface de 10 sur 20 cm (à l'aide d'un étalon) a été tracée à la craie avant de faire le prélèvement. Les prélèvements ont débordé largement de la surface indiquée pour pallier les éventuelles pertes d'éclats lors du prélèvement. Les éclats de roche prélevés sont introduits dans une enveloppe papier pour le transport. Les poches plastiques sont à proscrire car elles accélèrent le pourrissement des thalles. Les caractéristiques environnementales ont été notées sur les enveloppes. Ainsi l'altitude a été obtenue à l'aide d'un GPS ; les orientations générale et locale ont été relevées à l'aide d'une boussole ; la nature du support a été déterminée au laboratoire à l'aide de la clé de détermination des roches (Clauzade, 1992) ; l'inclinaison du support a été estimée sur le terrain (0°, 30°, 45° et 90°). La localisation du relevé au niveau de la berge (PSLA, PILA et CE) a été déterminée en période d'étiage[1]. Les relevés ont été effectués au niveau de l'eau pour le CE puis dans la partie supérieure du lit apparent identifiée par différents moyens : divers dépôts transportés par les hautes eaux de la rivière, présence d'une flore phanérogamique et/ou d'une flore lichénique franchement non hydrophile. Le troisième relevé a été effectué au centre des deux premiers relevés.

Les lichens saxicoles*, hydrophiles* ne sont pas identifiables sur le terrain. Les déterminations doivent être réalisées au laboratoire avec une loupe binoculaire et un microscope. Tous les éclats de roche pour chaque relevé ont été étudiés pour déterminer tous les taxons et les éléments présents. La surface de tous les taxons et tous les éléments identifiés ainsi que les surfaces vides (roche nue) ont été mesurées à l'aide d'une feuille transparente quadrillée (précision de 1 mm^2). Un pourcentage de recouvrement pour chaque espèce a été calculé (Recouvrement moyen global[2]). Les surfaces occupées sur la roche par les espèces et les surfaces non recouvertes (surfaces vides) ont été mesurées. Les chevauchements éventuels des espèces ont été mesurés et ajoutés à la surface de l'espèce épiphytique. Au final les pourcentages de recouvrement peuvent être supérieurs à 100%.

Pour les déterminations, nous avons utilisé un stéréomicroscope (grossissement de 6 à 50 fois), un microscope à transmission équipé d'un dispositif à contraste interférentiel

[1] Période où les eaux sont les plus basses et se concentrent dans le chenal d'étiage.

[2] C'est pour une espèce donnée dans un tableau de N relevés, la moyenne des recouvrements en % dans l'ensemble des relevés.

(grossissement de 60 à 1500 fois) et les réactifs chimiques usuels : KOH (solution aqueuse d'hydroxyde de potassium à 20 %) ; NaClO (solution aqueuse d'hypochlorite de sodium (eau de javel), solution concentrée du commerce (à 10%) diluée 2 fois ; HNO_3 (solution aqueuse d'acide nitrique à 50 %) ; KI (solution iodo-iodurée : lugol) ; $C_6H_8N_2$ (paraphénylène diamine), solution alcoolique fraîchement préparée (quelques cristaux dans quelques gouttes d'alcool à brûler).

Outre les lichens, les champignons lichénicoles non lichénisés[1] et les bryophytes ont été déterminés. Les ouvrages de détermination utilisés sont :

– Pour les lichens : Clauzade et Roux, 1985 (et les suppléments) ; Ozenda et Clauzade, 1970 ; Purvis et al., 1992 ; Smith et al., 2009 ; Thüs , 2002 ; Wirth, 1980 et 1995.
– Pour les champignons lichénicoles non lichénisés : Clauzade et al., 1989.
– Pour les bryophytes : Smith, 1976.

Pour chaque relevé toutes les espèces déterminées ont été saisies dans un tableau Excel (Tableau de déterminations en annexe) avec indication des pourcentages des recouvrements obtenus pour chaque taxon ainsi que des données environnementales.

A l'aide des flores[2] disponibles précédemment citées et grâce à nos connaissances personnelles, toutes les espèces ont été classées par nature puis par écologie : lichens hydrophiles, lichens ékréophiles, lichens non aquatiques, lichens indéterminés, algues libres, bryophytes, autres éléments : dépôts de terre, débris de végétaux, gastéropodes, exuvies d'insectes et diverses incrustations siliceuses.

Analyse des données

Fréquence et recouvrement moyen global

A l'aide du tableau général de détermination et pour la totalité des relevés, il a été calculé pour chaque espèce :

1. Le pourcentage de présence des espèces à chaque niveau de la berge (PSLA, PILA et CE) ;
2. Le recouvrement moyen global des espèces par tranche de 200 m d'altitude.

Les résultats sont saisis dans un tableau nommé Tableau de distribution (Tableau 4).

L'étude de la distribution des espèces, a permis une hiérarchisation écologique des espèces :

1. les espèces de large amplitude écologique (non caractéristiques d'un niveau d'éloignement du centre de la rivière et présentes à toutes les altitudes) ;
2. les espèces caractéristiques de chaque niveau d'éloignement du centre de la rivière, mais présentes à toutes les altitudes ;
3. les espèces caractéristiques de chaque niveau d'éloignement du centre de la rivière et de chaque étage altitudinal.

[1] Champignon qui se développe sur les lichens.
[2] Ouvrage de détermination des espèces.

Cette hiérarchisation permettra de définir les lichens à retenir (lichens modèles) pour les expérimentations en laboratoire afin de caractériser le fonctionnement de ces taxons en termes de photosynthèse et de respiration.

Pour les analyses statistiques, le tableau de détermination a fait l'objet de deux remaniements : avec toutes les espèces et avec seulement les espèces hydrophiles.

Le tableau général des déterminations a été scindé en deux tableaux : un premier regroupant les données environnementales des stations et nommé « envi », un deuxième regroupant les espèces et les recouvrements (en %) dans chaque station et nommé « toutes espèces ».

Le tableau « envi » après avoir été transposé comprend 7 données environnementales et 252 stations. Le tableau « toutes espèces » également transposé pour les analyses statistiques comprend 175 espèces et 252 stations.

Dans le tableau de détermination, seules les espèces hydrophiles ont été conservées. Comme précédemment, le tableau est scindé en deux tableaux : « envi » et « espèces hydro ». Le tableau « envi » est transposé et présente les mêmes caractéristiques que précédemment. Le tableau « espèces hydro » est transposé pour l'analyse statistique ; il comprend maintenant 45 espèces et 252 stations.

Analyse statistique

Pour caractériser le regroupement des espèces, une classification NMDS (Non-Metric Multidimensional Scaling : classification hiérarchique ascendante utilisant la distance euclidienne et le critère d'agrégation de Ward, à partir des coordonnées des espèces sur le plan 1-2 d'une analyse NMDS utilisant la distance de Bray-Curtis) a été réalisée sur l'ensemble des espèces à l'aide du tableau « toutes espèces », suivie d'une classification NMDS uniquement sur les espèces hydrophiles à l'aide du tableau « espèces hydro ».

Pour estimer l'impact des paramètres environnementaux des stations une analyse canonique a été réalisée uniquement sur les espèces hydrophiles à l'aide des tableaux « envi » et « espèces hydro ». Les analyses ont été réalisées avec le logiciel «R».

Résultats

Déterminations des espèces

Du point de vue floristique (méthode de prélèvements partiels dans les stations), cette étude a permis d'identifier 225 taxons dont 63 lichens spécifiquement hydrophiles. Le nombre de champignons lichénicoles est de 18, les lichens ékréophiles de 23 et enfin 121 lichens non spécifiquement hydrophiles.

Tableau 1 : Nombre de taxons observés.

Taxons	*Nombre*
Champignons lichénicoles	18
Lichens ékréophiles	23
Lichens non hydrophiles	121
Lichens hydrophiles	63
Total	**225**

Il n'y a pas de variations pour chacun des niveaux (CE, PILA et PSLA) du nombre de lichens et de champignons lichénicoles. Du chenal d'étiage à la partie supérieure du lit apparent on constate (**Tableau 2**) une augmentation du nombre de lichens non aquatiques (10, 34 et 48), de lichens ékréophiles (4, 13 et 16) et de lichens indéterminés (3, 10 et 16). Les bryophytes sont peu nombreuses dans le chenal d'étiage (4 espèces typiquement aquatiques), et plus nombreuses aux niveaux supérieurs (PILA : 12 dont 3 spécifiquement aquatiques et PSLA : 13 dont 4 spécifiquement aquatiques). On notera la stabilité des bryophytes spécifiquement aquatiques pour chaque niveau (4 en moyenne).

Tableau 2 : Nombre total d'espèces observées pour tous les relevés.

Taxons	*CE*	*PILA*	*PSLA*
Lichens hydrophiles	29	35	34
Champignons lichénicoles	5	6	5
Lichens ékréophiles	4	13	16
Lichens non aquatiques	10	34	48
Lichens indéterminés	3	10	16
Bryophytes	9 Dont 4 aquatiques	12 Dont 3 aquatiques	13 Dont 4 aquatiques

Du point de vue végétation (méthode de prélèvement intégral dans les stations), (surface de 100 à 300 cm^2), sont présentes (**Tableau 3**) en moyenne par relevé 7 espèces (1 à 17 espèces, lichens et autres), pour un recouvrement total moyen de 75% (de 53% à 96%). Le nombre moyen de lichens ékréophiles est faible (0,1 à 0,4) et le nombre de lichens non hydrophiles augmente du chenal d'étiage (0,2) à la partie supérieure du lit apparent (1,8). Les lichens hydrophiles sont au nombre moyen de 4. Ce nombre est stable pour les divers niveaux d'immersion.

Tableau 3 : Nombre moyen d'espèces par relevé.
(Moyenne, minimum et maximum pour les trois niveaux du cours d'eau calculé à partir du tableau de détermination ; CE = chenal d'étiage, PSLA = partie supérieure du lit apparent, PILA = partie inférieure du lit apparent)

	CE	*PILA*	*PSLA*
Nombre moyen de lichens hydrophiles	3,7 (1-7)	4,7 (4-9)	3,7 (7-9)
Nombre moyen de lichens ékréophiles	0,1 (0-2)	0,5 (0-3)	0,4 (0-3)
Nombre moyen de lichens non hydrophiles non ékréophiles	0,2 (0-2)	1,1 (0-6)	1,8 (0-9)
Nombre moyen de champignons lichénicoles	0,3 (0-2)	0,2 (0-2)	0,2 (0-2)
Nombre moyen de lichens indéterminés	0,1 (0-2)	0,4 (0-2)	0,4 (0-2)
Nombre moyen de bryophytes	0,4 (0-2)	0,5 (0-5)	0,7 (0-4)
Nombre moyen total de taxons	4,8 (1-11)	7,4 (3-16)	7,1 (2-17)
Recouvrement moyen total en %	64,9 (17-106)	77,1 (25-141)	83,6 (25-183)

Distribution des genres

La figure 4 montre la distribution des genres pour chaque niveau de la berge. Le genre *Verrucaria* sl est le plus abondant pour les trois niveaux, le genre *Staurothele* quoique moins abondant que le genre *Verrucaria*, est fréquemment cité dans les trois niveaux. Les genres *Aspicilia*, *Dermatocarpon* et *Bacidina* sont les genres les plus cités dans les PILA et PSLA. Enfin le genre *Caloplaca* apparaît seulement au PSLA.

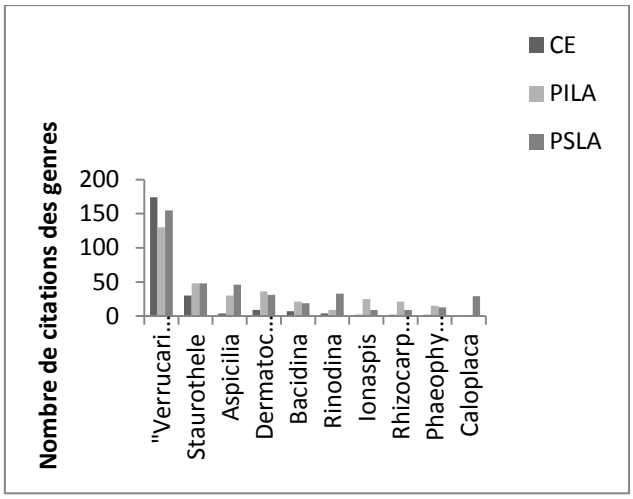

Figure 4 : Distribution des genres pour tous les relevés (sont pris en compte seulement les lichens strictement hydrophiles).

Distribution par types d'algues

La figure 5 montre la distribution des chlorolichens et des cyanolichens pour chaque niveau de noyage. Les cyanolichens représentent moins de 10% de la flore lichénique hydrophile. Leur nombre double du chenal d'étiage (24) aux PILA (45) et PSLA (44). Les chlorolichens représentent plus de 90% des espèces hydrophiles. Leur nombre croît du chenal d'étiage (266) aux PILA (463) et PSLA (638).

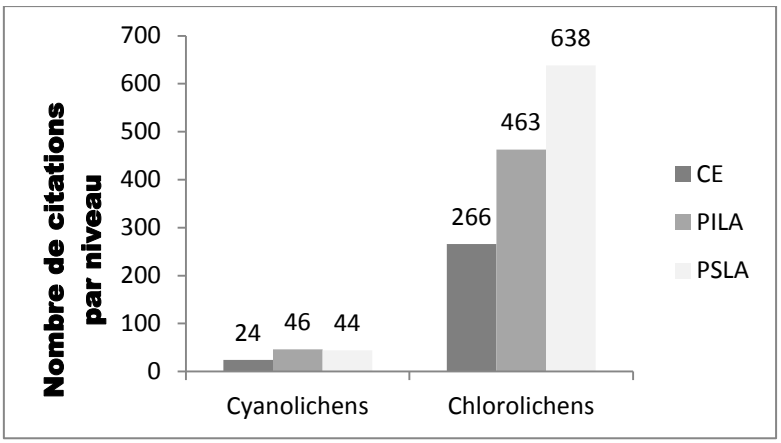

Figure 5 : Distribution des types d'algues pour l'ensemble des relevés et pour toutes les espèces.

Distribution des espèces

Le tableau de distribution des espèces (**Tableau 4**) montre une organisation des espèces hydrophiles en fonction de leur position sur les berges du cours d'eau. La composition floristique pour chaque groupe identifié change en fonction de l'altitude.

Tableau 4 : Tableau de distribution des espèces.
(Le pourcentage de fréquence par niveau de noyage pour une espèce donnée a été calculé par le rapport du pourcentage de présence pour un niveau de noyage donné sur la somme des pourcentages de présence dans tous les relevés ; le recouvrement moyen global pour une espèce donnée a été calculé par la moyenne de pourcentage de recouvrement pour une tranche d'altitude ; CE = chenal d'étiage, PSLA = partie supérieure du lit apparent, PILA = partie inférieure du lit apparent)

	Pourcentage de fréquence par niveau de noyage			Recouvrement moyen global pour chaque classe d'altitude (m)									
Nombre de relevés	**111**	**75**	**66**	**58**	**14**	**16**	**11**	**10**	**41**	**36**	**29**	**30**	**7**
Espèces	**PSLA**	**PILA**	**CE**	0 à 399	400 à 599	600 à 799	800 à 999	1000 à 1199	1200 à 1399	1400 à 1599	1600 à 1799	1800 à 1999	sup à 2000
Verrucaria praetermissa	**80%**	12%	8%	**11,1**	7,3	10,1	5,7	3,5	4,5	0,2	0,0	0,0	0,0
Caloplaca diphyodes	**100%**	0%	0%	**2,5**	1,8	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Caloplaca submergenda	**92%**	8%	0%	**2,3**	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rinodina fimbriata	**100%**	0%	0%	**2,0**	0,0	0,8	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Placidiopsis crassa	**100%**	0%	0%	**0,0**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rinodina oxydata	**55%**	30%	15%	3,0	6,8	**7,1**	1,4	1,4	0,8	0,1	0,1	0,1	0,0
Hymenelia ochrolemma	**77%**	23%	0%	0,0	0,0	0,1	0,0	**3,2**	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Dermatocarpon leptophyllodes	**58%**	42%	0%	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,3	0,1	**0,7**	0,0	0,0
Staurothele lesdeniana	**100%**	0%	0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**0,1**	0,0	0,0
Aspicilia aquatica	**53%**	41%	6%	0,4	0,0	2,7	5,5	0,1	2,9	2,8	1,4	**16,4**	13,1
Aspicilia melanaspis	**47%**	**42%**	11%	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9	0,2	0,0	1,0	5,3	**5,7**
Verrucaria aethiobola	38%	**39%**	23%	**25,7**	23,0	3,2	9,5	13,8	13,7	19,2	10,1	4,5	0,0
Ionaspis lacustris	16%	**76%**	9%	1,5	**21,0**	0,8	0,3	1,6	1,0	0,0	1,2	2,0	0,0
Porpidia hydrophila	9%	**91%**	0%	0,0	**11,8**	1,3	0,0	0,0	0,4	0,0	0,4	1,6	0,0
Rhizocarpon lavatum	20%	**72%**	8%	0,0	16,4	10,5	**47,0**	32,7	9,8	19,1	28,7	1,2	1,2
Dermatocarpon luridum	29%	**55%**	16%	1,5	0,0	0,9	0,3	**6,3**	1,4	4,9	2,4	1,1	0,0
Hymenelia cyanocarpa	0%	**100%**	0%	0,0	0,0	0,0	0,0	**5,9**	0,0	0,4	0,0	0,0	7,2
Rhizocarpon amphibium	41%	**59%**	0%	0,0	0,0	0,1	0,0	**1,1**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ionaspis chrysophana	41%	**59%**	0%	0,0	0,0	0,0	0,0	**1,2**	0,0	0,0	0,2	0,1	0,2
Verrucaria sp. nov.	0%	**100%**	0%	0,0	0,0	0,0	0,0	**0,1**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lecania inundata	48%	**52%**	0%	0,2	0,0	1,0	0,7	0,0	**0,7**	0,4	0,0	0,0	0,0
Bacidina inundata	31%	**50%**	19%	0,9	0,4	0,2	1,4	0,8	1,1	**1,2**	0,1	0,5	0,0
Dermatocarpon leptophyllum	0%	**100%**	0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**0,5**	0,0	0,0	0,0
Leptogium rivulare	25%	**54%**	21%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	**0,5**	0,1	0,1	0,0
Staurothele fissa	33%	**40%**	27%	5,9	0,7	5,7	1,1	2,3	10,6	9,9	**13,9**	8,7	3,4
Phaeophyscia endococcina	34%	**57%**	9%	0,0	0,0	0,1	0,7	0,0	0,5	2,7	**2,9**	2,6	0,0
Ionaspis odora	19%	**81%**	0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**0,7**	0,0	0,0
Polyblastia quartzina	0%	**100%**	0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**0,0**	0,0	0,0
Aspicilia laevata	34%	**66%**	0%	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	4,5	3,1	0,0	**18,2**	0,0
Staurothele fuliginea	0%	**63%**	37%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	**0,3**	0,0
Staurothele fuscocuprea	15%	**54%**	31%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	2,4	0,3	**13,9**
Verrucaria pachyderma	23%	11%	**65%**	**0,4**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,3	0,2
Verrucaria rheitrophila	0%	35%	**65%**	0,3	**3,3**	0,7	0,0	0,1	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0
Thelidium aeneovinosum	17%	12%	**71%**	0,0	0,0	**4,8**	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,1
Verrucaria denudata	37%	0%	**63%**	0,0	0,0	0,0	0,0	**0,2**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Verrucaria hydrela (sl)	19%	38%	**43%**	7,3	0,2	4,2	8,3	6,6	**8,6**	6,9	1,9	1,2	2,1
Verrucaria aquatilis	12%	31%	**56%**	0,2	2,5	0,8	0,2	1,1	**3,5**	0,7	0,5	0,1	0,0
Dermatocarpon luridum var. d.	0%	0%	**100%**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**0,0**	0,0	0,0	0,0	0,0
Verrucaria scabra	12%	23%	**66%**	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,7	**0,8**	0,7	0,1	0,0
Verrucaria submersella	4%	11%	**85%**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	**0,8**	0,1	0,4	0,0
Thelidium sp. nov.	0%	0%	**100%**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**0,5**	0,0	0,0	0,0
Staurothele viridis	37%	0%	**63%**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**0,9**	0,0	0,0
Thelidium subgelatinosum	0%	0%	**100%**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**0,1**	0,0	0,0
Verrucaria funckii	8%	24%	**67%**	1,4	0,1	1,1	7,6	0,2	4,7	5,2	3,6	**10,4**	0,0
Staurothele clopimoides	19%	37%	**43%**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,9	**3,1**	0,0
Verrucaria margacea	12%	25%	**63%**	1,1	0,8	6,5	0,1	2,6	1,9	3,1	0,7	1,6	**6,1**
Total des récouvrements par classe d'altitude				67,9	96,1	63,8	90,2	89,4	73,5	84,8	75,8	80,7	53,2

Analyse statistique du tableau général des déterminations

Une hiérarchisation ascendante effectuée sur l'ensemble des espèces (non montrée) met en évidence 4 groupes distincts. Il apparaît que chacun d'entre-eux inclut les espèces caractéristiques des trois niveaux du lit des cours d'eau (CE, PILA et PSLA) ou correspond à un groupe de taxons observés aux trois niveaux. Afin d'améliorer la lisibilité du schéma, une hiérarchisation ascendante a été réalisée uniquement sur les lichens hydrophiles. On observe comme précédemment les 4 groupes déjà définis par la hiérarchisation ascendante effectuée sur l'ensemble des espèces. En conséquence, la prise en considération des taxons non hydrophiles (bryophytes, lichens non aquatiques et lichens ékréophiles) ne modifie pas la hiérarchisation des espèces lichéniques hydrophiles. À l'aide du tableau de distribution (**Tableau 4**), les 4 groupes (**figure 6**) peuvent être décrits comme suit :

1. le premier groupe correspond à des lichens récoltés dans le CE ;
2. le deuxième groupe correspond à des lichens récoltés dans la PSLA ;
3. le troisième groupe correspond à des lichens récoltés dans la PILA ;
4. un quatrième groupe correspond à des espèces récoltées à la fois dans la PILA, dans la PSLA et dans le CE.

On notera trois sous-groupes dans le groupe 4. Le tableau de distribution montre que :

a. le premier sous-groupe est formé des espèces observées à une altitude supérieure à 800 m et comprend 2 espèces observées dans le PSLA et 4 espèces dans le PILA ;
b. le deuxième sous-groupe est composé des espèces observées à une altitude inférieure à 800 m et comprend 2 espèces observées dans le PSLA et 4 espèces dans le PILA ;
c. le troisième sous-groupe est composé des espèces observées à une altitude supérieure à 800 m et comprend 1 espèce observée dans le CE, 4 espèces dans le PILA et 1 dans le PSLA.

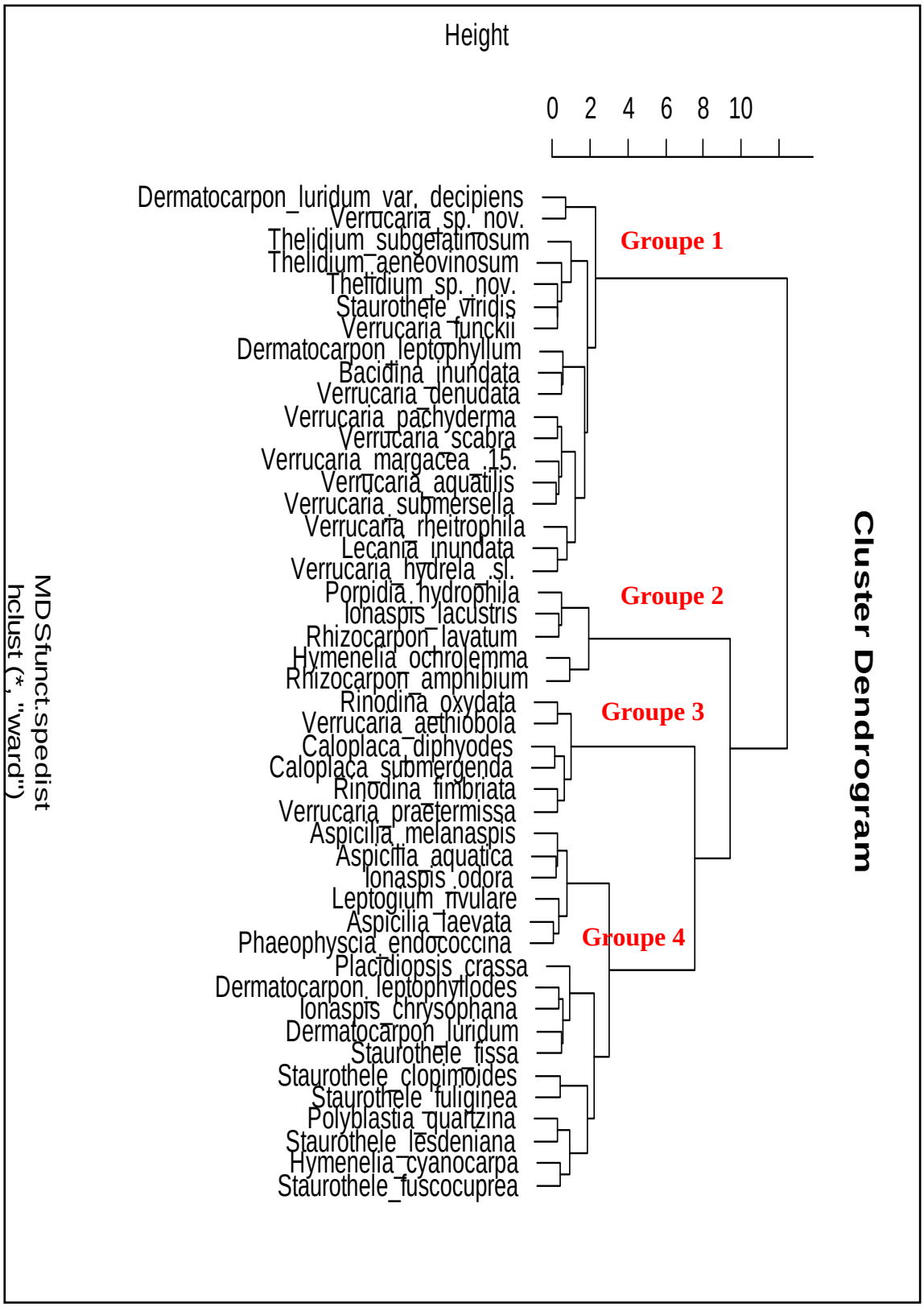

Figure 6 : Classification hiérarchique ascendante des espèces hydrophiles.
La hiérarchisation a été réalisée avec le logiciel « R » sur les espèces hydrophiles et leur pourcentage de recouvrement à l'aide du tableau « espèces hydro ».

L'analyse canonique permet d'identifier les paramètres environnementaux qui définissent les groupements de lichens hydrophiles. Le **tableau 5** donne pour les deux premiers axes de la CCA les coefficients de corrélation canonique des différentes variables (en gras les variables pour lesquelles les coefficients sont les plus forts).

Tableau 5 : Coefficients de corrélation canonique des différentes variables

Paramètres mesurés	Axe1	Axe2
Altitude	0.00541	0.172
Exposition générale ENE	-0.0543	-0.0327
Exposition générale ESE	-0.0698	0.14
Exposition générale N	0.0803	0.185
Exposition générale NE	0.0732	-0.0588
Exposition générale NNE	-0.0218	0.00601
Exposition générale NNO	0.0564	**-0.433**
Exposition générale NO	-0.0122	-0.0814
Exposition générale O	-0.0554	0.0357
Exposition générale ONO	-0.072	0.0408
Exposition générale S	0.0294	-0.139
Exposition générale SE	0.0819	-0.127
Exposition générale SO	-0.0853	0.177
Exposition générale SSE	0.0144	0.0382
Exposition générale SSO	0.106	-0.113
Exposition locale ESE	-0.126	0.0293
Exposition locale N	-0.101	0.112
Exposition locale NE	0.0702	0.00351
Exposition locale NNO	-0.0741	0.00796
Exposition locale NO	0.0294	-0.00317
Exposition locale O	0.187	-0.169
Exposition locale S	0.11	-0.00182
Exposition locale SE	-0.0615	-0.0509
Exposition locale SO	0.0286	-0.137
Exposition locale SSE	0.0394	-0.00341
Granit	0.0226	0.222
Granit supports instables	0.214	**0.301**
Grès rouge	-0.0907	0.106
Quartz	6.01e-05	0.0458
Schistes	-0.137	0.0346
Schistes ferrugineux	0.00946	-0.159
Pente	-0.122	-0.0765
Surface	0.0314	-0.114
PILA	0.103	**-0.722**
PSLA	**-0.777**	0.24

Les axes les plus proches du centre du graphe (Figure 7) ont peu d'influence sur la composition floristique. Par contre la localisation (PSLA, PILA et CE) est la variable la plus influente. Les supports granits instables ont une influence sur la composition floristique lorsqu'ils sont localisés dans le chenal d'étiage. L'exposition générale NNO a également une influence sur la composition floristique pour les relevés effectués dans la partie inférieure du lit apparent. Les autres paramètres n'influent pas sur la distribution des espèces sur la berge de la rivière. La **figure 7** illustre la position de l'ensemble des paramètres mesurés.

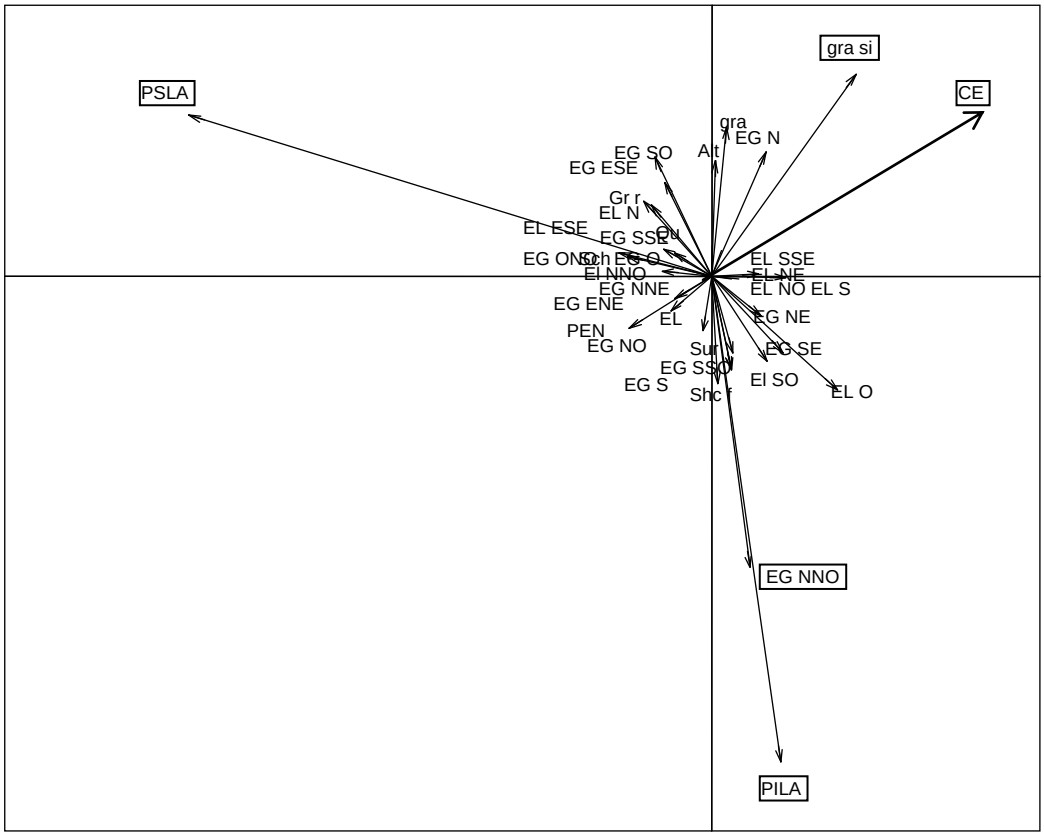

Figure 7 : Illustration de la position de l'ensemble des paramètres relevés (les localisations sur la berge sont les paramètres les plus structurants). **(Alt** : Altitude ; **EG ENE** : Exposition générale ENE ; **EG ESE** : Exposition générale ESE ; **EG N** : Exposition générale N ; **EG NE** : Exposition générale NE ; **EG NNE** : Exposition générale NNE ; **EG NNO** : Exposition générale NNO ; **EG NO** : Exposition générale NO ; **EG O** : Exposition générale O ; **EG ONO** : Exposition générale ONO ; **EG S** : Exposition générale S ; **EG SE** : Exposition générale SE ; **EG SO** : Exposition générale SO ; **EG SSE** : Exposition générale SSE ; **EG SSO** : Exposition générale SSO ; **EL ESE** : Exposition locale ESE ; **EL N** : Exposition locale N ; **EL NE** : Exposition locale NE ; **EL NNO** : Exposition locale NNO ; **EL NO** : Exposition locale NO ; **EL O** : Exposition locale O ; **EL S** : Exposition locale S ; **EL SE** : Exposition locale SE ; **EL SO** : Exposition locale SO ; **EL SSE** : Exposition locale SSE ; **gra** : Granit ; **gra si** : Granit supports instables ; **gr r** : Grès rouge ; **Qu** : Quartz ; **Sch** : Schistes ; **Sch f** : Schistes ferrugineux ; **Pen** : Pente ; **Sur** : Surface ; **PILA** : LocalisationPILA ; **PSLA** : LocalisationPSLA.

La **figure 8** illustre la position de tous les lichens hydrophiles en fonction des paramètres relevés. On constate un regroupement des espèces par localisation. Ainsi les espèces du genre *Verrucaria* sont les plus représentées dans le chenal d'étiage. Les autres espèces sont réparties dans les deux autres localisations (PSLA et PILA).

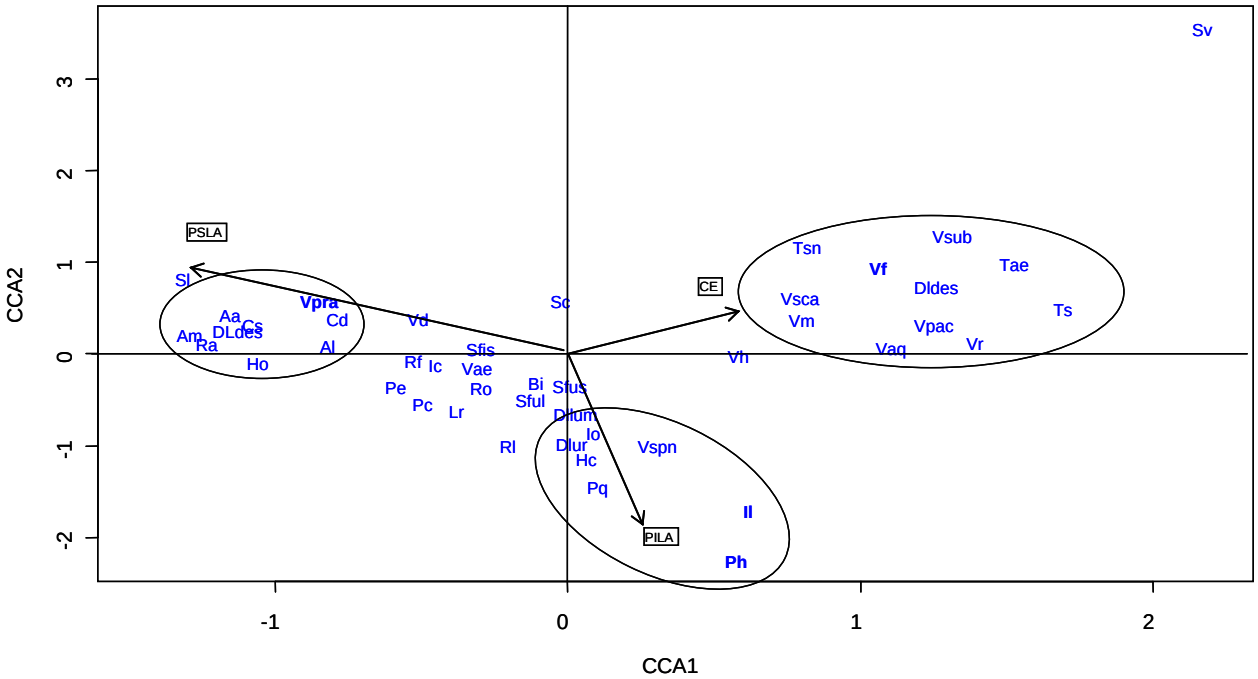

Figure 8 : Position des espèces hydrophiles en fonction des paramètres les plus significatifs présentés à la **figure 7**.

(**Aa** *: Aspicilia aquatica*, **Al** *: Aspicilia laevata*, **Am** *: Aspicilia melanaspis*, **Bi** *: Bacidina inundata*, **Cd** *: Caloplaca diphyodes*, **Cs** *: Caloplaca submergenda*, **Dldec** *: Dermatocarpon luridum var. d.*, **DLdes** *: Dermatocarpon leptophyllodes*, **Dllum** *: Dermatocarpon leptophyllum*, **Dlur** *: Dermatocarpon luridum*, **Hc** *: Hymenelia cyanocarpa*, **Ho** *: Hymenelia ochrolemma*, **Ic** *: Ionaspis chrysophana*, **Il** *: Ionaspis lacustris*, **Io** *: Ionaspis odora*, **Li** *: Lecania inundata*, **Lr** *: Leptogium rivulare*, **Pc** *: Placidiopsis crassa*, **Pe** *: Phaeophyscia endococcina*, **Ph** *: Porpidia hydrophila*, **Pq** *: Polyblastia quartzina*, **Ra** *: Rhizocarpon amphibium*, **Rf** *: Rinodina fimbriata*, **Rl** *: Rhizocarpon lavatum*, **Ro** *: Rinodina oxydata*, **Sc** *: Staurothele clopimoides*, **Sfis** *: Staurothele fissa*, **Sful** *: Staurothele fuliginea*, **Sfus** *: Staurothele fuscocuprea*, **Sl** *: Staurothele lesdeniana*, **Sv** *: Staurothele viridis*, **Ta** *: Thelidium aeneovinosum*, **Ts** *: Thelidium subgelatinosum*, **Tsn** *: Thelidium sp. nov.*, **Vae** *: Verrucaria aethiobola*, **Vaq** *: Verrucaria aquatilis*, **Vd** *: Verrucaria denudata*, **Vf** *: Verrucaria funckii*, **Vh** *: Verrucaria hydrela (sl)*, **Vm** *: Verrucaria margacea*, **Vpac** *: Verrucaria pachyderma*, **Vpra** *: Verrucaria praetermissa*, **Vr** *: Verrucaria rheitrophila*, **Vsca** *: Verrucaria scabra*, **Vspn** *: Verrucaria sp. nov.*, **Vsub** *: Verrucaria submersella*.)

Discussion et conclusion

Dès 1939, Santesson avait mis en évidence l'existence d'une flore lichénique spécifique des roches soumises à des périodes d'immersion par les eaux de rivière. Plus tard, Klement (1955), Wirth (1972), Perreira (1992) et Thüs et Schultz (2009) ont amélioré considérablement les connaissances floristiques de ces espèces riveraines qu'ils nomment aquatiques. Les champignons lichénicoles sont par ailleurs absents de ces travaux.

Ces auteurs (en particulier Wirth, 1972) avaient déjà mis en évidence l'existence d'une flore lichénique plus ou moins structurée en fonction de la hauteur des supports par rapport au centre de l'axe du cours, position interprétée comme durée d'immersion annuelle par les eaux du cours d'eau. Certains auteurs ont même élaboré, sur la base d'observation de terrain, une zonation « lichénique » (Gilbert et Giavarini, 2000) transversale au lit du cours d'eau. Mais aucune dénomination en fonction des temps d'immersion n'est proposée pour qualifier les espèces en fonction de leur position sur la berge de la rivière. James et al. (1977) décrivent deux types de flore aquatique : une flore localisée sur les écoulements surfaciques issus des pluies et une flore lichénique des supports soumis à des périodes d'immersion par les eaux de rivière. Par la suite, Roux et al. (2006) nomment aquatiques les lichens des écoulements

surfaciques (lichens ékréophiles) et les lichens des berges des rivières (lichens hydrophiles). Ainsi les lichens aquatiques des auteurs antérieurs correspondent aux espèces ékréophiles ou hydrophiles. Nous suivrons cette définition de la flore aquatique qui regroupe à la fois les espèces ékréophiles et les espèces hydrophiles. Notre travail de thèse porte uniquement sur les lichens hydrophiles.

Tous les travaux réalisés sur cette thématique ont été effectués en Allemagne, Italie, Espagne, Angleterre et Suisse, mais aucun travail soutenu n'avait été réalisé en France. Il était donc indispensable d'engager une étude sur le territoire français en tenant compte des diversités climatiques afin de faire la liaison avec les travaux précédemment cités. Pour cette raison notre travail a porté principalement sur le sud de la France, pour faire le lien avec les travaux espagnols et italiens, puis sur la Bretagne, la Normandie et l'Alsace pour relier l'ensemble des observations avec les données obtenues en Angleterre et Allemagne par les auteurs précédemment cités.

Les résultats de ces travaux ont permis d'améliorer les connaissances sur la composition de la flore lichénique saxicoles-hydrophile d'Europe occidentale. Par comparaison, la flore hydrophile est très homogène à l'échelle européenne puisque nous avons retrouvé presque toutes les espèces observées par les chercheurs étrangers mis à part quelques espèces endémiques (comme par exemple : *Thelidium aquaticum* Servit). Pour la France, la flore est également homogène et seule l'altitude est un paramètre limitant. Il n'est pas surprenant d'observer cette homogénéité de la flore lichénique saxicole-hydrophile européenne car les lichens hydrophiles s'adaptent aux conditions locales et principalement à la durée annuelle d'immersion.

Au final il a été déterminé 225 lichens présents sur les roches des berges des rivières dont 63 espèces spécifiquement hydrophiles, 18 champignons lichénicoles, 23 lichens ékréophiles et enfin 121 lichens non aquatiques. Il existe bien un regroupement des espèces en fonction du temps annuel d'immersion par les eaux de la rivière. Le temps annuel d'immersion est donc un paramètre structurant les communautés lichéniques saxicoles-hydrophiles. Pour qualifier les espèces en fonction de leur temps annuel d'immersion, nous proposons de nommer :

1. « hyperhydrophiles » : les lichens caractéristiques chenal d'étiage et qui sont de ce fait longuement immergés annuellement (85% de l'année selon Keller, 2005)
2. « mésohydrophiles » : les lichens caractéristiques de la partie inférieure du lit apparent et de ce fait d'une durée moyenne d'immersion annuelle (de 25 à 85% de l'année)
3. « subhydrophiles » : les lichens caractéristiques de la partie supérieure du lit apparent et de ce fait d'une courte durée d'immersion annuelle (< 25% de l'année)

Les genres les plus représentés sont le genre *Verrucaria* et *Staurothele* qui s'observent dans les trois niveaux de noyage. Les genres *Aspicilia*, *Dermatocarpon* et *Bacidina* s'observent principalement dans les parties supérieures et peu dans le chenal d'étiage. Les cyanolichens ne représentent que 10 % de la flore lichénique riveraine, de plus le nombre de chlorolichens augmentent du chenal d'étiage aux parties supérieures de la berge.

Une étude sur la répartition altitudinale des espèces montre également une flore typiquement collinéenne qui peut coloniser les roches de l'étage collinéen jusqu'à la base de l'étage montagnard et une flore montagnarde subalpine qui colonise les roches de l'étage montagnard supérieur à l'étage subalpin.

Les analyses statistiques effectuées sur l'ensemble des relevés confirment cette structuration des communautés lichéniques en fonction des durées annuelles d'immersion mais aussi l'étage bioclimatique. On obtient ainsi par une hiérarchisation ascendante quatre groupes : un groupe de lichens observés dans le chenal d'étiage, un second groupe de lichens

observés dans la partie inférieure du lit apparent et un troisième groupe de lichens observés dans la partie supérieure du lit apparent. Le quatrième groupe correspondant à des regroupements d'espèces observées à la fois dans le PSLA et le PILA et des espèces observées dans le CE et le PILA. Ce dernier groupe correspond aux zones « tampons » entre deux zones, phénomène déjà noté par Nascimbene et al., (2007) où le manque d'immersion annuelle est compensée par une forte protection de la dessiccation de la roche (protection de l'ensoleillement et des vents).

Par ailleurs une première hiérarchisation ascendante a été effectuée sur toutes les espèces (lichens hydrophiles ou pas, champignons lichénicoles, bryophytes) et une seconde sur uniquement les lichens saxicoles-hydrophiles. Les deux analyses ont donné le même résultat décrit précédemment, c'est-à-dire l'existence de quatre groupes dans lesquels ont retrouve les mêmes lichens hydrophiles pour chacun des groupes. Ce résultat démontre l'existence de plusieurs flores qui se superposent : une flore lichénique typiquement hydrophile et une flore non aquatique qui soit se superpose aux communautés hydrophiles (ce qui explique les pourcentages de recouvrement supérieur à 100% de la surface de la roche), soit est intimement imbriquée dans les communautés lichéniques hydrophiles.

Dans le premier cas, la flore lichénique qui se superpose aux communautés lichéniques hydrophiles (principalement des lichens à thalle foliacé) provient des communautés des troncs d'arbres riverains. En effet les thalles foliacés ont un pouvoir de dispersion plus efficace et une croissance plus rapide si bien que lorsque le cours d'eau est situé dans un massif boisé, les communautés lichéniques hydrophiles sont recouvertes par des lichens à thalle foliacé. Du point de vue dynamique des communautés, il y a dans ce cas une substitution des communautés lichéniques subhydrophiles ou mésohydrophiles (qui disparaîtront) par des communautés ubiquistes principalement corticoles.

Dans le deuxième cas, le cours d'eau n'est pas situé en milieu boisé et les communautés hydrophiles sont étroitement imbriquées avec des communautés non hydrophiles situées à proximité de la rivière (lichens majoritairement à thalle crustacé). S'agit-il dans ce cas de substitution ou de participation réciproque des deux communautés aux colonisations des roches vierges ? Il est impossible à ce stade d'être formel sur ces dynamiques possibles.

Il en est de même avec les communautés bryophytiques qui soit se superposent aux communautés lichéniques hydrophiles, ce qui est le cas pour les milieux boisés, soit colonisent les surfaces laissées vierges au sein même des communautés lichéniques hydrophiles. Il est impossible à ce stade de se prononcer sur la nature de la dynamique des communautés : substitution ou participation. Ces phénomènes ne concernent que les communautés lichéniques saxicoles subhydrophiles et mésohydrophiles puisque le nombre d'espèces non hydrophiles est faible au niveau du chenal d'étiage (10 pour 48 au PSLA). Ceci s'explique par les conditions écologiques particulièrement sévères (au niveau du chenal d'étiage) qui inhibent la croissance d'espèces non hydrophiles.

Pour améliorer l'identification des facteurs structurant les communautés lichéniques saxicoles-hydrophiles, une analyse canonique a été réalisée sur les espèces et les paramètres environnementaux relevés lors des prospections. Les facteurs significatifs sont la localisation des communautés sur les berges de la rivière (CE, PILA et PSLA), mais aussi l'exposition générale NNO pour les communautés mésohydrophiles et l'instabilité du substrat pour le chenal d'étiage. L'analyse canonique confirme l'importance de la position des communautés (hauteur par rapport au centre de l'axe du cours d'eau) et donc la durée annuelle d'immersion. L'orientation générale NNO influe sur les communautés lichéniques mésohydrophiles ; les espèces mésohydrophiles telles que *Ionaspis lacustris*, *Porpidia hydrophila*, *Dermatocarpon luridum* sont particulièrement bien représentées dans les relevés réalisés sous orientation NNO. Ce fait est certainement dû à une plus faible dessiccation des roches sous exposition NNO qui favorise l'installation des communautés mésohydrophiles. En effet, en exposition

sud les temps d'immersion (non liés à l'exposition) favorisent l'installation des lichens mésohydrophiles, mais la plus forte dessiccation (ensoleillement et ventilation) diminue considérablement les taux d'hydratation des espèces et donc leur croissance. L'exposition ne semble pas influencer les communautés subhydrophiles ou hyperhydrophiles. En effet, pour les communautés subhydrophiles, les temps de dessiccation étant très longs, une augmentation des durées d'hydratation due à la protection de la dessiccation reste très marginale. Il en est de même pour les communautés hyperhydrophiles dont les temps d'hydratation étant très longs (proximité du chenal d'étiage), une augmentation de la dessiccation par l'exposition reste également très marginale. Au final on constate une forte sensibilité des communautés mésohydrophiles aux temps d'hydratation des lichens, ce qui explique leur plus large amplitude de colonisation au niveau de la partie médiane de la berge.

Lorsque les supports sont instables et situés dans le chenal d'étiage, ils sont beaucoup plus soumis à divers frottements dûs à l'énergie des eaux. Il y a de fait un « décapage » des surfaces qui inhibe l'installation des lichens exceptés pour *Staurothele viridis* qui semble privilégier ce type de support.

Peu de travaux ont été réalisés sur la phytosociologie des communautés lichéniques hydrophiles. Klement (1955), Wirth (1972) et Pereira (1992) ont proposés des hiérarchisations. Ces hiérarchisations ont été réalisées à l'aide de la méthode de prélèvement partiel dont la surface d'étude est de l'ordre du m^2. Cette surface qui est bien trop grande pour l'étude des lichens, couvre une partie de la roche soumise à d'importantes variations écologiques. De ce fait les hiérarchisations proposées ne sont pas en adéquation avec nos propres observations. L'utilisation de la méthode de prélèvement intégral, en diminuant la surface d'étude et donc en limitant les variations écologiques, permet une meilleure compréhension des caractéristiques écologiques des communautés hydrophiles.

L'étude de l'ensemble des relevés effectués par la méthode de prélèvement intégral et rassemblés dans un tableau unique, permet de définir :

1. les espèces de large amplitude écologique : présentes à tous les niveaux de noyage (CE, PILA et PSLA) et à toutes les altitudes ;
2. les espèces observées principalement à l'un des trois niveaux, mais présentes à toutes les altitudes ;
3. les espèces présentes à l'un des trois niveaux de noyage mais présentes uniquement aux étages bioclimatiques : collinéen à la base de l'étage montagnard ou du montagnard supérieur à l'étage subalpin.

Ces trois caractéristiques définissent les unités supérieures phytosociologiques : classe, ordres et alliances. Il est proposé sur la base des pourcentages de présence des espèces pour chaque niveau de noyage et leur importance en terme de recouvrement par niveau d'altitude, le schéma phytosoliogique suivant :

Classe : *Verrucarietea hydrelae* cl. nov. nom.
Lichens saxicoles, calcifuges, hydrophiles (subhydrophiles à hyperhydrophiles) de l'étage collinéen à l'étage subalpin.
Verrucaria hydrela, Staurothele fissa et *Verrucaria aethiobola*.

Ordre : *Verrucarietalia aquaticae* ord. nov.
Lichens saxicoles, calcifuges, subhydrophiles, de l'étage collinéen à l'étage subalpin.
Aspicilia aquatica.

Alliance : *Aspicilion melanaspis* all. nov.
Lichens saxicoles, calcifuges, subhydrophiles, de l'étage montagnard à l'étage subalpin.

Aspicilia melanaspis.

Association : *Ionaspspidetum suaveolentis* Frey 1922

Lichens saxicoles, calcifuges, sbhydrophiles, étage subalpin.

Ionaspis suaveolens, Ionaspis odora, Hymenelia cyanocarpa.

Alliance : *Verrucarion pratermissae* Wirth 1972

Lichens saxicoles, calcifuges, subhydrophiles, étage collinéen et base de l'étage montagnard.

Verrucaria pratermissa, Rinodina oxydata.

Association : *Caloplaco diphyodis-Caloplacetum submergendae* ass. nov.

Lichens saxicoles, calcifuges, subhydrophiles, étage collinéen.

Caloplaca submergenda, Caloplaca diphyodes.

Ordre : *Rhizocarpetalia lavati* ord. nov.

Lichens saxicoles, calcifuges, mésohydrophiles, de l'étage collinéen à l'étage subalpin.

Rhizocarpon lavatum, Dermatocapon luridum, Bacidina inundata.

Alliance : *Ionaspisdion lacustris* all. nov.

Lichens saxicoles, calcifuges, mésohydrophiles, étage collinéen au montagnard inférieur.

Ionaspis lacustris.

Association : *Porpidietum hydrophilae* Ullrich 1962 emend. Drehwald 1993

Lichens saxicoles, calcifuges, mésohydrophiles, étage montagnard.

Porpidia hydrophila, Ionaspis lacustris.

Alliance : *Phaeophyscion endococcinae* all. nov.

Lichens saxicoles, calcifuges, mésohydrophiles, de l'étage montagnard supérieur à l'étage subalpin.

Phaeophyscia endococcina.

Association : *Staurotheletum fuscocupreae* ass. prov.

Lichens saxicoles, calcifuges, mésohydrophiles, étage subalpin.

Staurothele fuscucuprea, Staurothele clopimoides.

Ordre : *Verrucarietalia margaceae* ord. nov.

Lichens saxicoles, calcifuges, hyperhydrophiles, de l'étage collinéen à l'étage subalpin.

Verrucaria margacea, Verrucaria aquatilis.

Alliance : *Verrucarion rheitrophilae* ord. nov.

Lichens saxicoles, calcifuges, hyperhydrophiles, étage collinéen.

Verrucaria rheitrophila.

Association : *Verrucarietum rheitrophilae* ass. prov. nov.

Lichens, saxicoles, calcifuges, hyperhydrophiles, étage collinéen.

Verrucaria rheitrophila, V. aquatilis.

Alliance : *Verrucarion funckii* Wirth 1972

Lichens saxicoles, calcifuges, hyperhydrophiles, de l'étage montagnard à subalpin.

Verrucaria funckii, Verrucaria pachyderma.

Association : *Thelidietum aeneovinosi* Motyka 1925

Lichens saxicoles, calcifuges, hyperhydrophiles, étage montagnard et subalpin.

Verrucaria funckii, Thelidium aeneovinosum.

Cette hiérarchisation est construite selon une classe, trois ordres et six alliances. Elle doit être considérée comme provisoire ; une étude détaillée, association par association, s'avère nécessaire. Ce travail permettrait d'améliorer les compositions floristiques des associations

lichéniques et des unités supérieures[1], mais également de comprendre les conditions environnementales (en plus des temps annuels d'immersion) qui conditionnent l'installation des différentes associations telles que les orientations ou la nature des supports.

Cette nouvelle hiérarchisation améliore les hiérarchisations proposées à ce jour. Elle est plus précise en ce qui concerne l'écologie des groupements. En effet les hiérarchisations phytosociologiques proposées à ce jour (Klement, 1955 ; Wirth, 1972, 1980 et 1995 reprises par Thüs, 2002 et Thüs et Schultz, 2009) proposent une organisation phytosociologique en une classe, un ordre et deux alliances, donc trop succincte et trop globalisante en terme d'écologie. Ceci est la conséquence de la méthode de prélèvement partiel appliquée.

Nous proposons une organisation des communautés lichéniques saxicoles-hydrophiles en une classe, trois ordres et six alliances comme définis ci-dessus. Par comparaison avec les tableaux phytosiologiques donnés par les auteurs cités précédemment, on constate une parfaite intégration de leurs associations dans ce nouveau schéma. En effet toutes les associations décrites présentent des espèces caractéristiques des unités supérieures telles que nous les avons définies.

Comme il vient d'être démontré la durée annuelle d'immersion (et donc le temps d'hydratation des lichens) est un facteur capital pour l'installation des différentes communautés lichéniques saxicoles-hydrophiles. Pour comprendre les divers aspects du métabolisme (en particulier carboné) en fonction de l'hydratation des tissus, un choix des espèces utilisées pour ces expérimentations a dû être réalisé. Afin de s'affranchir des variations microécologiques des supports, il convenait de sélectionner les espèces représentatives d'un niveau d'immersion occupant la plus grande surface (Recouvrement moyen global) avec un thalle non segmenté. L'espèce correspondant à ces critères a été considérée comme représentative d'un niveau d'immersion pour la zone d'étude considérée.

Pour chaque niveau d'immersion, on constate que :

1. *Verrucaria praetermissa* est l'espèce la plus souvent présente dans les groupements subhydrophiles (80% des relevés) avec le plus important recouvrement moyen global des subhydrophiles (11,1%) ;
2. *Ionaspis lacustris* est l'espèce souvent présente dans les groupements mésohydrophiles (76% des relevés) avec un recouvrement moyen global important (21%). *Porpidia hydrophila* est l'espèce souvent présente dans les groupements mésohydrophiles (91% des relevés) avec un recouvrement moyen global important (11,8%) ;
3. *Verrucaria funckii* est l'espèce la plus souvent présente dans les groupements hyperhydrophiles (67%) avec un recouvrement moyen global le plus importante des hyperhydrophiles (10,4%).

[1] Les unités supérieures correspondent aux ordres, alliances et classes phytosociologiques.

CHAPITRE 3

ÉTUDE FONCTIONNELLE DE QUATRE LICHENS « MODÈLES » HYDROPHILES (HYPER, MÉSO, SUBHYDROPHILE) ET NON AQUATIQUE

Introduction

Nous avons défini trois communautés lichéniques au sein des lichens aquatiques des rivières sur la base de leur positionnement dans le profil transversal du lit apparent[1] des cours d'eau. Notre hypothèse est que la variable environnementale structurante est la durée de leur immersion. *Verrucaria pratermissa* (subhydrophiles), *Ionaspis lacustris*, *Porpidia hydrophila* (mésohydrophiles) et *Verrucaria funckii* (hyperhydrophiles) sont les espèces les plus fréquentes, les plus homogènes (thalle non segmenté) avec le plus fort recouvrement moyen global[2] pour chacun des niveaux d'immersion. Nous les avons donc retenu comme « espèces modèles » des communautés hydrophiles.

Afin de caractériser le fonctionnement de ces lichens modèles en termes de photosynthèse et de respiration, termes de la productivité, nous avons réalisé plusieurs expérimentations dont l'objectif a été de :

1. identifier et quantifier les différents pigments photosynthétiques des algues lichénisées ;
2. mesurer le potentiel photochimique du photosystème II (Ψ_{PSII}) ;
3. quantifier les flux d'O_2 et de CO_2 en milieu aquatique sous différentes intensités lumineuses ;
4. quantifier la masse fongique par dosage de l'ergostérol[3].

Le comportement des espèces hydrophiles a été comparé à une espèce non aquatique très fréquente (*Rhizocarpon geographicum).*

Matériel et méthodes

I - Mesures des flux d'O_2 en milieu aquatique

Les mesures de flux de dioxygène en milieu aquatique ont été réalisées avec un respiromètre de type Strathkelvin 928 système. Les échantillons ont été récoltés avec leur support à l'aide d'un marteau et d'un burin la veille ou l'avant-veille des expérimentations. Les lichens ont été réhydratés la veille des tests par immersion pendant 24 h dans l'eau du cours d'eau à température ambiante. Pour la mesure des flux d'O_2, l'éclat de roche avec le

[1] Lit mineur, lit mouillé ou lit apparent : espace qu'empruntent les eaux en temps normal hors crue historique.
[2] C'est pour une espèce donnée dans un tableau de N relevés, la moyenne des recouvrements en % dans l'ensemble des relevés.
[3] Composant spécifique de la membrane fongique.

lichen d'environ 0,5 cm^2 est introduit dans une cuve contenant 3 ml d'eau du cours d'eau soumise à agitation tout au long de l'expérimentation. L'eau du cours d'eau a été enrichie de carbonate de potassium (0,07g.l^{-1}) afin d'assurer une disponibilité suffisante en CO_2. Le pH a été ajusté à 6,8 par addition d'environ 1,5 ml d'acide chlorhydrique (N/10) dans 500 ml d'eau. La concentration de dioxygène est mesurée toutes les secondes pendant deux heures correspondant à 4 traitements lumineux successifs de 30 minutes : lumière ambiante, obscurité (respiration), éclairements à 80 µmol photons.m^{-2}.s^{-1} PAR (Photosynthetically Active Radiation) et 200 µmol photons.m^{-2}.s^{-1} PAR (photosynthèse). Les éclairements ont été réalisés à l'aide de deux (80 µmol photons.m^{-2}.s^{-1} PAR) ou quatre néons (200 µmol photons.m^{-2}.s^{-1} PAR) de type : lampe FHO 24W/T5 550 mm diamètre 16 mm placés à 30 cm au dessus des cuves. Les concentrations de dioxygène utilisées pour les calculs ont été relevées les vingt dernières minutes des trente minutes de tests. Les mesures ont été réalisées à 10°C et 20°C. Pour chaque espèce, l'expérience a été répétée 30 fois sur 30 échantillons différents. Les lichens ont été récoltés sur deux sites éloignés du sud de la France (Tarn et Hérault ; 15 échantillons par site) et dans cinq stations (distantes de plusieurs centaines de mètres) pour chacun des sites au cours de trois campagnes de collectes pendant les mois de mars, juillet et octobre 2009. Les résultats sont exprimés en fonction de la biomasse sèche sans cendres ou de la surface. La biomasse a été calculée par pesées et pyrolyse des échantillons. Les surfaces ont été obtenues par mesure des thalles avec une feuille transparente quadrillée (précision de 1mm^2).

II - Dosage de l'ergostérol

Le dosage de l'ergostérol a été effectué selon la méthode décrite par Gesner dans *M.A.S. Graça, F. Bärlocher & M.O. Gessner (2005)*. Trois échantillons par espèce (récoltés en août 2009) ont été analysés. La biomasse des lichens a été récoltée par grattage des surfaces colonisées par les lichens à l'aide d'une spatule de laboratoire. Les résultats sont exprimés en fonction de la masse sèche des espèces récoltées.

III - Mesures des flux de CO_2 en milieu aérien

Les concentrations en CO_2 ont été mesurées à l'aide d'un licor de type Li-Cor 6400, LICOR, USA. Chaque espèce a été testée 10 fois. Les échantillons ont été prélevés en mars 2010 sur les deux sites précédemment décrits. Avant les mesures, ces échantillons et leur support ont été réhydratés par immersion dans l'eau du cours d'eau à 20°C et luminosité du laboratoire pendant 24h.

Pour les mesures de l'intensité respiratoire : les échantillons réhydratés sont sortis de l'eau, gentiment essuyés avec du papier absorbant, insérés dans des tubes « venoject » qui sont hermétiquement fermés et immédiatement placés pendant 30 minutes à l'obscurité à 20°C. Á l'issue de ces 30 mn, une partie aliquote du gaz des tubes est prélevée et analysée.

Pour les mesures d'assimilation, ces mêmes échantillons sont réimmergés dans l'eau du cours d'eau pendant 30 minutes, sortis de l'eau, gentiment essuyés avec du papier absorbant puis réinsérés dans les tubes qui, hermétiquement fermés, sont immédiatement placés pour 60 minutes à 20°C sous un éclairement de 500 µmol photons.m^{-2}.s^{-1} PAR obtenus avec des lampes à vapeur de mercure (OSRAM). Une partie aliquote du gaz a été prélevée et analysée.

Les échantillons sont ensuite réimmergés dans l'eau du cours pendant 30 minutes, sortis de l'eau, gentiment essuyés avec du papier absorbant et réinsérés dans les tubes qui de nouveau hermétiquement fermés sont immédiatement placés pendant 30 minutes à 20°C sous 2000 µmol photons.m^{-2}.s^{-1} PAR obtenus par ensoleillement naturel. Une partie aliquote des gaz des tubes a été prélevée et analysée.

Les flux de CO_2 sont estimés par mesure de la différence de concentration de CO_2 entre l'air atmosphérique initialement présent dans le tube (380 ppm de CO_2) et l'air dans le tube prélevé en fin d'expérience. Cinq ml de l'air contenu dans les tubes sont prélevés à l'aide d'une seringue à travers le bouchon plastic. Afin d'éviter toute dépression à l'intérieur du tube lors du prélèvement, la seringue est préalablement remplie de 5 ml d'air extérieur à 380 ppm de CO_2 qui sont injectés dans le tube par le bouchon (dont il sera tenu compte lors des calculs). Avant de récupérer les 5 ml de gaz pour l'analyse, l'air du tube est homogénéisé par 5 mouvements du piston de la seringue.

IV - Quantification et identification des pigments photosynthétiques

L'identification et la quantification des pigments photosynthétiques ont été réalisées selon la méthode décrite par Barlow (1997). Les échantillons ont été récoltés les 14 et 15 août 2009 de 10h à 13h (température ambiante de l'ordre de 20°C, hygrométrie inférieure à 20% et luminosité de l'ordre de 1500 µmol photons.m^{-2}.s^{-1} PAR) et stockés pendant le transport dans un container à azote liquide et au laboratoire dans un congélateur à -80°C.

Le taux d'hydratation des échantillons lors des récoltes a été estimé par pesées avant et après lyophilisation des échantillons au laboratoire. Tous les échantillons présentent un taux d'hydratation inférieur à 10%.

Les concentrations des différents pigments sont calculées en fonction de la masse des échantillons lyophilisés et des valeurs des calibrateurs standards.

L'analyse des algues épilichéniques a été réalisée par grattage des surfaces de lichens à l'aide d'une brosse à poils souples sur les deux sites de collectes (5 échantillons par site). Les algues épilichéniques ont été conservées dans l'eau du cours d'eau pendant le transport et fixées par addition d'une goutte de lugol au laboratoire. L'observation directe entre lames et lamelles a été réalisée avec un microscope Nikon Eclipse 80i.

V - Mesures du potentiel photochimique du photosystème II (Ψ_{PSII})

Le potentiel photochimique maximal du PS_{II} a été estimé par mesure du rendement de fluorescence de la chlorophylle *a* des échantillons adaptés à l'obscurité à l'aide d'un PAM-2000 (Walz, Effeltrich, Germany) selon la méthode de Krause (1988) et d'un PhytoPam (système III, Phyto-EDF) dont la sonde est adaptée pour effectuer des mesures en milieu aérien ou en milieu aquatique.

Les échantillons ont été récoltés sur les sites et les stations déjà mentionnées. Les récoltes ont été réalisées en mai 2010 l'impact du degré l'hydratation et en décembre 2009 pour celle de quatre mois d'exondation (décembre 2009 à avril 2010). Toutes les mesures du potentiel photochimique ont été effectuées à l'obscurité sur des échantillons préalablement maintenus 24h à l'obscurité. Les valeurs présentées sont la moyenne de 10 répétitions.

Les mesures du potentiel photochimique ont été effectuées sur des échantillons secs et sur des échantillons hydratés. Ainsi, des échantillons ont été déshydratés 24h à l'étuve à 25°C avant les mesures, puis ont été pesés, réhydratés pendant 24h à l'obscurité avec l'eau du cours d'eau avant de nouvelles mesures.

L'impact d'une longue période de déshydratation a été estimé sur des échantillons laissés quatre mois à l'air du laboratoire avant d'être réhydratés à l'obscurité pendant 24h.

L'impact d'une transition milieu aérien-milieu aquatique (réhydratation) sur le potentiel photochimique a été déterminé par l'analyse des échantillons (obscurité, 20°C), étuvés pendant 24h à 25°C avant d'être pesés puis immergés dans l'eau du cours d'eau. Toutes les minutes, les échantillons sont sortis de l'eau, gentiment essuyés avec du papier absorbant, pesés, analysés pour la fluorescence et réimmergés.

L'impact d'une transition milieu aquatique-milieu aérien (i.e. déhydratation) a été déterminée sur des échantillons réhydratés par l'eau du cours d'eau pendant 24h à l'obscurité (20°C) puis sortis de l'eau, gentiment essuyés avec du papier absorbant, pesés et laissés sur la paillasse (environ 50% HR). Toutes les cinq minutes les échantillons sont pesés avant la mesure du potentiel photochimique.

Le contenu en eau est estimé par différence entre le poids du lichen hydratés et celui de ce même lichen déshydraté rapporté au poids déshydraté ; il est exprimé en %.

VI - Cinétiques de déshydratation et d'hydratation

Les expériences sont réalisées à 20 °C et 50% HR, la vitesse d'hydratation a été mesurée par pesées toutes les 2 minutes sur des échantillons étuvés pendant 24h à 25°C puis pesés avant d'être immergés dans l'eau du cours d'eau. La vitesse de déshydratation a été mesurée sur des échantillons réhydratés pendant 24h avec l'eau du cours d'eau avant d'être sortis de l'eau et laissés à l'air. Les échantillons sont pesés toutes les cinq minutes.

Après pyrolyse des échantillons, il a été vérifié que les roches débarrassées des cendres par frottement à l'aide d'un pinceau souple, ne présentaient aucune différence de poids avant et après immersion pendant 30 minutes dans l'eau du cours d'eau, puis pesées après essuyage avec du papier absorbant.

L'hygrométrie et la température ambiantes pendant les tests ont été mesurées à l'aide d'un thermomètre et d'un hygromètre.

VII - Analyse statistique des résultats

Tous les résultats ont fait l'objet d'une analyse de la variance et d'un test de Tukey (différences significatives honnêtes) à l'aide du logiciel STATGRAPHICS Centurion XV.II. Les différents groupes homogènes statistiquement sont identifiés sur les graphes par des lettres : a, b, c… Les différences significatives entre deux échantillons indépendants sont indiquées par ***. Pour chaque graphe, les barres d'erreurs correspondent aux erreurs types des répliquas réalisés.

VIII - Sites de collectes des échantillons

VIII.1 – Positions géographiques

Deux sites distants d'environ 50 km sur carte ont été choisis dans le sud de la France (**Figure 1**) ; un dans le département du Tarn et le second dans l'Hérault.

Le site du Tarn est situé sur la commune du Pont-de-L'Arn au sud du département. Le site est un lieu dit nommé « les gorges du Banquet ». Les cinq stations de récoltes sont localisées en aval du pont dit « Pont des gorges » aux coordonnées : long. 2° 28' 39''E et lat. 43° 30' 49''N et à une altitude de 520 m ; les échantillons ont été récoltés dans l'Arn. Le site est uniquement formé par des gneiss à oeuillés. La courbe ombrothermique (**Figure 2**) montre que le site est situé dans la région eurosibérienne : la courbe des températures annuelles reste en deçà de la courbe des pluies. La station des données météréologiques a été choisie pour sa proximité avec le site (environ 5 km sur carte).

Le site de l'Hérault est situé sur la commune de Rosis au nord ouest du département dans le massif du Caroux. Les stations de récoltes sont localisées au lieu dit « la salle à manger du Rieutord » aux coordonnées : long 2° 58' 11''E et lat 43° 35' 38'' N à une altitude de 700 m dans le cours d'eau nommé « Le Rieutord ». La station météréologique retenue est celle de

Murat-sur-Vèbre (environ 15 km sur carte). La courbe ombrothermique (**Figure 3**) indique que le site est situé dans la région eurosibérienne proche de la région méditerranéenne.

VIII.2 - Caractéristiques physicochimiques des sites

Des mesures physicochimiques ont été réalisées de 10h à 14h les 1 et 2 avril 2010 sur chaque site. Tous les paramètres ont été mesurés cinq fois le long du cours d'eau.

Des sondes immergées dans l'eau des cours d'eau ont permis de mesurer le pH WTW (modèle PH320), la conductivité (en msiemens, modèle Hannah) et la teneur en oxygène (WTW, modèle Oxi330i ; en g $O_2.l^{-1}$).

La température (en °C) a été mesurée par un thermomètre au centre du cours d'eau à environ 10 cm sous la surface de l'eau.

La vitesse du courant (Li-cor, modèle LiC250 ; en $m.s^{-1}$) a été mesurée au centre du cours d'eau.

La profondeur (en m) a été mesurée au centre du cours d'eau à l'aide d'un bâton immergé. La largeur a été mesurée à l'aide d'un décamètre en moyennant la largeur la plus grande et la plus petite de la zone d'étude.

L'hygrométrie (en % d'humidité), la température de l'air (en °C) et la luminosité (en µmol photons.$m^{-2}.s^{-1}$ PAR, capteur dirigé vers le ciel) ont été mesurées aux niveaux du chenal d'étiage (CE), de la partie inférieure du lit apparent (PILA) et de la partie supérieure du lit apparent (PSLA) ainsi que loin du cours d'eau (environ 30 m des berges). L'hygromètre, le thermomètre et le luxmètre ont été déposés dans une boîte en matière plastic qui a été maintenue horizontalement posée sur la roche aux différents niveaux du cours d'eau (hors cours d'eau, environ 30 m, au niveau du PSLA, du PILA et du CE). Les valeurs retenues sont celles obtenues après stabilisation.

Figure 1 : Localisation en France des sites de collectes des échantillons.

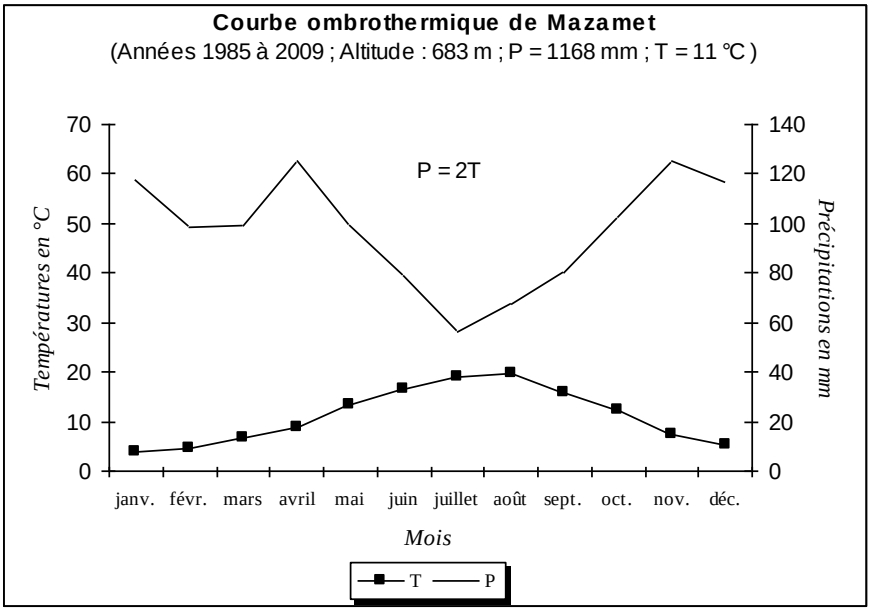

Figure 2 : Courbe ombrothermique de Mazamet.
(Sur carte à environ 5 km direction S du site de récoltes).

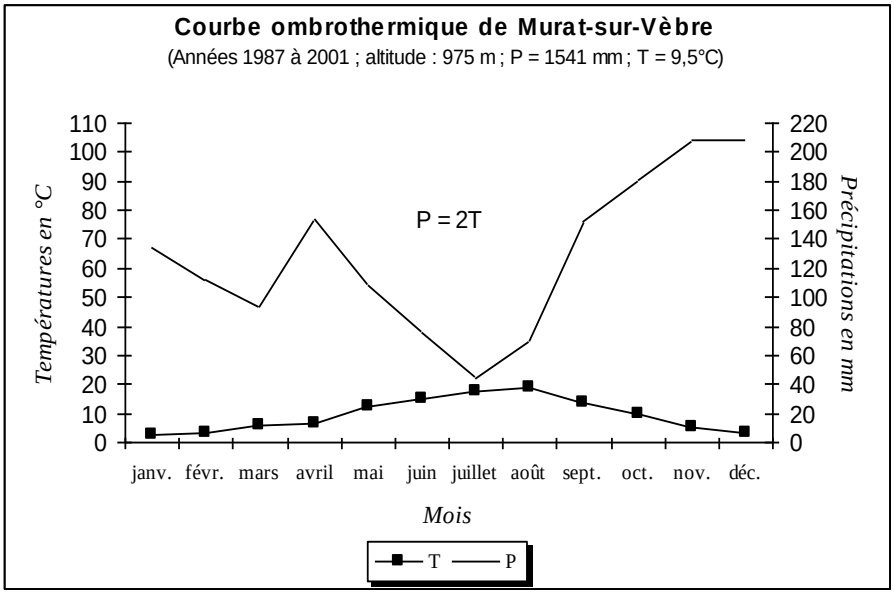

Figure 3 : Courbe ombrothermique de Murat-sur-Vèbre.
(Sur carte à environ 15 km direction NO du site de récoltes).

Résultats

I - Caractéristiques physicochimiques des sites de collectes des échantillons

Les **figures 4** et **5** présentent les valeurs moyennes des mesures physicochimiques effectuées sur les deux sites.

Concernant les paramètres chimiques (**Figure 4**), seule la conductivité est significativement différente entre les deux sites (Tarn : 36 msm et Hérault : 29 msm).

Concernant les paramètres physiques (**Figure 5**), la luminosité entre les deux sites semble très différente. La largeur, la profondeur et la vitesse du courant présentent des différences significatives. Compte tenu de la similitude de la flore lichénique, ces paramètres ne semblent pas influencer la composition des communautés.

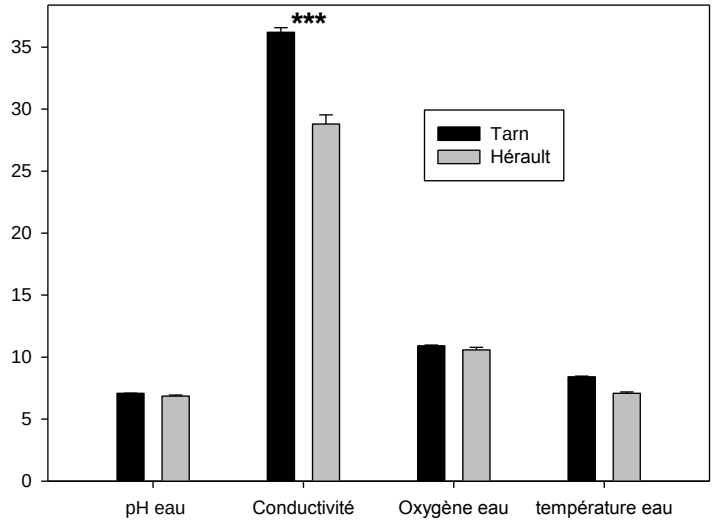

Figure 4 : Caractéristiques chimiques des eaux des deux cours d'eau.
(p = 0,000 ; conductivité en msm, oxygène en g $O_2.l^{-1}$, température en °C ; mesures effectuées les 1 et 2 avril 2010)

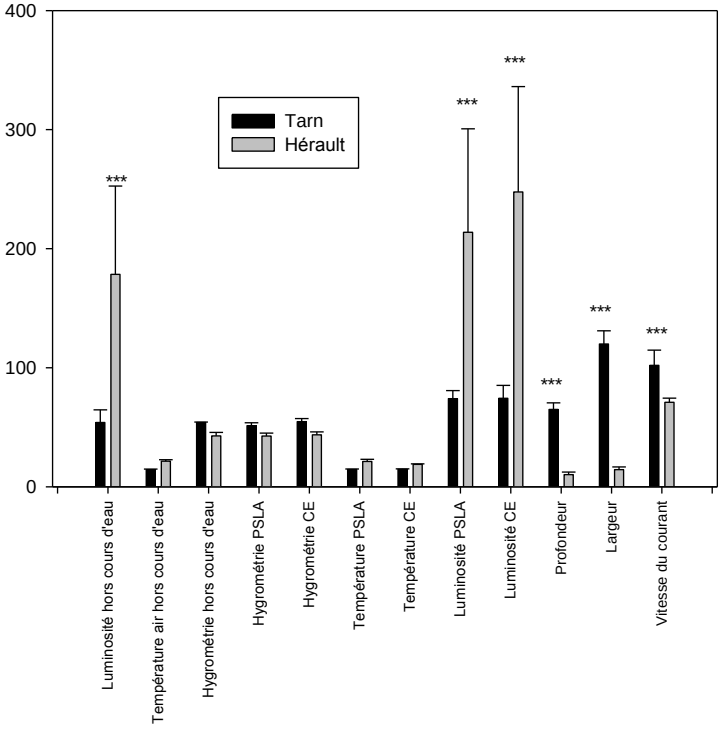

Figure 5 : Caractéristiques physiques des deux cours d'eau.
(p = 0,000 ; luminosité en µmole photons.$m^2.s^{-1}$ PAR, température en °C, hygrométrie en % HR, profondeur en cm, largeur en m x 10, vitesse en $m.s^{-1}$ x 100 ; mesures effectuées les 1 et 2 avril 2010)

II - Biomasse surfacique

La figure 6 présente la biomasse surfacique des espèces.

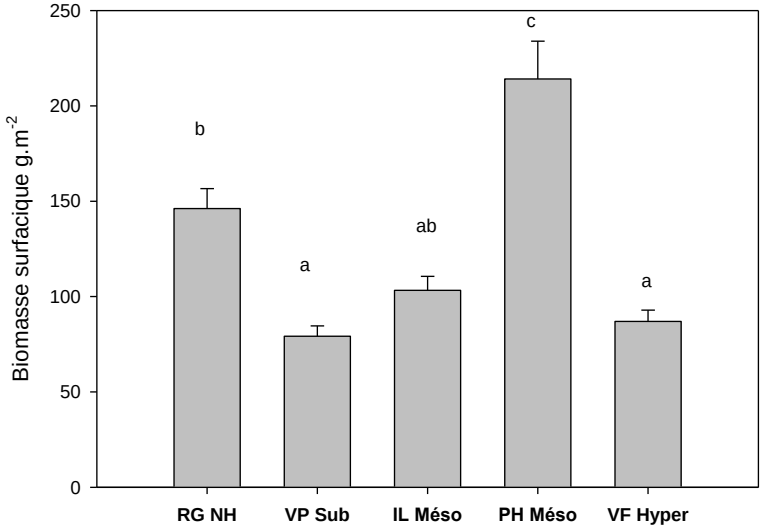

Figure 6 : Biomasse surfacique des lichens.
(La biomasse surfacique a été estimée sur 40 échantillons pour chaque espèce. Les échantillons récoltés la veille ou l'avant veille des estimations, sont desséchés à l'étude à 30°C pendant 24h, pesés puis pyrolysés au four à 450°C pendant 5h et enfin pesés. La biomasse est estimée par différence des masses avant et après pyrolyse. La surface est estimée à l'aide d'une feuille transparente quadrillée (carrés de 1 mm^2). La biomasse surfacique est calculée par division de la biomasse par la surface. Les résultats ont fait l'objet d'une analyse statistique, test de Tuckey, les barres d'erreurs correspondent aux erreurs types de chaque échantillon, p = 0,000 ; NH = non hydrophile, Sub. = subhydrophile, Méso. = mésohydrophile, Hyper. = hyperhydrophile).

On observe des différences significatives entre certaines espèces. On notera 3 groupes statistiquement différenciés :

1. le lichen subhydrophile qui présente avec le lichen hyperhydrophile les plus faibles masses surfaciques ;
2. le lichen mésohydrophile (PH) qui possède la plus forte masse surfacique ;
3. le lichen non hydrophile (RG) a une valeur intermédiaire. L'espèce mésohydrophile (IL) n'est pas différente de RG, VP et VF pour ce paramètre.

III - Intensité respiratoire

III.1 – Respiration des lichens immergés

Les **figures 7 et 8** présentent la consommation d'O_2 mesurée à l'obscurité et exprimée par unités de biomasse ou de surface.

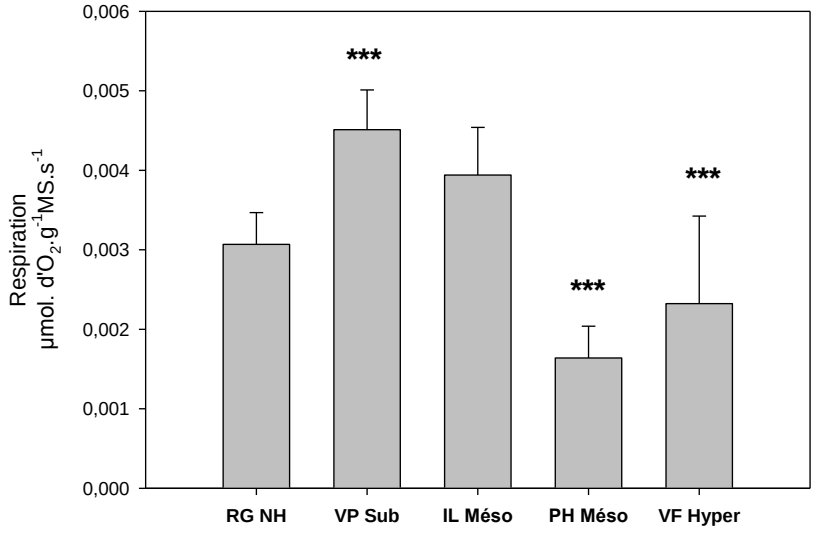

Figure 7 : Assimilation d'O_2 en milieu aquatique à l'obscurité par unité de biomasse.

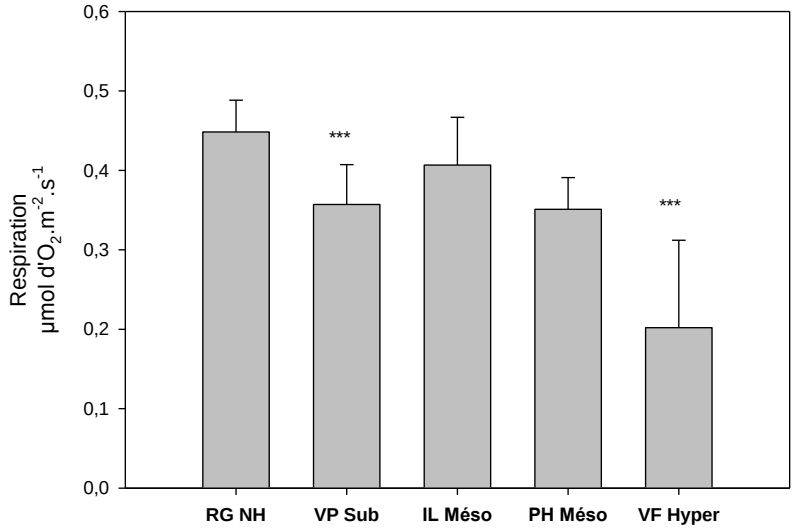

Figure 8 : Assimilation d'O_2 en milieu aquatique à l'obscurité par unité de surface.
(**Figures 7 et 8** : les 30 échantillons de chaque espèce testés ont été récoltés la veille ou l'avant-veille des expérimentations. Les éclats de roche (0,5 cm^2 environ) recouvert par le lichen sont réhydratés par immersion dans l'eau du cours d'eau la veille des tests. Ils sont ensuite placés dans les cuves du respiromètre emplies d'eau du cours d'eau enrichie en CO_2, la température du test est réglée à 10°C., l'obscurité a été obtenue en recouvrant les cuves d'un tissu noir. Les concentrations de dioxygène ont été relevées toutes les vingt dernières minutes des trente minutes de tests. Les résultats obtenus sont divisés par la surface ou la biomasse de chaque échantillon et ont fait l'objet d'une analyse statistique, test de Tuckey, les barres d'erreurs correspondent aux erreurs types de chaque échantillons,
p = 0,000. NH = non hydrophile, Sub. = subhydrophile, Méso. = mésohydrophile, Hyper. = hyperhydrophile)

Tous les lichens consomment de l'O_2 à l'obscurité en milieu aquatique. Cette respiration est comprise entre 0,20 et 0,45 µmol d'$O_2.m^2.s^{-1}$ ou 0,0016 et 0,0045 µmol d'$O_2.g^{-1}MS.\ s^{-1}$. L'espèce de lichen subhydrophile présente un taux de consommation d'O_2 à l'obscurité nettement supérieure à celui de l'espèce hyperhydrophile (par unité de biomasse ou de surface). Les deux lichens mésohydrophiles présentent un comportement intermédiaire. Le lichen IL se comporte toujours comme le lichen subhydrophile. Le lichen mésohydrophile PH présente par unité de biomasse, un taux de consommation d'O_2 similaire à celui de l'espèce

hyperhydrophile mais sur la base de la surface, sa respiration est similaire à celle du lichen subhydrophile.

III.2 – Respiration des lichens en milieu aérien

Les **figures 9 et 10** présentent le dégagement de CO_2 par les lichens bien hydratés placés à l'air, exprimé par unités de biomasse ou de surface.

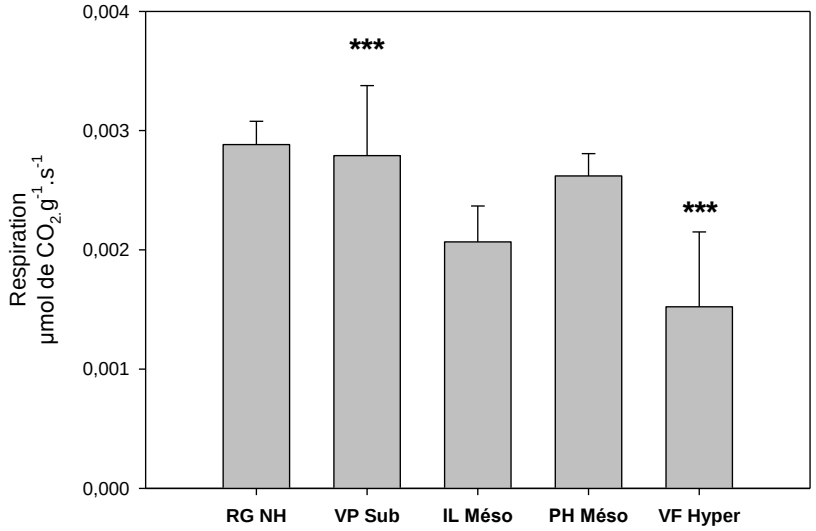

Figure 9 : Dégagement de CO_2 en milieu aérien à l'obscurité exprimé par unité de biomasse.

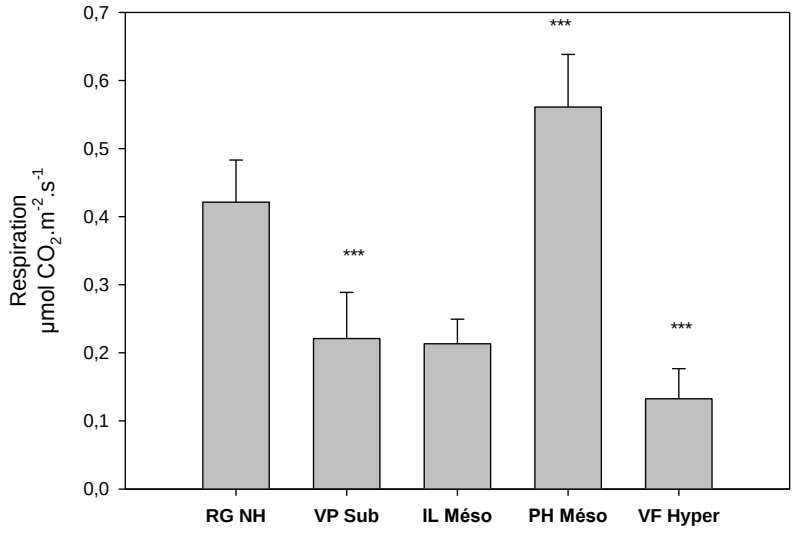

Figure 10 : Dégagement de CO_2 en milieu aérien à l'obscurité par unité de surface.

(**Figures 9 et 10** : les 10 échantillons de chaque espèce testés ont été récoltés la veille ou l'avant-veille des expériences. Les éclats de roche (2 cm^2 environ) recouvert du lichen sont hydratés par immersion dans l'eau du cours d'eau la veille des tests. Ils sont ensuite sortis de l'eau, gentiment essuyés avec du papier absorbant et enfermés dans les tubes venoject qui sont hermétiquement fermés et placés immédiatement dans une chambre noire pendant 30 mn à 20°C. Les concentrations de CO_2 ont été relevées dans les tubes en fin de tests à l'aide d'une seringue puis injectées dans le Licor. Les flux de CO_2 sont estimés par mesure de la différence de concentration de CO_2 entre l'air atmosphérique initialement présent dans le tube (380ppm de CO_2) et l'air dans le tube prélevé en fin d'expérience. Les résultats obtenus sont divisés par la surface de chaque échantillon et ont fait l'objet d'une analyse statistique, test de Tuckey, les barres d'erreurs correspondent aux erreurs types de

chaque échantillons, p = 0,000. NH = non hydrophile, Sub. = subhydrophile, Méso. = mésohydrophile, Hyper. = hyperhydrophile).

Tous les lichens produisent du CO_2 à l'obscurité en milieu aérien. Cette respiration est comprise entre 0,13 et 0,56 µmol de $CO_2.m^2.s^{-1}$ ou 0,001 et 0,003 µmol.de $CO_2.g^{-1}MS.\ s^{-1}$. L'espèce de lichen subhydrophile présente un taux de production de CO_2 à l'obscurité nettement supérieure à celui de l'espèce hyperhydrophile (par unités de biomasse ou de surface). Par unité de biomasse, les deux lichens mésohydrophiles ont un comportement intermédiaire. La production de CO_2 du lichen non hydrophile est proche de celle des lichens subhydrophiles. Par unité de surface, le lichen non hydrophile et un lichen mésohydrophile (PH) présente un taux de production de CO_2 supérieur aux 3 autres espèces.

III.3 - Teneur en ergostérol

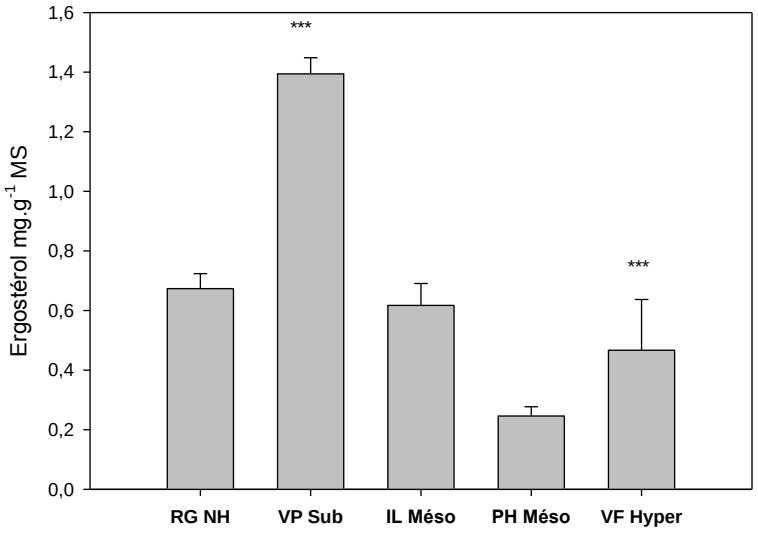

Figure 11 : Taux d'ergostérol par unité de biomasse.
(Les 9 échantillons testés ont été stockés pendant le transport dans un container à azote liquide et stockés au laboratoire dans un congélateur à -80°C en attente des analyses. Les lichens ont été récoltés par grattage des surfaces de roche recouvert de lichen. Les dosages sont réalisés par HPLC après lyophilisation des échantillons. Les résultats sont exprimés en mg d'ergostérol par gramme de matière sèche. Les résultats obtenus ont fait l'objet d'une analyse statistique, test de Tuckey, les barres d'erreurs correspondent aux erreurs types de chaque échantillons, p = 0,000. NH = non hydrophile, Sub. = subhydrophile, Méso. = mésohydrophile, Hyper. = hyperhydrophile).

La teneur en ergostérol des lichens est comprise entre 0,20 et 1,40 $\mu g.g^{-1}MS$ (**Fig. 11**). Le lichen subhydrophile présente un niveau significativement plus élevé que les autres espèces. Un des lichens mésohydrophiles (*P. hydrophila*, PH) possède le niveau le plus bas. Les trois autres espèces montrent des teneurs proches qui se situent entre les deux extrêmes.

III.4 - Corrélation entre l'intensité respiratoire et la teneur en ergostérol

La **figure 12** présente la relation entre l'intensité respiratoire en milieu aquatique exprimée sur la base de la biomasse et la teneur en ergostérol des espèces.

On constate une bonne corrélation pour les cinq espèces testées (Coefficient de corrélation de Pearson = 0,87). Il n'y a pas de corrélation entre la teneur en ergostérol et l'intensité respiratoire en milieu aérien (coefficient de corrélation de Pearson = 0,39, résultats non montrés).

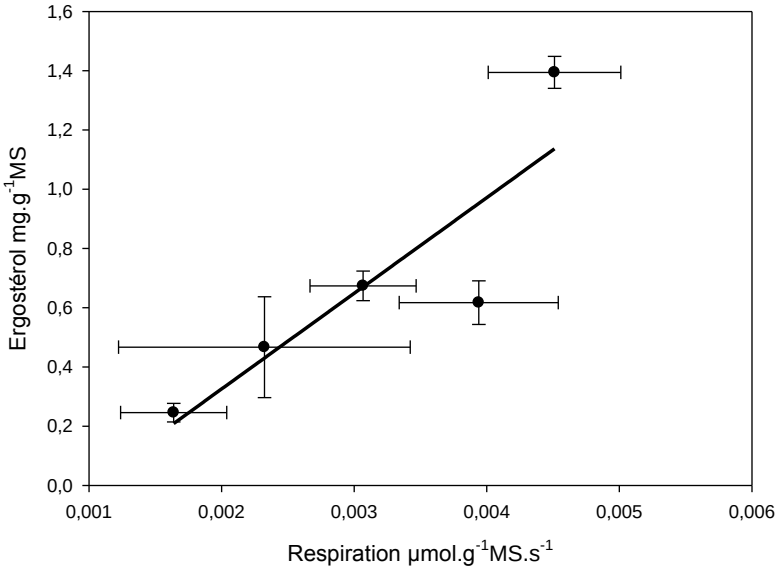

Figure 12 : Corrélation entre l'intensité respiratoire en milieu aquatique et la teneur en ergostérol (coefficient de corrélation de Pearson = 0,87 pour un seuil de significativité de 0,87).

IV - Flux d'O_2 et de CO_2 sous éclairements variés

IV.1 - Milieu aquatique

Les **figures 13 et 14** illustrent les échanges d'O_2 obtenus en milieu aquatique à différentes intensités lumineuses exprimés par unités de biomasse ou de surface.

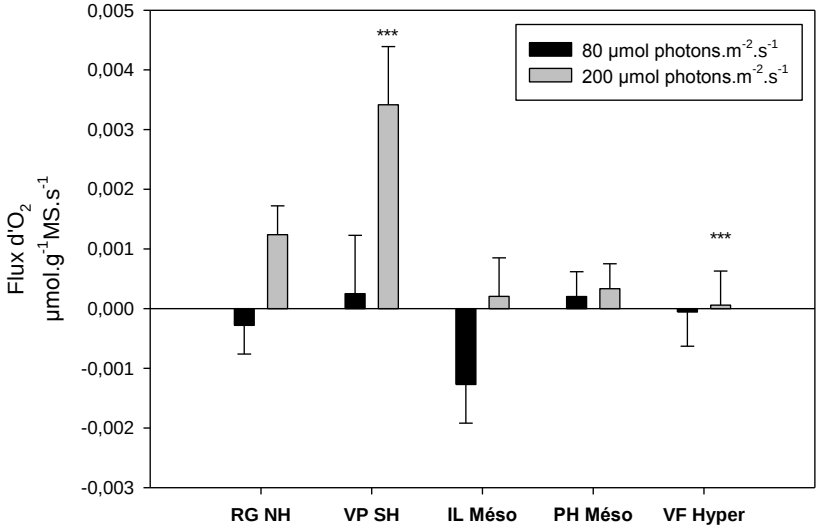

Figure 13 : Flux de dioxygène en milieu aquatique sous éclairement faible ou moyen exprimés par unité de biomasse.

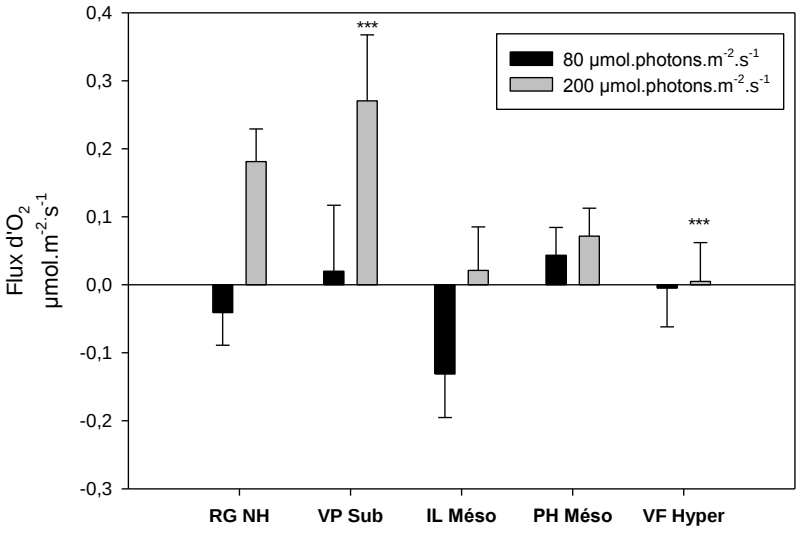

Figure 14 : Flux de dioxygène en milieu aquatique sous éclairement faible ou moyen exprimés par unité de surface.

(Les 30 échantillons testés ont été récoltés la veille ou l'avant-veille des expérimentations. Les éclats de roche (0,5 cm^2 environ) recouvert par le lichen sont réhydratés par immersion dans l'eau du cours d'eau la veille des tests. Ils sont ensuite placés dans les cuves du respiromètre emplies d'eau du cours d'eau enrichie en CO_2, la température du test est réglée à 10°C. Les différents éclairements ont été obtenus par deux néons (80 µmol. photons.m^2.s^{-1} PAR) ou quatre néons (200 µmol. photons.m^2.$^{s-1}$ PAR) placés à 30 cm au dessus des cuves tests. Les concentrations de dioxygène ont été relevées toutes les vingt dernières minutes des trente minutes de tests. Les résultats obtenus sont divisés par la surface de chaque échantillon et ont fait l'objet d'une analyse statistique, test de Tuckey, les barres d'erreurs correspondent aux erreurs types de chaque échantillons, p = 0,000. NH = non hydrophile, Sub. = subhydrophile, Méso. = mésohydrophile, Hyper. = hyperhydrophile)

Sous faible éclairement (80 µmol photons.m^2.s^{-1}PAR), les lichens consomment de l'O_2 (*R. geographicum*, NH, *I. lacustris* MH et *V. funckii* HH) ou en dégagent très faiblement (*V. praetermissa*, SH et *P. hydrophila*, MH). Sous éclairement moyen (200 µmol. photons.m^2.s^{-1} PAR), l'activité de tous les lichens correspond à un dégagement d'O_2. Cette production est intense pour le subhydrophile qui dégage significativement beaucoup plus d'O_2 que les autres espèces. Par ordre décroissant, et quelques soit l'unité utilisée pour exprimer les résultats (biomasse ou surface), on trouve le lichen non hydrophile, les lichens mésohydrophiles et enfin le lichen hyperhydrophile. A noter que l'émission d'O_2 est particulièrement faible chez ce dernier.

IV.2 - Milieu aérien

Les **figures 15 et 16** illustrent les résultats des mesures de l'assimilation de CO_2 sous 500 µmol.m^{-2}.s^{-1} PAR et 2000 µmol.m^{-2}.s^{-1} PAR exprimés sur la base de la biomasse et ou de la surface.

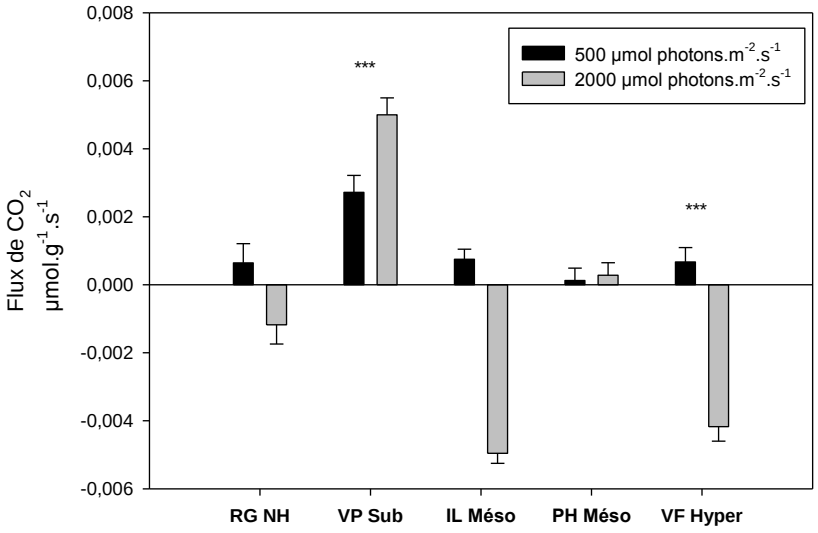

Figure 15 : Assimilation de CO_2 en milieu aérien à 500 µmol.m^{-2}.s^{-1} PAR et 2000 µmol.m^{-2}.s^{-1} PAR par unité de biomasse.

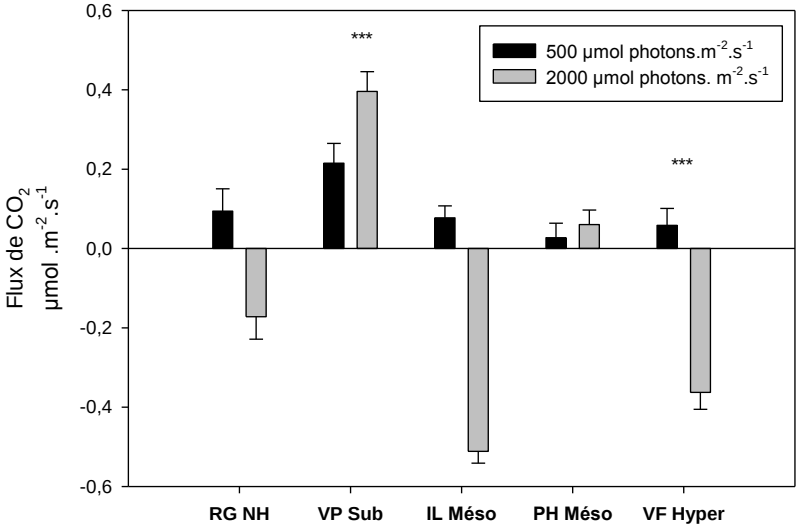

Figure 16 : Assimilation de CO_2 en milieu aérien à 500 µmol.m^{-2}.s^{-1} PAR et 2000 µmol.m^{-2}.s^{-1} PAR par unité de surface.

(Les 10 échantillons testés ont été récoltés la veille ou l'avant-veille des expériences. Les éclats de roche (2 cm^2 environ) recouvert du lichen sont hydratés par immersion dans l'eau du cours d'eau la veille des tests. Ils sont ensuite sortis de l'eau, gentiment essuyés avec du papier absorbant et enfermés dans les tubes venoject qui sont hermétiquement fermés et placés immédiatement sous éclairement naturel (500 µmol.m^{-2}.s^{-1} PAR) pendant 60 mn à 20°C. Les concentrations de CO_2 ont été relevées dans les tubes en fin de tests à l'aide d'une seringue puis injectées dans le Licor. Les flux de CO_2 sont estimés par mesure de la différence de concentration de CO_2 entre l'air atmosphérique initialement présent dans le tube (380 ppm de CO_2) et l'air dans le tube prélevé en fin d'expérience. Les résultats obtenus sont divisés par la surface de chaque échantillon et ont fait l'objet d'une analyse statistique, test de Tuckey, les barres d'erreurs correspondent aux erreurs types de chaque échantillons, p = 0,000. NH = non hydrophile, Sub. = subhydrophile, Méso. = mésohydrophile, Hyper. = hyperhydrophile).

En milieu aérien et sous éclairement de 500 µmol.m^2.s^{-1} PAR tous les lichens assimilent du CO_2. Cette assimilation est comprise entre 0,02 et 0,21 µmol. m^{-2}.s^{-1} et entre 1.10^{-3} et 2,7.10^{-3} µmol.g^{-1}MS.s^{-1}. Le lichen subhydrophile présente une assimilation de CO_2 nettement

supérieur à celle des espèces mésohydrophiles et hyperhydrophile. Ces trois dernières espèces présentent un niveau d'assimilation comparable à l'espèce non hydrophile.

En milieu aérien et sous 2000 µmol.m-^{2}.s^{-1} PAR, les lichens RG, IL et VF produisent du CO_2 (respiration) alors que VP et PH en consomment (photosynthèse positive). Le lichen subhydrophile assimile nettement plus de CO_2 que le lichen mésohydrophile (*P. hydrophila*).

V - Photosynthèse nette

V.1 - En milieu aquatique

La photosynthèse nette est calculée comme la somme (valeurs absolues) des flux à la lumière et à l'obscurité pour respectivement O_2 et CO_2. Elle approche l'activité de la machinerie photosynthétique indépendamment de la respiration (en faisant l'hypothèse que la respiration à la lumière est la même qu'à l'obscurité).

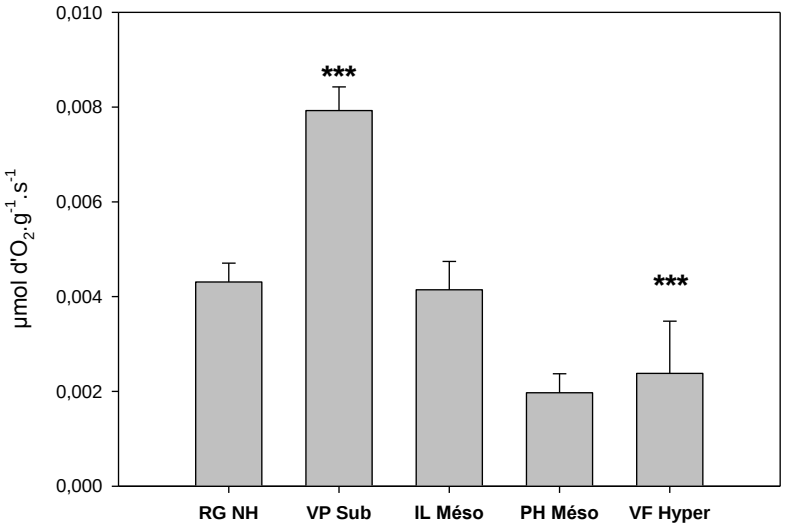

Figure 17 : Photosynthèse nette en milieu aquatique exprimée par unité de biomasse.

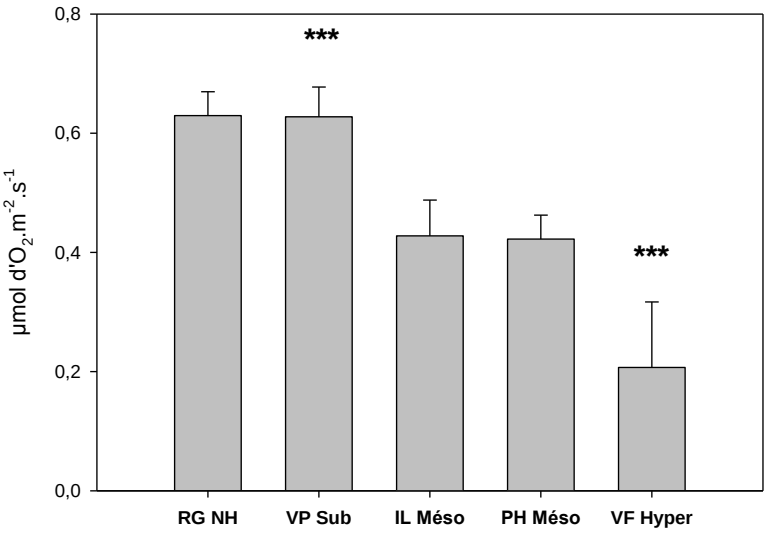

Figure 18 : Photosynthèse nette en milieu aquatique exprimée par unité de surface.

(**Figures 17 et 18** : la photosynthèse nette a été calculée par addition des valeurs absolues de la respiration (n=30) et l'assimilation (n=10) sous 200 µmol. photons.$m^{-2}.s^{-1}$ PAR ; NH = non hydrophile, Sub. = subhydrophile, Méso. = mésohydrophile, Hyper. = hyperhydrophile).

Exprimé par unité de biomasse, la photosynthèse nette en milieu aquatique du lichen subhydrophile est significativement supérieure à celle des lichens mésohydrophiles et hyperhydrophile, et du lichen non hydrophile. Par unité de surface, les résultats donnent un classement similaire excepté pour le lichen non hydrophile qui présente un taux de photosynthèse nette identique à l'espèce subhydrophile.

V.2 - En milieu aérien

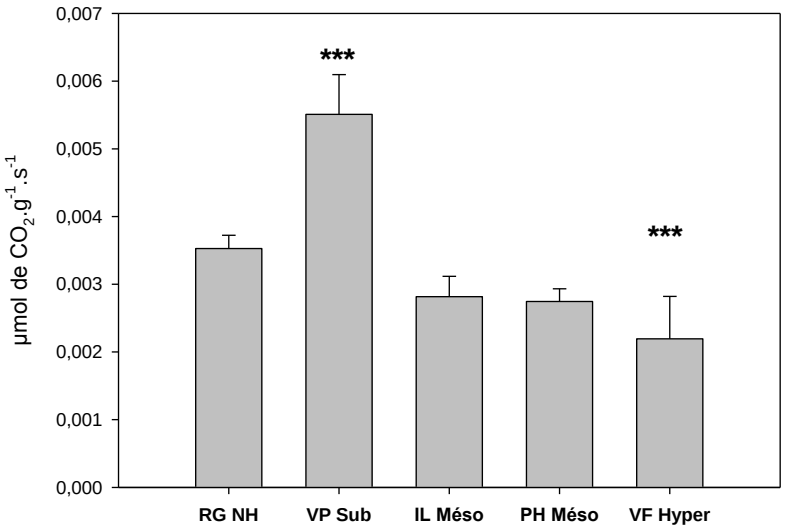

Figure : 19 : Photosynthèse nette en milieu aérien par unité de biomasse.

Exprimée par unité de biomasse, la photosynthèse nette en milieu aérien du lichen subhydrophile est significativement supérieure à celle des autres lichens hydrophiles et du lichen non hydrophile.

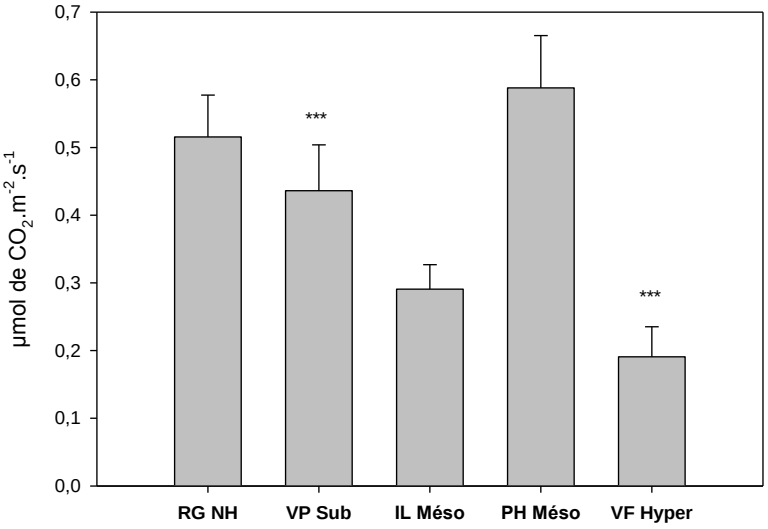

Figure : 20 : Photosynthèse nette en milieu aérien par unité de surface.

(**Figures 19 et 20** : la photosynthèse nette a été calculée par addition des valeurs absolues de la respiration (n=30) et l'assimilation (n=10) sous 500 µmol. photons.$m^{-2}.s^{-1}$ PAR ; NH = non hydrophile, Sub. = subhydrophile, Méso. = mésohydrophile, Hyper. = hyperhydrophile).

Par unité de surface, le taux de photosynthèse nette du lichen hyperhydrophile est très supérieur à celui du lichen subhydrophile comme cela est le cas quand la photosynthèse nette est exprimée par unité de biomasse. Par contre, sur la base de la surface, le lichen non hydrophile et le lichen mésohydrophile PH présentent une photosynthèse nette supérieure aux autres lichens.

VI - Détermination et quantification des pigments photosynthétiques

VI.1 - Détermination des algues épilichéniques

Les algues épilichéniques sont des algues se développant en film fin à la surface des thalles lichéniques. Afin de se préserver de tout artefact lié à la présence d'algues épilichéniques (dont les pigments ne doivent pas être attribués aux lichens), une analyse qualitative de ces algues a été réalisée par examen direct au microscope (après avoir recueilli ces algues sur les lichens avec une brosse souple). L'observation directe montre la présence de diatomées et d'algues vertes (**Figure 21**).

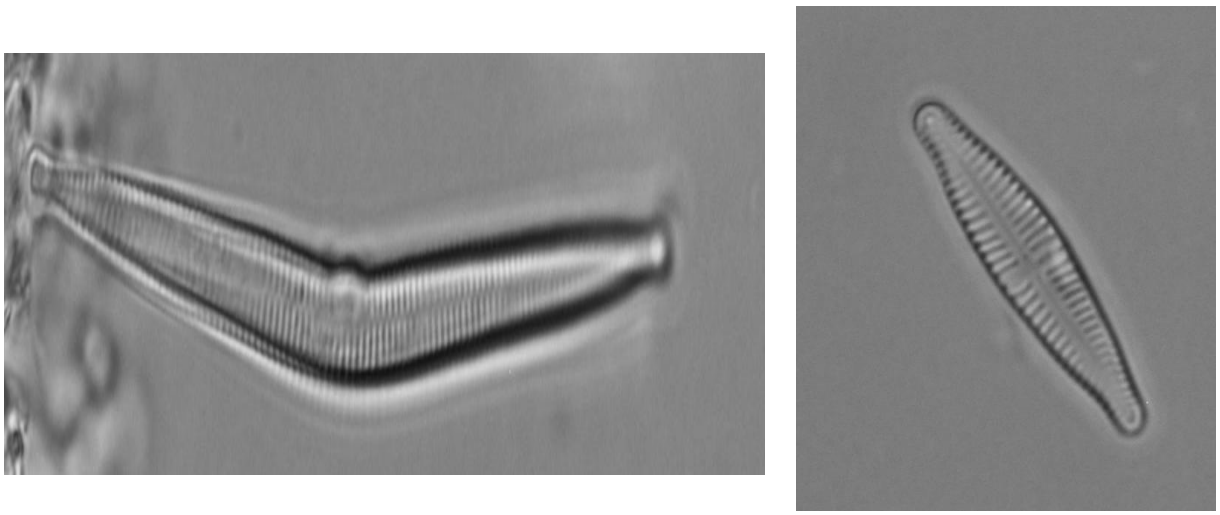

Figure 21 : Exemples de Diatomées.
(L'analyse des algues épilichéniques a été réalisée par grattage des surfaces de lichens à l'aide d'une brosse à poils souples sur les deux sites de collectes. Les algues épilichéniques ont été conservées dans l'eau du cours d'eau pendant le transport et fixées par addition d'une goutte de lugol au laboratoire. L'observation directe entre lames et lamelles a été réalisée avec un microscope Nikon Eclipse 80i.)

Ces observations sont corroborées par l'analyse des pigments comme l'indique la **figure 22**. En effet, de la Fucoxanthin et des Chlorophylle C1 et C2 ont été observées sur les lichens hydrophiles. Ces pigments sont caractéristiques des diatomées (**Figure 21**).

Les algues épilichéniques ont été observées sur les 4 espèces hydrophiles mais pas sur l'espèce non hydrophile.

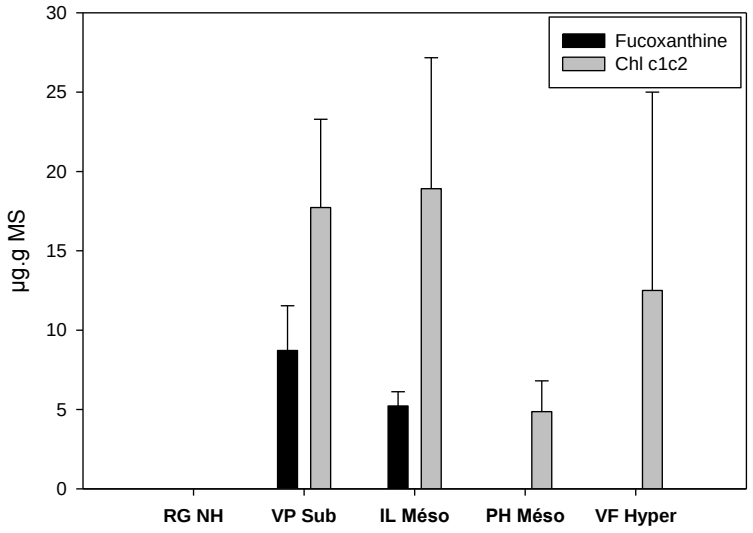

Figure 22 : Pigments biomarqueurs photosynthétiques attribués aux algues épilichéniques.
(L'analyse des algues épilichéniques a été réalisée par grattage des surfaces de lichens à l'aide d'une brosse à poils souples sur les deux sites de collectes (5 échantillons par site). Les algues épilichéniques ont été conservées dans l'eau du cours d'eau pendant le transport et fixées par addition d'une goutte de lugol au laboratoire. L'observation directe a été réalisée entre lames et lamelles. NH = non hydrophile, Sub. = subhydrophile, Méso. = mésohydrophile, Hyper. = hyperhydrophile).

VI.2 - Pigments photosynthétiques lichéniques

Les **figures 23** et **24** présentent la teneur en pigments des cinq espèces modèles. Les pigments identifiés sont par ordre d'importance décroissante : la chlorophylle *a*, le β carotène, la chlorophylle *b*, la phéophytine *a*, la lutéine, la zeaxanthine et la violaxanthin.

Concernant les chlorophylles *a* et *b*, les teneurs sont plus élevées dans l'espèce subhydrophile que dans les autres espèces. On observe des concentrations en pigments photosynthétiques similaires entre le lichen non hydrophile et les lichens mésohydrophile et hyperhydrophile.

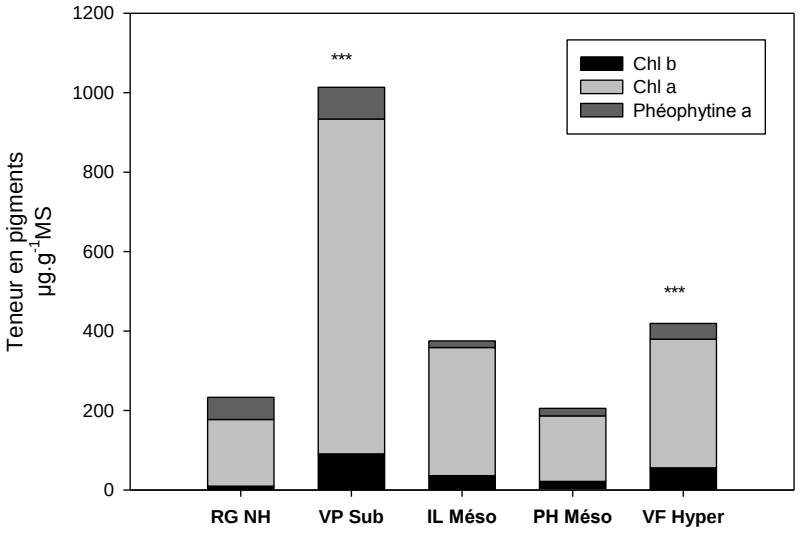

Figure 23 : Pigments chlorophylliens des algues lichénisées.
(Les 10 échantillons testés ont été stockés pendant le transport dans un container à azote liquide et stockés au laboratoire dans un congélateur à -80°C en attente des analyses. Le taux d'hydratation des échantillons lors des

récoltes a été estimé par pesées immédiatement après les récoltes et après lyophilisation des échantillons au laboratoire. Tous les échantillons présentent un taux d'hydratation inférieur à 10% ; tous les résultats ont fait l'objet d'une analyse de la variance et d'un test de Tukey (différences significatives honnêtes) ; NH = non hydrophile, Sub. = subhydrophile, Méso. = mésohydrophile, Hyper. = hyperhydrophile).

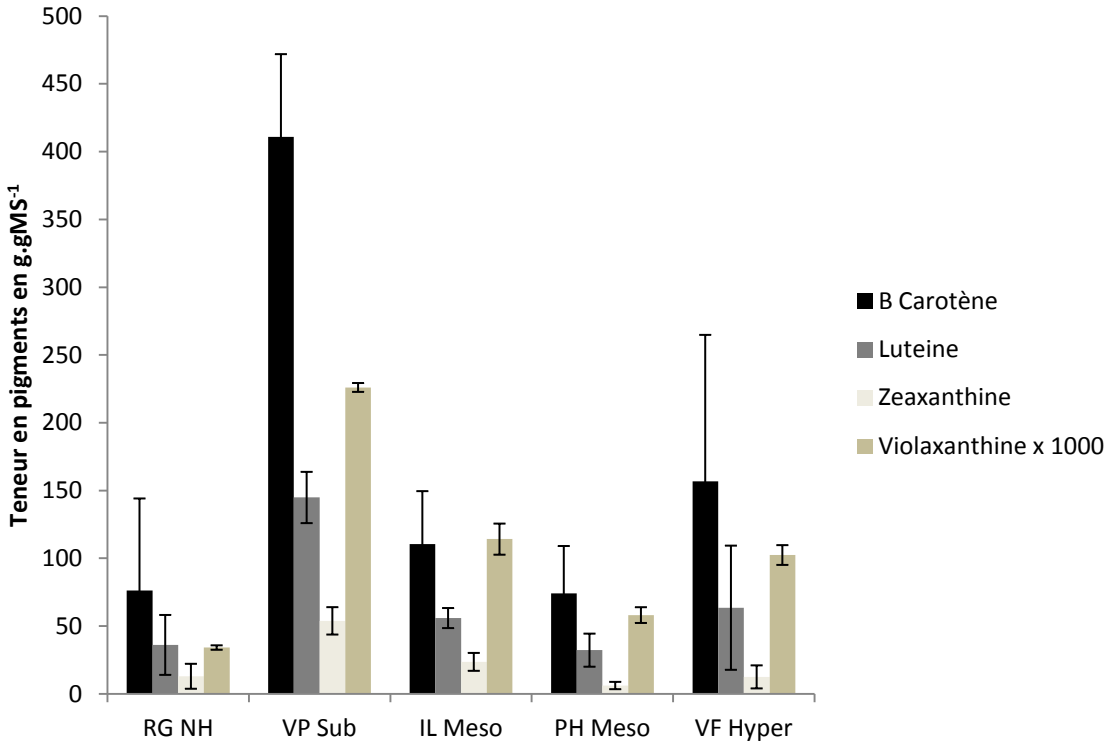

Figure 24 : Autres pigments des algues lichénisées.
(Les 10 échantillons testés ont été stockés pendant le transport dans un container à azote liquide et stockés au laboratoire dans un congélateur à -80°C en attente des analyses. Le taux d'hydratation des échantillons lors des récoltes a été estimé par pesées immédiatement après les récoltes et après lyophilisation des échantillons au laboratoire. Tous les échantillons présentent un taux d'hydratation inférieur à 10% ; tous les résultats ont fait l'objet d'une analyse de la variance et d'un test de Tukey (différences significatives honnêtes) ; NH = non hydrophile, Sub. = subhydrophile, Méso. = mésohydrophile, Hyper. = hyperhydrophile).

Concernant les autres pigments de type « caroténoïde », leurs teneurs sont significativement supérieures dans l'espèce subhydrophile comparée aux autres espèces. Les caractéristiques pigmentaires du lichen non hydrophile sont semblables à celles des espèces méso et hyperhydrophiles.

La **figure 25** présente le rapport de la concentration de violaxanthine à la concentration de zeaxanthine. Ce rapport est plus faible chez le lichen subhydrophile comparé au lichen hyperhydrophile. Les 2 lichens mésohydrophiles présentent un rapport élevé pour l'un et plus bas pour l'autre. Le lichen non hydrophile possède le rapport le plus faible

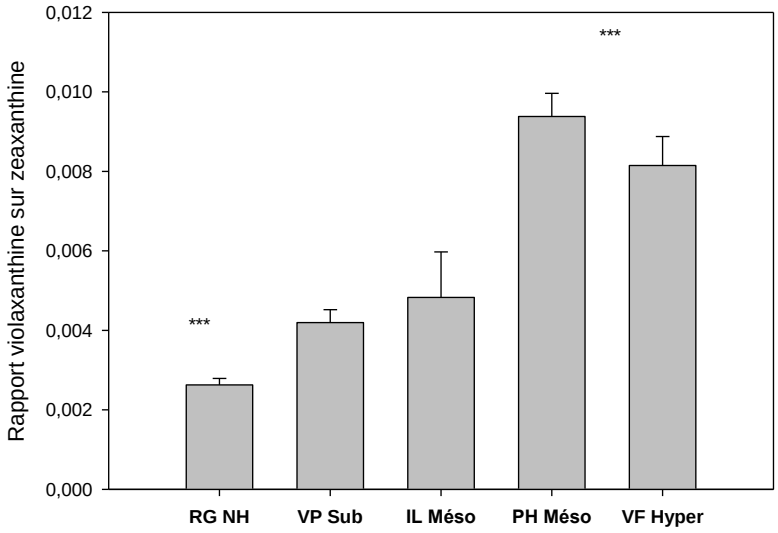

Figure 25 : Rapport de la concentration de violaxanthine sur la concentration de zeaxanthine (rapport indicateur de photoprotection).
(Les 10 échantillons testés ont été stockés pendant le transport dans un container à azote liquide et stockés au laboratoire dans un congélateur à -80°C en attente des analyses. Le taux d'hydratation des échantillons lors des récoltes a été estimé par pesées immédiatement après les récoltes et après lyophilisation des échantillons au laboratoire. Tous les échantillons présentent un taux d'hydratation inférieur à 10% ; tous les résultats ont fait l'objet d'une analyse de la variance et d'un test de Tukey (différences significatives honnêtes) ; NH = non hydrophile, Sub. = subhydrophile, Méso. = mésohydrophile, Hyper. = hyperhydrophile).

VIII - Potentiel photochimique

VIII.1 - Potentiel photochimique à saturation en eau

Le potentiel photochimique des lichens a été évalué par la mesure de l'efficacité quantique maximale du transport des électrons au travers du PS_{II} (i.e. sur des échantillons adaptés à l'obscurité ; Fv/Fm).

Les lichens saturés en eau présentent une activité maximale de PS_{II} comprise entre 0,45 et 0,65 (**Figure 26).** Il existe des différences significatives entre les espèces. Statistiquement, trois groupes se distinguent : VP (sub) et PH (méso) présentent le rendement quantique le plus élevé et VF (hyper) le plus faible ; le rendement de IL et RG est intermédiaire.

Comme le montre la **figure 27**, il n'y a pas de différence significative entre les mesures du rendement quantique du PS_{II} en milieu aquatique et en milieu aérien à saturation en eau.

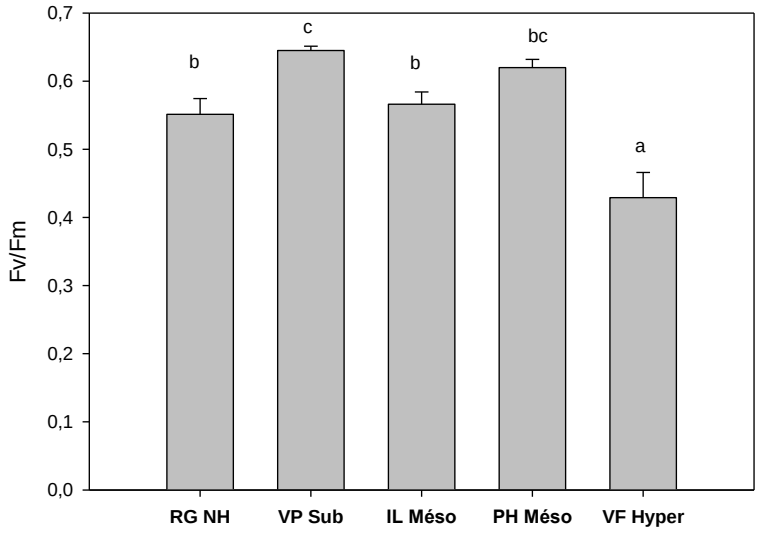

Figure 26 : Potentiel photochimique (Fv/Fm) des espèces modèles à saturation en eau.
(Les 10 échantillons testés ont été récoltés la veille ou l'avant-veille des mesures. Ils sont immergés dans l'eau du cours pendant 24h pour obtenir une capacité maximale de contenu en eau. Tous les résultats ont fait l'objet d'une analyse de la variance et d'un test de Tukey (différences significatives honnêtes) ; NH = non hydrophile, Sub. = subhydrophile, Méso. = mésohydrophile, Hyper. = hyperhydrophile).

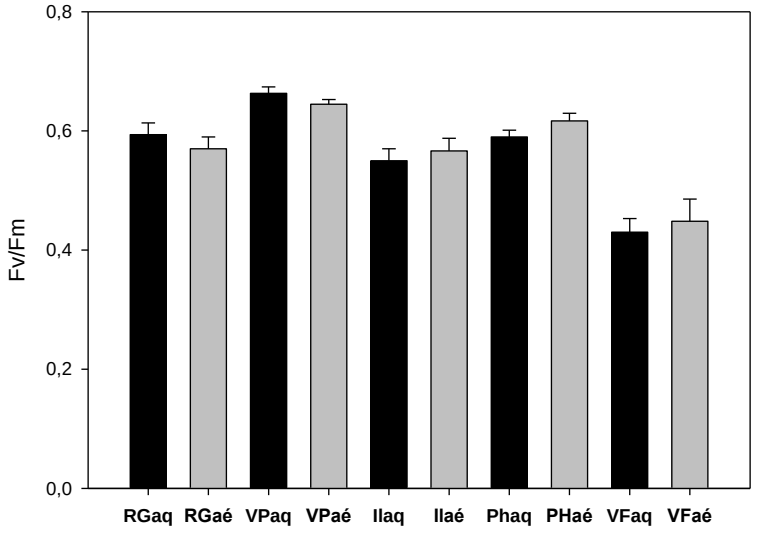

Figure 27 : Comparaison du potentiel photochimique mesuré à l'air libre et dans l'eau.
(Les 10 échantillons testés ont été récoltés la veille ou l'avant-veille des mesures. Ils sont immergés dans l'eau du cours pendant 24h pour obtenir une capacité maximale de contenu en eau. Les mesures ont été réalisées en plongeant la sonde dans l'eau ou à l'air libre après avoir sorti le lichen de l'eau et après essuyage. Tous les résultats ont fait l'objet d'une analyse de la variance et d'un test de Tukey (différences significatives honnêtes) ; aq = aquatique ; aé = aérien).

VIII.2 - Potentiel photochimique après quatre mois d'exondation

Des échantillons collectés en janvier 2009 ont été analysés le lendemain des récoltes ou 4 mois plus tard, après avoir été laissés à l'air du laboratoire (<50%HR, échantillons secs contenant moins de 2% d'eau). À noter que les mesures sont réalisées dans les deux cas sur des échantillons préalablement réhydratés par 24h d'immersion dans l'eau du ruisseau. Comparé avec le potentiel photochimique mesuré 24h après les récoltes, le potentiel des

lichens après 4 mois d'exondation est augmenté chez les espèces non hydrophile et subhydrophile mais abaissé chez les espèces mésohydrophiles et l'espèce hyperhydrophile. Dans le cas de cette dernière, la diminution atteint 20% (**fig. 28** et **tableau**).

Tableau : Potentiel photochimique mesuré après récolte et après 4 mois.
(NH : non hydrophile, SH : subhydrophile ; MH : mésohydrophile ; HH : hyperhydrophile)

Espèces	***Fv/Fm***	
	après 1 jour	**après 4 mois**
RG (NH)	0,551	0,594
VP (SH)	0,645	0,663
IL (MH)	0,566	0,502
PH (MH)	0,620	0,563
VF (HH)	0,429	0,339

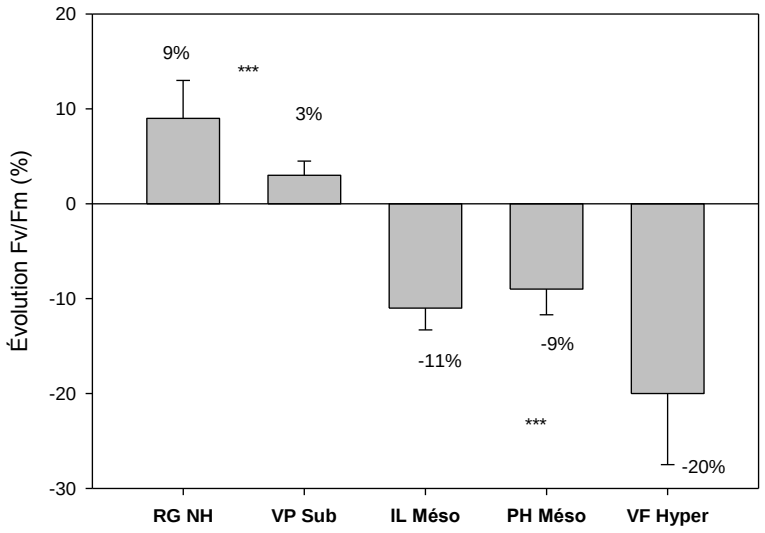

Figure 28 : Évolution du potentiel photochimique des espèces modèles après quatre mois d'exondation.
(n = 10, NH = non hydrophile, Sub. = subhydrophile, Méso. = mésohydrophile, Hyper. = hyperhydrophile).

IX – Contenu en eau, cinétiques d'hydratation et de déshydratation et potentiel photochimique

IX.1 - Capacité de rétention en eau et cinétique d'hydratation

La capacité de rétention en eau est calculée comme étant le contenu en eau maximal du lichen rapporté à sa biomasse sèche (exprimé en %). Elle est respectivement de 117%, 151%, 138% et 193% pour les espèces non hydrophile, subhydrophile, mésohydrophiles et hyperhydrophile. Ainsi, l'espèce hyperhydrophile possède la capacité la plus élevée alors que l'espèce non hydrophile présente la capacité la plus faible. Il apparaît qu'à saturation, le contenu en eau des espèces représente au minimum l'équivalent de la biomasse et au maximum le double de cette dernière.

La **figure 29** présente l'évolution du contenu en eau d'échantillons initialement secs après leur ré-immersion dans l'eau. On constate une première phase d'accumulation rapide de l'eau dans les tissus (2 mn) suivie d'une phase d'accumulation beaucoup plus lente puis d'un plateau de saturation atteint après environ 8mn. Comme montré précédemment, le niveau maximal d'hydratation (capacité, i.e. plateau de saturation) varie avec l'espèce considérée. Néanmoins, l'allure des cinétiques est comparable quelque soit le lichen considéré.

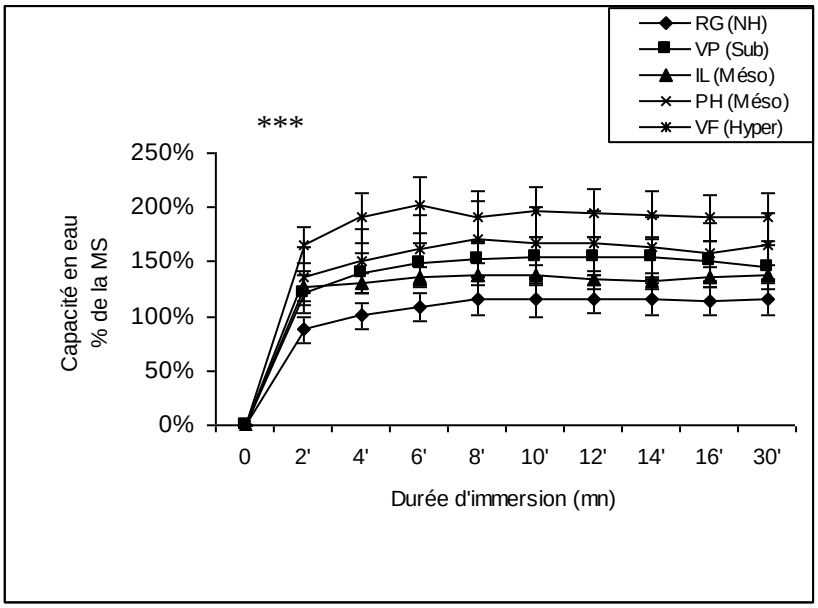

Figure 29 : Cinétique d'hydratation des cinq lichens modèles.
(Les 10 échantillons par espèce ont été récoltés la veille ou l'avant-veille des tests. Les lichens sont déshydratés à l'étuve (24h à 25°C), pesés puis immergés dans l'eau du cours d'eau. Les échantillons sortis de l'eau gentiment essuyés avec du papier absorbant sont pesés toutes les 2 minutes ; température : 20°C ; NH = non hydrophile, Sub. = subhydrophile, Méso. = mésohydrophile, Hyper. = hyperhydrophile)

IX.2 - Cinétique de déshydratation

La **figure 30** présente le contenu en eau d'échantillons initialement saturés en eau et laissés à l'air libre (20°C, 50% HR). L'allure des courbes est comparable pour tous les lichens : la baisse de contenu en eau, initialement très rapide, ralentie progressivement. Il est remarquable que plus de 50% de l'eau des tissus soit perdu par évaporation en moins de 5 mn. Après 20 mn hors de l'eau le taux d'hydratation de tous les lichens n'est plus que de l'ordre de 10%.

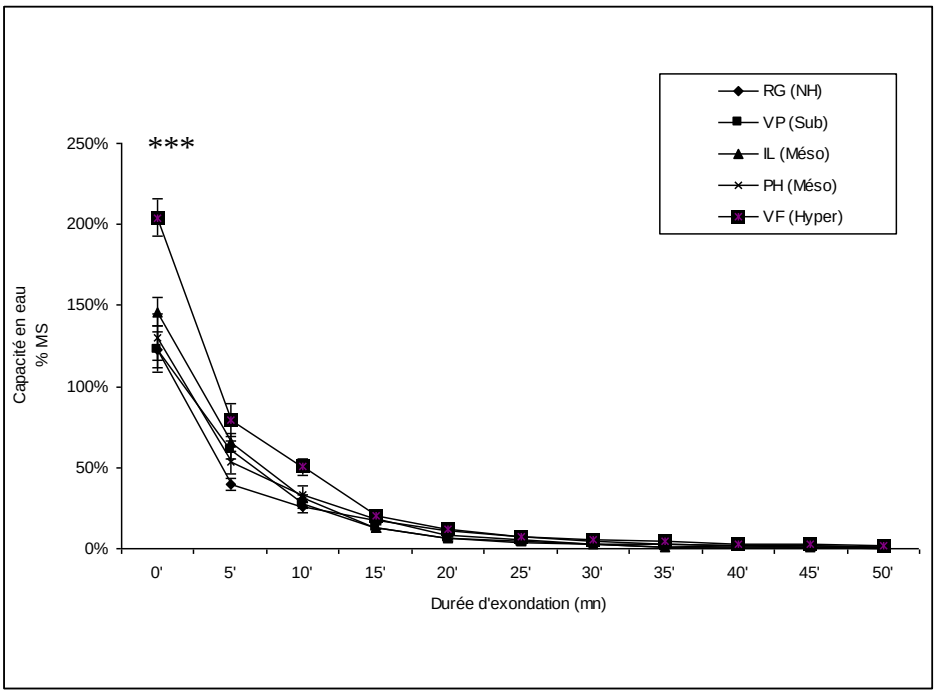

Figure 30 : Cinétique de déshydratation des cinq espèces modèles.
(Les 10 échantillons par espèce ont été récoltés la veille ou l'avant-veille des tests. Ils sont hydratés dans l'eau du cours d'eau pendant 24h. Les échantillons sont sorties de l'eau, gentiment essuyés avec du papier absorbant et laissés à l'air libre sur la paillasse et pesées toutes les 5 minutes ; température : 20°C ; humidité 48 à 51% ; NH = non hydrophile, Sub. = subhydrophile, Méso. = mésohydrophile, Hyper. = hyperhydrophile)

IX.3 - Restauration du potentiel photochimique après ré-immersion d'échantillons secs

L'évolution du rendement quantique du PS_{II} chez des échantillons secs soudainement immergés dans l'eau du cours d'eau est montrée sur la **figure 31**. On observe pour tous les lichens une phase de rapide restauration de l'activité photochimique du PS_{II} avant que ne soit atteint, plus ou moins rapidement, la valeur maximale de l'activité. Il est remarquable qu'après seulement 1 mn de contact avec l'eau, tous les lichens soient capables de développer une activité photochimique (Ψ_{PSII}>0,1). Chez 3 espèces (non hydrophile, subhydrophile et une mésohydrophile PH), 80 à 90% de l'activité maximale est déjà rétablie après cette durée. Chez un des lichens mésohydrophile (IL) et l'espèce hyperhydrophile, le recouvrement d'une activité maximale est « beaucoup » plus lent (environ 4 fois) puisqu'il faut 3-4 mn pour retrouver 90% d'activité.

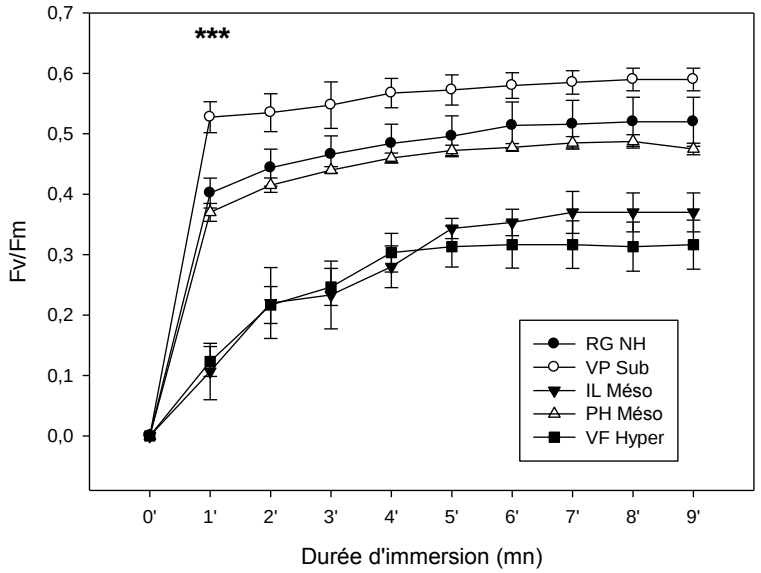

Figure 31 : Restauration du potentiel photochimique en fonction du taux d'hydratation.
(Les 10 échantillons par espèce ont été récoltés la veille ou l'avant-veille des tests. Les lichens sont déshydratés à l'étuve (24h à 25°C), pesés puis immergés dans l'eau du cours d'eau. Les échantillons sortis de l'eau gentiment essuyés avec du papier absorbant sont pesés toutes les minutes, les mesures du potentiel photochimique ont été réalisées immédiatelent après chaque pesées ; température : 20°C ; NH = non hydrophile, Sub. = subhydrophile, Méso. = mésohydrophile, Hyper. = hyperhydrophile)

IX.4 - Évolution du potentiel photochimique chez les lichens exondés

La **figure 32** présente l'évolution du potentiel photochimique des lichens préalablement réhydratés pendant 24h avant d'être placés à l'air libre (20°C, 50%HR).

Le rendement quantique du PS_{II} diminue de façon assez linéaire bien qu'une phase initiale un peu plus lente puisse être distinguée chez trois des espèces. Après seulement 5 mn hors de l'eau, le fonctionnement du PS_{II} est déjà affecté (entre 10 et 20% de baisse). Après 10 mn, environ 50% de l'activité photochimique est perdue. Après 20mn, l'efficacité du PS_{II} est très faible chez l'espèce non hydrophile et pratiquement nulle chez les autres espèces (<0,05).

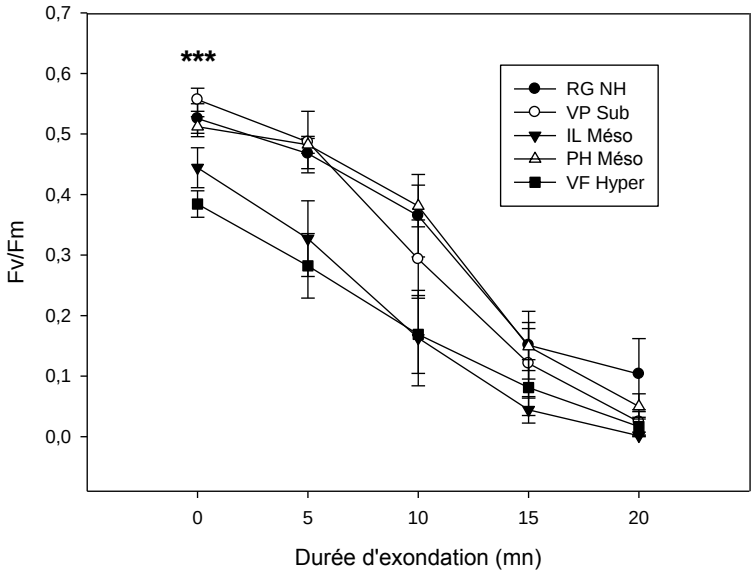

Figure 32 : Évolution du potentiel photochimique en fonction de la cinétique de déshydratation.
(Les 10 échantillons par espèce ont été récoltés la veille ou l'avant-veille des tests. Ils sont hydratés dans l'eau du cours d'eau pendant 24h. Les échantillons sont sorties de l'eau, gentiment essuyés avec du papier absorbant et laissés à l'air libre sur la paillasse et pesées toutes les 5 minutes ; les mesures du potentiel photochimique ont été réalisées après chaque pesée. température : 20°C ; humidité 48 à 51% ; NH = non hydrophile, Sub. = subhydrophile, Méso. = mésohydrophile, Hyper. = hyperhydrophile)

Discussion et conclusion

L'analyse de la composition pigmentaire (Fig. 22) et les observations microscopiques (Fig. 21) révèlent que tous les lichens hydrophiles portent à leur surface des algues épilichéniques à la différence du lichen non-hydrophile. Les lichens hydrophiles étant immergés une partie de l'année, ceci parait cohérent avec leur écologie. L'observation des algues épilichéniques montrent que celles-ci sont des algues vertes et des diatomées, ce qui (pour ces dernières) est confirmé par la présence de fucoxanthine et de Chlorophylle *c* dans l'analyse du « frottis ». Ces algues contiennent à elles deux de la Chlorophylle *a* et *b*, et les mêmes caroténoïdes que ceux pouvant être présents dans le photosymbiote, ce qui pourrait fausser nos analyses des pigments lichéniques. Néanmoins, l'observation au microscope montre que : 1- les diatomées sont beaucoup plus importantes que les algues vertes et 2- que les algues épilichéniques, dans leur ensemble, sont très peu abondantes comparées à la masse des lichens. Ceci est confirmé par l'analyse des pigments des échantillons de lichens portant à leur surface des algues épilichéniques puisque les pics des chlorophylles *c* et de la fucoxanthine sont quasiment indétectables. Nous admettrons donc que la composition pigmentaire tirée des analyses est bien représentative des lichens eux-mêmes.

Les lichens sont le résultat d'une association entre un partenaire chlorophyllien et un partenaire fongique. La teneur en Chlorophylle *a*, composé uniquement présent dans le premier des partenaires, est considérée comme une bonne indication de la proportion de l'organisme photosynthétique (Descy JP. et Métens A., 1996). De façon similaire, la teneur en ergostérol est utilisée comme indicateur de l'importance du champignon (Sundberg et al., 1999). Entre les espèces hydrophiles, le rapport des teneurs Chlorophylle *a* sur ergostérol (**Fig. 33**) ne varie que très peu, ce qui indique que l'importance relative des deux partenaires est identique. Ce rapport est supérieur pour les espèces hydrophiles comparées à l'espèce non hydrophile, ce qui démontre une proportion plus importante de photosymbiote chez les premières.

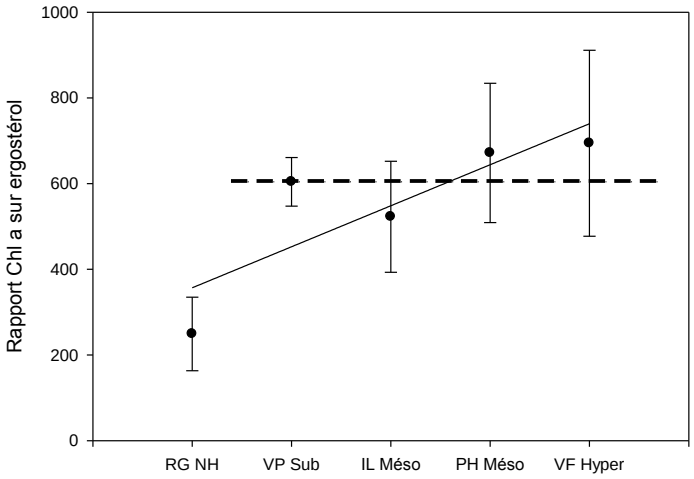

Figure 33 : Rapport chlorophylle *a* sur le taux d'ergostérol pour les cinq espèces testées.

Concernant les valeurs absolues des teneurs, nos résultats sont comparables à ceux de la littérature pour la chlorophylle (0,2-0,9 $mg.g^{-1}$ avec 90% de Chlorophylle *a* par rapport à la Chlorophylle *b*, Demmig-Adams et al., 1990, Sundberg et al., 1999) et l'ergostérol (0,2-1,2 $mg.\ g^{-1}$, Sundberg et al., 1999). La faible proportion de phéophytine *a* montre que les échantillons n'ont pas subit de dégradation importante au cours du prélèvement, du transport, du stockage et des analyses, ce qui rassure sur la robustesse de nos résultats.

La biomasse surfacique des lichens hydrophiles et du lichen non hydrophile étudié (100-200 $g.m^{-2}$, Fig.6) est plus faible que celle publiée pour certains lichens non hydrophiles (Palmqvist et al., 1997, 1998 et 2002). Cette biomasse est plus forte (facteur 2-3) pour le lichen mésohydrophile PH que pour les autres espèces hydrophiles qui sont assez comparables pour ce paramètre. Néanmoins, comme chez PH la teneur en Chlorophylle *a* et ergostérol est plus faible que chez les autres espèces, et ceci dans une proportion proche de l'excès de biomasse surfacique, il apparaît que la biomasse surfacique « vivante » est similaire chez PH et les autres espèces hydrophiles. De ce fait, comme le confirment les observations au microscope (résultats non montrés), la différence de biomasse totale provient d'une nécromasse proportionnellement plus abondante chez PH.

L'activité respiratoire a été analysée au travers d'une part de l'émission de CO_2 par des échantillons en état d'hydratation maximale placés à l'air et d'autre part du prélèvement d'O_2 sur des échantillons immergés dans l'eau. En dépit de techniques aussi diverses, les résultats obtenus sont cohérents (même ordre de grandeur, Fig. 7, 8, 9 et 10). Il apparaît ainsi que la respiration n'est pas très différente à l'air ou dans l'eau (ceci étant aussi vrai pour le lichen non hydrophile normalement jamais immergé dans son habitat naturel). Les niveaux atteints par la respiration se situent pour l'essentiel dans des fourchettes de 2 à 4 nmol g^{-1} s^{-1} et 0,2-0,4 µmol m^{-2} s^{-1}, selon le mode d'expression. Nos estimations sont similaires aux activités publiées par Lange et al., 1993, Lange 2003, Sundberg et al., 1999, Lange et al., 2006. Elles sont néanmoins plus faibles (environ un ordre de grandeur) que celles d'autres travaux (Lange et al., 1997). La température ayant un impact fort sur la respiration, des différences de conditions expérimentales pourraient contribuer aux écarts observés. De plus, il faut noter que les résultats mentionnés sont exprimés sur la base de la surface et que les lichens aquatiques sont plutôt des lichens à faible biomasse surfacique. La figure 12 révèle l'existence d'une bonne corrélation entre teneur en ergostérol et intensité respiratoire. Ceci a déjà été évoqué dans la littérature (Sundberg et al., 1999), ce qui a conduit certains auteurs à attribuer l'activité respiratoire du lichen essentiellement au partenaire fongique. Pour ce qui concerne les lichens hydrophiles, une telle interprétation ne peut pas être proposée puisque le rapport Chlorophylle *a* sur ergostérol étant constant, il apparaît aussi une bonne corrélation respiration et teneur en chlorophylle *a*.

Parmi les lichens hydrophiles, il ressort clairement que quelque soit la technique de mesure et le mode d'expression (matière ou surface), le lichen subhydrophile montre une activité respiratoire supérieure à celle du lichen hyperhydrophile. Les 2 lichens mésohydrophiles possèdent une respiration qui selon le cas se rapproche de celle du subhydrophile ou de l'hyperhydrophile.

L'activité photosynthétique a été mesurée comme pour la respiration, à l'air ou sous l'eau via l'analyse de CO_2 ou d'O_2. Pour des raisons pratiques, l'intensité de l'éclairement reçu par les lichens n'était malheureusement pas identique pour les 2 techniques. De nouveau, il apparaît une bonne cohérence entre les mesures sous éclairements moyens (200 µmol. $photons.m^{-2}.s^{-1}$ PAR sous l'eau et 500 µmol. $photons.m^{-2}.s^{-1}$ PAR à l'air en condition d'hydratation maximale, Fig. 13, 14, 15 et 16). Sous l'eau avec un éclairement faible de 80

µmol. photons.m^{-2}.s^{-1} PAR, les lichens consomment de l'O_2 hormis le lichen subhydrophile et le lichen mesohydrophile PH (Fig. 13 et 14). Avec un éclairement supérieur de 200 µmol. photons.m^{-2}.s^{-1} PAR, tous les lichens présentent une photosynthèse positive (dégagement d'O_2). À l'air, sous 500 µmol. photons.m^{-2}.s^{-1} PAR, tous les lichens fixent du CO_2 (Fig. 15 et 16). Sous très fort éclairement (2000 µmol. photons.m^{-2}.s^{-1} PAR), la photosynthèse devient négative sauf, de façon notable, chez les lichens subhydrophile et mésohydrophile PH chez lesquels elle est augmentée. Comment interpréter ces résultats ? Il peut être avancé l'hypothèse que le lichen non hydrophile étant à l'air mais en état d'hydratation maximale, la diffusion du CO_2 est entravée. Une limitation de la photosynthèse de ce type conduisant à une baisse de la fixation par les forts niveaux d'hydratation a été souvent démontrée (Lange et Renhunen, 1981, Lange et al., 2006). Dès lors, la limitation sur la diffusion du CO_2 pourrait se traduire par un déséquilibre entre la phase photochimique (production élevée d'énergie métabolique NADPH et ATP sous fort éclairement) et la phase biochimique (utilisation de cette énergie métabolique pour l'assimilation réductrice du CO_2) entraînant une inhibition du PS_{II} par sur réduction (photoinhibition). Sous l'eau, la forte concentration en CO_2- HCO_3- résultant de l'apport de bicarbonate de potassium (0,7 mM) a vraisemblablement levé cette inhibition ? Concernant les lichens hyperhydrophile et mésohydrophile IL, l'effet négatif des fortes intensités lumineuses est peut-être la conséquence d'une inadaptation de ces espèces qui, habituées à un environnement plus ombragé dans le lit du cours d'eau, ne possèdent pas la capacité biochimique (comme cela est le cas chez les « feuilles d'ombre » par exemple) à utiliser un éclairement élevé ce qui pourrait conduire là aussi à un processus de photoinhibition.

Les valeurs maximales d'activité photosynthétique mesurées dans ce travail (3-5 nmol g^{-1} s^{-1} ou 0,25-0,4 µmol m^{-2} s^{-1}) sont assez similaires à celles proposées par Demmig-Adams et al., 1990 sous 200 µmol. photons.m^{-2}.s^{-1} PAR ; Lange et Tenhumen, 1981 ; Lange et al., 1993 et Lange et al., 2006 (qui exprime la photosynthèse sur la base de la biomasse ou de la chlorophylle) mais nettement inférieure (plus de 10x) à celles de Lange et al., 1997 ; Lange et al., 2003 ; Lange, 2003 et Green et Lange, dans Nash III, 2008 (avec une expression sur la base de la surface). Concernant les lichens hydrophiles, il ressort de nouveau clairement que le lichen subhydrophile démontre une activité photosynthétique bien supérieure à celle du lichen hyperhydrophile, les lichens mésohydrophiles ayant un comportement intermédiaire.

L'analyse pigmentaire indique que plus de 99% du couple (violaxanthine + zéaxanthine) est sous forme zéaxanthine et que la teneur en zéaxanthine est en moyenne de 20 µg g^{-1} MS. Sachant que la teneur en Chl *a* et *b* des lichens est de l'ordre de 400 µg g^{-1}, les lichens contiennent 50 ng $µg^{-1}$ de ces caroténoïdes. En prenant comme masse molaire, 569 g mol^{-1} pour les caroténoïdes et 900 g mol^{-1} pour les chlorophylles, la teneur des lichens hydrophiles en vioxanthine plus zeaxanthine est de l'ordre de 100 mmol mol^{-1} Chl. Ces valeurs sont tout à fait similaires à celles de la littérature (Demmig-adams et al., 1990 ; Adams et al., 1993 et Calatayud et al., 1997 par exemples). Chez les plantes supérieures, les algues vertes et certains lichens, la zéaxanthine est formée rapidement à partir de précurseurs dont le principal est la violaxanthine dans le cycle des xanthophylles quand la lumière absorbée par les chlorophylles devient excessive (Adams et al., 1993). La présence de violaxanthine et de zéaxanthine d'une part, et la valeur extrêmement petite du rapport violaxanthine sur zeaxanthine d'autre part indiquent :

1- que le cycle des xanthophylles opère chez les lichens hydrophiles ;

2- qu'une part considérable du pool de violaxanthine a été converti en zéaxanthine.

Ce dernier résultat qui suggère une photoprotection extrêmement développée chez les lichens au moment de leur prélèvement est à rapprocher du fait que les échantillons ont été récoltés sous très fort éclairement (en milieu de journée en août sous un ciel parfaitement bleu).

Parce que les lichens sont des organismes poïkilohydriques, leur contenu en eau est en équilibre avec le potentiel hydrique du milieu environnent. De ce fait, les lichens sont souvent exposés à la déshydratation mais ils sont capables de « revivre » suite à cette déshydratation même après être resté longtemps dans un état de fort dessèchement (Calatayud et al., 1997). Dans notre étude, à saturation, le contenu en eau des lichens est de 100% de la biomasse sèche pour l'espèce non hydrophile et de 125 % à 200 % chez les espèces hydrophiles (200% pour le lichen hyper hydrophile, Fig. 29). Ces valeurs sont comparables à celles obtenues par Lange et al. (2006) mais faibles en comparaison de la capacité de rétention en eau d'autres espèces qui peut atteindre plus de 3000 % (Lange et al., 1993). Après immersion d'échantillons totalement secs, le plateau de saturation en eau est atteint en moins de 6 min.

La valeur maximale de l'efficacité quantique du PS_{II} (Fv/Fm mesuré après une longue période d'obscurité sur des échantillons bien hydratés, Fig 26) est d'environ 0,6 ce qui est plus faible que la valeur atteinte dans le cas des feuilles de végétaux (de l'ordre de 0,8). Des valeurs comparables ont néanmoins été rapportées chez les lichens : Demmig-adams et al., 1990 et Calatayud et al., 1997. Les mesures d'efficacité quantique ont aussi été réalisées sous l'eau : les résultats obtenus dans ces conditions sont similaires à ceux obtenus dans l'air (Fig. 27). Ceci conforte la confiance que nous pouvons avoir dans nos résultats. Il apparaît donc que chez les lichens hydrophiles comme chez d'autres lichens, les voies de dissipation de l'énergie autres que la photochimie (i.e. conversion interne et fluorescence) contribuent largement aux processus de relaxation des photosystèmes II même si ceux-ci sont « ouverts ». En d'autres termes, sur 100 photons PAR collectés par le PS_{II}, au mieux seulement environ 60 photons sont susceptibles de générer un électron photosynthétique. Parmi les lichens hydrophiles, l'espèce subhydrophile montre un rapport Fv/Fm supérieur à l'espèce hyperhydrophile. Les espèces mésohydrophiles présentent une efficacité intermédiaire. Une longue période de dessiccation (échantillons laissés 4 mois à l'air du laboratoire) se traduit par une baisse d'efficacité du PS_{II} chez les lichens mésohydrophiles (environ 10%) et hyperhydrophile (20%). Par contraste, cette efficacité n'est pas altérée chez le lichen subhydrophile et est augmentée (10%) chez l'espèce non hydrophile. Il ressort donc qu'une période de 4 mois hors de l'eau est préjudiciable au fonctionnement photosynthétique du lichen hyper hydrophile qui dans son habitat ne subit normalement pas de telles conditions (durée d'immersion annuelle > 9 mois).

Des lichens bien hydratés laissés soudainement à l'air (20 °C et 50% HR) se déshydratent très rapidement. La courbe de déshydratation possède une allure exponentielle (e^{-kt}) avec un T ½ d'environ 5 min (Fig. 30). Une perte rapide de l'eau des tissus a déjà été rapportée (Calatayud et al., 1997, T ½ d'environ 20 min) mais, pour les espèces étudiées ici, elle se produit particulièrement vite.

Dans leur ensemble, nos résultats indiquent que les espèces hydrophiles (mais aussi l'espèce non hydrophile de notre étude qui se développe près des cours d'eau) changent rapidement de statut hydrique en fonction des variations des conditions de l'environnement (dans le sens de l'hydratation ou de la déshydratation). Il est important de noter que ces changements d'état hydrique s'accompagnent de changements parallèles de fonctionnement du PS_{II}. Son efficacité quantique maximale, qui est nulle chez des échantillons secs, est de façon spectaculaire recouvrée en quelques minutes suite à leur réhydratation. La restauration de l'efficacité du PS_{II} se réalise plus rapidement chez l'espèce subhydrophile (et non hydrophile) que chez l'espèce hyperhydrophile. Le fonctionnement du PS_{II} est rapidement altéré lors de l'exondation des tissus. Bien que des mesures de photochimie n'informent pas directement sur la fixation du CO_2, nos données suggèrent cependant fortement que l'activité photosynthétique des lichens peut varier très rapidement et en permanence. Une grande réactivité du métabolisme lichénique au niveau d'hydratation est bien connue mais les lichens de notre étude semblent par exemple beaucoup plus rapide dans la restauration que d'autres

espèces (plusieurs heures à plusieurs jours dans Lange et Green, 2006, mais il s'agit de la fixation de CO_2).

Plusieurs mécanismes peuvent être impliqués dans la protection de l'appareil photosynthétique lors de la déshydratation : aiguillage des électrons vers un autre accepteur que CO_2 : O_2, baisse de l'efficacité via la conversion interne de l'énergie capturée, accélération du flux cyclique des électrons, transition d'état via la migration d'une partie de l'antenne externe du PS_{II} vers le PS_I, etc. (Calatayud et al., 1997). Puisque le rapport Fv/Fm est rapidement restauré suite à la réhydratation, cela suggère qu'une forme de protection « dynamique » (via le cycle des xanthophylles) et non pas une inhibition « chronique » se met en place lors d'événements secs. Cela suggère aussi comme montré par Aubert et al. (2007) que des processus moléculaires de protection des structures cellulaires via des réorientations du métabolisme des sucres et des polyols sont particulièrement efficaces chez ces espèces.

Le lichen subhydrophile se distingue du lichen hyperhydrophile pour la pluspart des fonctions ou propriétées étudiées. Il présente des activités respiratoire et photosynthétique supérieures (échanges gazeux), une efficience quantique du PS_{II} et une capacité d'utilisation de forts éclairements plus élevée, une restauration de la photochimie plus rapide lors des transitions des états hydriques, une sensibilité à l'exondation et un contenu en eau à saturation moindres. Ces différences sont à rapprocher du fait que les teneurs en ergostérol et en chlorophylle *a* sont supérieures chez le subhydrophile, ce qui indique que la proportion de nécromasse est plus faible chez celui-ci comparé à l'espèce hyperhydrophile (et donc la masse de photosymbiote et mycosymbiote plus grande). Tout ceci est cohérent avec l'écologie du lichen subhydrophile dont l'habitat correspond à un environnement plus sec, avec moins de périodes de noyage et des périodes plus courtes, mais une fréquence de transition état hydraté – état déshydraté plus grande et une exposition à des intensités lumineuses plus élevées.

Conclusion générale et perspectives

Les lichens sont issus d'une association symbiotique entre une algue ou une cyanobactérie et un champignon. Cette symbiose leur donne une grande autonomie écologique. Ils colonisent tous les supports de tous les milieux. Ainsi les lichens aquatiques colonisent les supports soumis à des périodes d'immersions par des écoulements surfaciques issus des pluies (lichens ékréophiles) ou par des périodes d'immersion par les eaux d'une rivière (lichens hydrophiles). Ces derniers étant localisés dans le lit apparent ou lit mineur d'un cours d'eau.

Les roches des berges des rivières européennes hébergent environ 225 lichens dont 63 espèces hydrophiles qui colonisent spécifiquement les roches riveraines, 18 champignons lichénicoles, 23 lichens ékréophiles et enfin 121 lichens non aquatiques.

De part leur position par rapport au centre de l'axe du cours d'eau, les espèces hydrophiles sont soumises à différentes durées annuelles d'immersion. Ainsi les espèces qui colonisent les roches situées proche du chenal d'étiage et soumises à de longues durées annuelles d'immersion par les eaux de la rivière (plus de 8 mois) sont nommées : espèces hyperhydrophiles. Les espèces présentes sur les roches soumises à des durées annuelles moyennes d'immersion (de 3 à 8 mois) et situées dans la partie médiane des berges sont nommées : lichens mésohydrophiles. Les espèces subhydrophiles colonisent les roches riveraines soumises à de courtes périodes d'immersion annuelle (mois de 3 mois) et situées sur les roches de la partie de la berge la plus éloignée du centre de l'axe du cours d'eau mais toujours dans le lit apparent de la rivière.

En Europe la flore lichénique saxicole-hydrophile est homogène ; il y a peu de variation floristique mise à part quelques espèces endémiques. Sur la base de plus de 300 relevés effectués sur les roches riveraines de plus de 50 cours d'eau français sous différents climats, une étude sur la répartition altudinale des espèces hydrophiles a été réalisée. Cette étude montre une flore typiquement collinéenne qui peut coloniser les roches riveraines de l'étage collinéen jusqu'à la base de l'étage montagnard et une flore montagnarde subalpine qui colonise les roches de l'étage montagnard supérieur à l'étage subalpin.

Des analyses statistiques effectuées sur les 252 relevés effectués par la méthode de prélèvement intégral montrent une répartition des espèces en fonction de leur durée annuelle d'immersion et de fait une répartition en fonction de leur hauteur par rapport à l'axe du centre du cours d'eau. Ces études statistiques mettent également en évidence la présence d'une flore non aquatique qui se superpose aux communautés lichéniques saxicoles-hydrophiles. Cette flore non aquatique est plus abondante sur les roches les moins immergées annuelles que sur les roches proches du chenal d'étiage. Ce cortège de lichens « opportunistes » non aquatiques peut être majoritairement des espèces à thalle foliacé lorsque le cours d'eau est situé dans un milieu boisé ou majoritairement des espèces à thalle crustacé lorsque la rivière est située dans un milieu très ouvert. Cette flore de substitution est issue des espèces présentes sur les supports situés à proximité des systèmes aquatiques étudiés.

Les analyses statistiques mettent également en évidence une sensibilité des espèces à l'orientation générale NNO et à l'instabilité des supports. Ainsi les communautés mésohydrophiles sont particulièrement bien représentées lorsque les roches sont sous exposition générale NNO. En effet sous cette exposition les roches sont moins soumises aux dessiccations dues à l'ensoleillement ou aux ventilations naturelles. L'exposition n'influe pas sur les communautés subhydrophiles ou hyperhydrophiles. Pour les communautés subhydrophiles, les temps de dessiccation étant très longs, une augmentation des durées d'hydratation due à la protection de la dessiccation reste très marginale. Il en est de même pour les communautés hyperhydrophiles dont les temps d'hydratation étant très longs (proximité du chenal d'étiage), une augmentation de la dessiccation par l'exposition reste

également très marginale. Les supports instables situés généralement dans le chenal d'étiage sont peu riches en espèces. L'énergie du cours d'eau entraîne des frottements des roches entre-elles inhibant leur colonisation par les lichens. On notera cependant que *Staurothele viridis* affectionne ce type de support. On notera également la présence abondante des espèces du genre *Verrucaria* dans le chenal d'étiage sur les supports stables.

Une étude détaillée sur la distribution des espèces en fonction de leur hauteur par rapport au centre de l'axe du cours d'eau (durée d'immersion) et en fonction de l'étiage bioclimatique met en évidence plusieurs groupes d'espèces :

1. Un premier groupe d'espèces présentes à tous les niveaux d'immersion et à tous les étages bioclimatiques ;
2. Trois groupes d'espèces présentes uniquement à un niveau d'immersion (longue, moyenne ou faible durée d'immersion annuelle) mais présentes à tous les étages climatiques ;
3. Six groupes d'espèces présentes uniquement à un niveau d'immersion (longue, moyenne ou faible durée d'immersion annuelle) mais présentes soit de l'étage collinéen à la base de l'étage montagnard ou de l'étage montagnard supérieur à l'étage subalpin.

Dans la nature ces groupes « s'emboîtent » les uns dans les autres en fonction des caractéristiques décrites ci-dessus pour former les associations lichéniques saxicoles-hydrophiles. De ce constat il est possible d'élaborer un schéma phytosociologique formé d'une classe, trois ordres et six alliances. Dans chacune de ces alliances des associations sont bien définies et peuvent être intégrées dans ce schéma.

La durée annuelle d'immersion (et donc le temps d'hydratation des lichens) est un facteur capital pour l'installation des différentes communautés lichéniques saxicoles-hydrophiles. Pour comprendre les divers aspects du métabolisme (en particulier carboné) en fonction de l'hydratation des tissus, un choix des espèces utilisées pour ces expérimentations a dû être réalisé. Afin de s'affranchir des variations micro écologiques des supports, il convenait de sélectionner les espèces représentatives d'un niveau d'immersion occupant la plus grande surface (Recouvrement moyen global) avec un thalle non segmenté. L'espèce correspondant à ces critères a été considérée comme représentative d'un niveau d'immersion (espèces « modèles »). *Verrucaria praetermissa* (subhydrophile) *Ionaspis lacustris*, *Porpidia hydrophila* (mésohydrophiles) et *Verrucaria funckii* (hyperhydrophile) sont choisies comme espèces « modèles » d'une durée d'immersion. *Rhizocarpon geographicum* (espèce spécifiquement non aquatique) a été, à des fins de comparaison, inclus dans les expérimentations.

Plusieurs expérimentations ont été effectuées sur ces espèces. Ainsi avons nous identifié et quantifié les pigments photosynthétiques, quantifié l'ergostérol, quantifié l'intensité respiratoire et l'assimilation (dans l'eau et à l'air) et déterminé l'activité photochimique de ces espèces.

La teneur en chlorophylle *a* (composé uniquement présent dans le photosymbiote) est considérée comme une bonne indication de l'organisme photosynthétique. De façon similaire, la teneur en ergostérol est utilisée comme indicateur de l'importance du champignon. Entre les espèces hydrophiles, le rapport des teneurs (Chl *a* sur ergostérol) ne varie que très peu ; l'importance relative des deux partenaires est identique. Concernant les valeurs absolues des teneurs, nos résultats sont comparables à ceux de la littérature pour la chlorophylle et l'ergostérol. Il apparaît que le lichen subhydrophile a un taux de chlorophylle *a* et un taux d'ergostérol supérieur à l'espèce hyperhydrophile. Les deux espèces mésohydrophiles possèdent des teneurs qui selon le cas se rapprochent de celles du subhydrophile ou de l'hyperhydrophile.

L'analyse de la composition pigmentaire et les observations microscopiques révèlent que les lichens hydrophiles portent des algues épilichéniques (diatomées et algues vertes) à la différence du lichen non-hydrophile. Ceci apparaît cohérent avec l'écologie des espèces. Les algues épilichéniques contiennent de la Chl *a* et *b*, et les mêmes caroténoïdes pouvant être présents dans le photosymbiote, ce qui pourrait fausser nos analyses des pigments lichéniques. Néanmoins, l'observation au microscope montre que les diatomées sont beaucoup plus importantes que les algues vertes et que les algues épilichéniques, dans leur ensemble, sont très peu abondantes comparées à la masse des lichens. Nous admettrons donc que la composition pigmentaire tirée des analyses est bien représentative des lichens eux-mêmes.

Chez les plantes supérieures, les algues vertes et certains lichens, la zéaxanthine est formée rapidement à partir de précurseurs dont le principal est la violaxanthine dans le cycle des xanthophylles quand la lumière absorbée par les chlorophylles devient excessive. La présence de violaxanthine et de zéaxanthine d'une part, et la valeur extrêmement petite du rapport violaxanthine sur zéaxanthine d'autre part indiquent que le cycle des xanthophylles opère chez les lichens hydrophiles et qu'une part considérable du pool de violaxanthine a été converti en zéaxanthine. Ce dernier résultat qui suggère une photoprotection extrêmement développée chez les lichens au moment de leur prélèvement.

L'intensité respiratoire et l'assimilation ont été mesurées dans l'eau et à l'air. Nos résultats sont globalement similaires aux résultats publiés par divers auteurs. Les écarts observés sont certainement dus aux différentes conditions expérimentales et plus particulièrement les différences de températures pendant les analyses.

Parmi les lichens hydrophiles, il apparaît clairement que quelque soit la technique de mesure et le mode d'expression (biomasse ou surface), le lichen subhydrophile montre une activité supérieur à celle du lichen hyperhydrophile. Les 2 lichens mésohydrophiles possèdent une respiration et une assimilation qui selon le cas se rapprochent de celles du subhydrophile ou de l'hyperhydrophile.

Les lichens sont des organismes poïkilohydriques. Ils sont souvent exposés à la déshydratation mais ils sont capables de « revivre » suite à cette déshydratation même après être restés longtemps dans un état de forte déshydratation. Les échantillons secs se réhydratent particulièrement vite : le plateau de saturation en eau est atteint en moins de 6 minutes après immersion des échantillons secs.

Les mesures d'efficacité quantique (similaires dans l'eau et à l'air) sont de l'ordre de 0,6 ce qui est plus faible que la valeur atteinte dans le cas des feuilles des végétaux (environ 0,8) mais comparables aux valeurs rapportées chez les lichens. Des voies de dissipation de l'énergie autres que la photochimie contribuent largement aux processus de relaxation du photosystème II.

Parmi les lichens hydrophiles, l'espèce subhydrophile montre un rapport Fv/Fm supérieur à l'espèce hyperhydrophile. Les espèces mésohydrophiles présentent une efficacité intermédiaire. Une longue période de dessiccation (échantillons laissés 4 mois à l'air du laboratoire) se traduit par une baisse d'efficacité du PSII chez les lichens mésohydrophiles et hyperhydrophile. Par contraste, cette efficacité n'est pas altérée chez le lichen subhydrophile et est augmentée chez l'espèce non hydrophile.

Laissés à l'air, les lichens bien hydratés se déshydratent particulièrement vite. Les cinétiques de déshydratation observées dans cette étude sont similaires à celles rapportées dans la littérature mais elles sont plus rapides pour les espèces étudiées. Les espèces hydrophiles changent rapidement de statut hydrique en fonction des variations des conditions environnementales. Ces changements d'état hydrique s'accompagnent des changements parallèles du fonctionnement du PSII. L'efficacité quantique maximale (nulle chez les échantillons secs) est restaurée particulièrement vite suite à la réhydratation des échantillons. La restauration de l'efficacité du PS II se réalise plus rapidement chez l'espèce subhydrophile

que chez l'espèce hyperhydrophile. Le fonctionnement du PS II est rapidement altéré lors de l'exondation des tissus. L'activité photosynthétique des lichens varie très rapidement et en permanence.

Puisque le rapport Fv/Fm est rapidement restauré suite à la réhydratation, cela suggère qu'une forme de protection « dynamique » (via le cycle des xanthophylles) et non pas une inhibition « chronique » se met en place lors d'événements secs. Cela suggère que des processus moléculaires de protection des structures cellulaires via des réorientations du métabolisme des sucres et des polyols sont particulièrement efficaces chez ces espèces.

Si ce travail de thèse apporte de nombreuses informations sur la flore, la végétation et la biologie des lichens saxicoles-hydrophiles, il reste cependant de nombreuses inconnues qu'il serait pertinent d'élucider par des recherches complémentaires. Trois grands axes doivent être développés : l'axe flore et végétation, l'axe physiologie et un dernier axe sur le rôle des lichens au sein des écosystèmes aquatiques continentaux.

Malgré les avancés considérables apportées par ce travail de thèse, les clés de détermination et le catalogue devront être améliorés. Dans cet objectif des campagnes de terrain devront être organisées dans les départements français non encore étudiés et en particulier dans le massif Alpin. Des études spécifiques sur les lichens saxicoles-hydrophiles des écosystèmes aquatiques du centre de l'Europe permettraient d'élargir les connaissances floristiques européennes.

De nombreuses espèces restent à décrire. Des méthodes d'études biomoléculaires couplées avec les méthodes classiques de description doivent être envisagées pour les descriptions des nouvelles espèces.

Les hiérarchisations proposées dans ce travail permettent de mieux comprendre la structuration des communautés lichéniques saxicoles-hydrophiles. La quantification précise des durées annuelles d'immersion pour chaque niveau identifié dans ce travail, doit être réalisée par la mise en place de capteurs sur les communautés modèles d'une durée d'immersion : subhydrophile, mésohydrophile et hyperhydrophile. Les caractéristiques des unités phytosociologiques devront être également complétées par des études complémentaires françaises et étrangères.

Il a été impossible dans le cadre de ce travail de déterminer le point de compensation des lichens modèles. Cette lacune doit être comblée par des mesures de photosynthèse (assimilation et respiration) sous des intensités lumineuses progressives de 0 à 2000 µmol. photons.m^2.s^{-1} PAR. Par ailleurs il serait intéressant d'estimer le rétablissement de l'intensité respiratoire et l'assimilation sur des échantillons secs pendant leur réhydratation (ce qui posera d'importants problèmes techniques).

Un autre point très important et relatif à la photosynthèse concerne la quantité de carbone intégré dans une nouvelle biomasse par rapport au taux de photosynthèse nette.

De nombreux pigments photosynthétiques n'ont pas pu être déterminés avec certitude. Des analyses sur des extractions concentrées permettraient de découvrir de nouveaux pigments non encore signalés dans les lichens.

Enfin, la protection contre la dessiccation élaborée par le phycosymbiote (rapport de la concentration de la violaxanthine sur la concentration de la zeaxanthine) augmente significativement de l'espèce hyperhydrophile à l'espèce non hydrophile. Afin d'apprécier au mieux la transformation de la violaxanthine en zeaxanthine, il serait intéressant de quantifier ces deux pigments sur des échantillons laissés à l'obscurité, sous une faible et une forte intensité lumineuse. On sait par ailleurs que le glutathion, produit par le mycosymbiote, est un antioxydant qui leur permet de résister aux stress hydrique et thermique. Le dosage du glutathion dans les lichens « modèles » des différents niveaux d'immersion, complèterait les premiers résultats et permettrait une meilleure compréhension du mode de résistance de ces espèces aux différents stress.

Il est démontré dans ce travail de thèse une forte dégradation du potentiel photochimique des espèces hydrophiles lorsqu'elles sont soumises à des périodes prolongées d'exondation. Pour compléter ce résultat, il serait utile de mesurer la vitesse de dégradation des espèces hydrophiles après un temps d'exondation forcée assez long (tout au moins très supérieur à quatre mois). Enfin il serait intéressant de mesurer le potentiel photochimique et son évolution en fonction du contenu en eau des espèces (hydratation et déshydratation) après avoir soumis les espèces sous lumière permanente (de faible à forte intensité).

Le rôle des lichens au sein d'un écosystème aquatique et plus particulièrement sur la productivité annuelle des espèces hydrophiles au sein d'un cours d'eau, nous est totalement inconnu. Un important travail de terrain doit être envisagé pour combler cette lacune.

Il n'existe aucune donnée sur les relations des lichens hydrophiles et le réseau trophique (modes de transfert du carbone du milieu aquatique au milieu terrestre). Un important travail d'expérimentations de terrain et de laboratoire devrait être envisagé afin de mieux apprécier l'intérêt des lichens pour les invertébrés d'eau douce et particulièrement pour leur alimentation. Des tests de consommation par les invertébrés d'eau douce peuvent être très simplement mis en place en laboratoire.

En fonction des durées annuelles d'immersion les espèces hydrophiles sont soumises à différentes durées de contact avec les éléments biogènes ou polluants en solution dans l'eau ou dans l'air. La corrélation des temps annuels d'immersion, des concentrations des éléments en solution dans l'eau et la nature des espèces permettrait de mieux comprendre les mécanismes d'absorptions et de relargages de ces éléments dans le milieu naturel. De manière transversale des schémas de bioamplification pourront être réalisés.

De nombreuses applications peuvent être envisagées sur la base des résultats obtenus : évolution de la qualité des milieux, bioamplification, relations avec le milieu terrestre (transfert du carbone).

BIBLIOGRAPHIE

ABBAYES H. des, 1951 - Traité de Lichénologie. *Paris, Lechevalier* : 1-217.

ALBERT B., BRAY D., LEWIS J., RAFF M., ROBERTS K. M. et WATSON J. D., 1986 – Biologie moléculaire de la cellule. *Flammarion* : 1-1146.

APTROOP A. et SEAWARD MRD, 2003 - Freshwater lichens. *Fungal diversity research*, **10** : 101-110.

ASTA J., 1975 - Contribution à l'étude de la flore et de la végétation lichéniques du massif des Aiguilles Rouges et du massif du Mont-Blanc. *Annales du centre universitaire de Savoie* : 107-140.

ASTA J., 1992 - Contribution minérale de quelques espèces de lichens. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, **139** : 81-97.

ASTA J. et GARREC J. P., 1980 - Étude de la répartition du calcium, potassium, magnésium et phosphore dans les différentes couches anatomiques de dix lichens par analyse directe à la microsonde électronique. *Cryptogamie Bryol. Lichénol.*, **1(1)** : 3-20.

ASTA J. et LETROUIT M. A., 1994 - Thallus morphogenesis in some lichens. *Cryptogamic Botany*, **4** : 274-282.

ASTA J. et LETROUIT M. A., 1995 - Observations on the early growth of Rhizocarpon geographicum thalli. *Herzogia*, **11** : 239-252.

ASTA J., AVNAIM M. et LETROUIT M. A., 1986 - colonisation d'un sol vierge par Baeomyces rufus et Pogonatum urnigerum : aspects morphologique et structural. *Travaux Scientifiques du Parc National de la Vanoise*, **XV** : 83-101.

ASTA J., CLAUZADE G. et ROUX C., 1972 - Premier aperçu de la végétation lichénique du Parc National de la Vanoise. *Travaux Scientifiques du Parc National de la Vanoise* : 73-105.

ASTA J., CLAUZADE G. et ROUX C., 1974 - Complément à l'étude de la végétation lichénique du Massif de la Vanoise. *Travaux Scientifiques du Parc National de la Vanoise* : 105-112.

ASTA J., CLAUZADE G. et ROUX C., 1986 - Flore et végétation lichénique de la pinède à crochets du bois de Sapey (Pellafol, Isère). *Bull. Fed. Myc. Dauphinée Savoie*, **101** : 9-12.

ASTA J., LETROUIT M. A. et WAGNER J., 1990 - Colonisation de quartzites en milieu alpin par Rhizocarpon geographicum (L.) DC, lichen crustacé saxicole. *Ecologie et Biogéographie alpines* : 369-371.

ASTA J., ORRY F., TOUTAIN F., SOUCHIER B. et VILLEMIN G., 2001 - Micromorphological and ultrastructural investigations of the lichen-soil interface. *Soil Biology and biochemistry*, **33** : 323-337.

AUBERT S., JUGE C., GOUT E. et BLIGNY R., 2007 – Metabolic processes sustaining the reviviscence of the lichen Xanthoria elegans (Link) in high montain environment. *Planta* (**226**) : 1287-1297.

BACHEREAU F et ASTA J., 1998 - Effects of ultraviolet radiation at high altitude on the physiologie and the biochemistry of a terricolous lichen (Cetraria islandica (L.) Ach.). *Symbiosis*, **23** : 197-217.

BACKOR M. & LOPPI S., 2009 - Interactions of lichens with heavy metals. *Biologia planrarium*, **53(2)** : 214-222.

BARLOW RG., CUMMINGS DG. et GIBB SW., 1997 - Improved resolution of mono and divinyl chlorophylls a and b and zeaxanthine and Luteine in phytoplancton extracts using reverve phase C-8 HPLC.. *Marine Ecology progress serie*, **161** : 303-307.

BAUVET C., 2005 - Les lichens du département de l'Ardèche. *Bull. Soc. Linn. de Provence*, **56** : 161-200.

BELANDRIA G., ASTA J. et NURIT F., 1989 - Effects of sulphur dioxide and fluoride on ascospore germination of several lichens. *Lichenologist*, **21(1)** : 79-86.

BELLEMÈRE A., 1967 - Contribution à l'étude du développement de l'apothécie chez les discomycètes inoperculés. *Bull. Soc. Mycol. France*, **83** : 395-931.

BENESPERI R. et TRETIACH M., 2004 - Differential land snail damage to selected species of the lichen genus Peltigera. *Biochemical systematics and ecology*, **32** : 127-138.

BESCHEL R., 1954 - Die stüfung der flechtenvegetation an den Inn. *Ufermauern in Innsbruck, Phyton*, **5(3)** : 247-266.

BILGER W., RIMKE S., SCHREIBER U. et LANGE O. L., 1989 - Inhibition of energy-transfer to photosystem II in lichens by dehydration: different properties of reversibility with green and blue-green phycobionts. *Journal of plant physiology*, **134(3)** : 261-268.

BOISSIÈRE J. C., 1986 - Une flore lichénique exceptionnelle au lieu dit "L'Orme à Florent", commune de Poligny (Seine-et-Marne). *Bull. ANVL*, **62(4)** : 205-215.

BOISSIÈRE J. C., 1990 - Les lichens saxicoles et terricoles de la forêt de Fontainebleau. *Bull. Soc. Bot. de France*, **Lettres Bot. 137(2-3)** : 175-195.

BOISSIERE J. C., BOISSIERE M. C., LALLEMAND R. et WAGNER J, 1989 - A quelle étape de son cycle biologique se trouve le Nostoc symbiote au sein d'un lichen ?. *Bull. Soc. Bot. Fr., actualités botaniques*, **136(1)** : 147-150.

BOTINEAU M. et GHESTEM A., 1995 - Caractérisation des communautés de macrophytes aquatiques (plantes vasculaires, bryophytes, lichen) en Limousin. Leurs relations avec la qualité de l'eau. *Acta Botanica Gallica*, **142 (6)** : 585-594.

BRICAUD O., 2004 - Aperçu de la végétation lichénique de quelques stations du Ventoux et des Monts de Vaucluse (Vaucluse). *Bull. Ass. Fr. de Lichénologie*, **29(2)** : 23-74.

BRICAUD O., 2005 - La végétation lichénique de la réserve naturelle de Camargue. *Bull. Ass. Fr. de Lichénologie*, **30(1)** : 29-45.

BRICAUD O. et ROUX C., 1990 - Champignons lichénisés et lichénicoles de la France méridionale (Corse comprise) : espèces nouvelles et intéressantes (IV). *Bull. Soc. Linn. de Provence*, **41** : 117-138.

BRICAUD O., COSTE C., LECOEUR D., GLENN M., MENARD T. et ROUX C., 1992 - Champignons lichénisés et lichénicoles de la France méridionale (Corse comprise) : espèces nouvelles et intéressantes (V). *Bull. Soc. Linn. de Provence*, **t. 43** : 81-152.

BRUNS-STRENGE S. et LANGE OL, 1992 - Photosynthetische Primärproduktion der Flechte Cladonia portentosa an einem Dünenstandort auf der Nordseeinsel Baltrum. III. Anwendung des Photosynthesemodells zur Simulation von Tagesläufen des CO2-Gaswechsels und zur Abschätzung der Jahresproduktion - P. *Flora*, **186** : 127-140.

CANNON P. F. et KIRK P. M., 2007 - Fungal Families of the world. *CABI Éditeur* : 1-456.

CATALAYUD A., DELTORO V. I., BARRENO E. et VALLE-TASCON S. del, 1997 - Changes in in vivo chlorophyll fluorescence quenching in lichen thalli as a function of water content and suggestion of zeaxanthin-associated photoprotection. *Physiologia plantarum*, **101** : 93-102.

CHATENET P. et BOTINEAU M., 1999 - Dermatocarpon weberi un lichen aquatique bioaccumulateur des micropolluants métalliques des cours d'eau. *Journal européen d'hydrologie*, **29(2)** : 143-159.

CHATENET P., BOTINEAU M. et CHAZAL P., 2001 - Utilisation des lichens dans la mise en évidence des éléments traces présents dans les cours d'eau. *Cryptogamie, Mycologie*, **22(3)** : 225-237.

CHATENET P., BOTINEAU M., HAURY J. et GHESTEM A., 1997 - Zonation longitudinale et influence des pollutions ponctuelles sur les phytocénoses des cours d'eau acides à neutres du Limouzin et de Bretagne. *Colloques phytosciologiques, Bailleul, 1997*, **XXVII** : 1097-1110.

CHATENET P., HAURY J., BOTINEAU M. et PICAUD F., 2002 - Impact des pollutions ponctuelles sur les phytocénoses des rivières acides à neutres du Limouzin (Massif-Central, France). *Revue des sciences de l'eau*, **15(1)** : 397-410.

CLAUZADE G., 1992 - Determination des roches, minéraux et minérais les plus usuels. *Bull. Soc. Castraise de Sci. Nat.* : 66-88.

CLAUZADE G. et ROUX C., 1985 - Likenoj de Okcidenta Eùropo Ilustrita determinlibro. *S.B.C.O. édit. (Bull. Soc. Bot. Centre-Ouest n° spécial 7)*, **Royan** : 1-893.

CLAUZADE G. et ROUX C., 1987 - Likenoj de Okcidenta Eùropo Ilustrita determinlibro. *Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest Nouvelle série*, **18** : 177-214.

CLAUZADE G. et ROUX C., 1989 - Likenoj de Okcidenta Eùropo Ilustrita determinlibro. *Suplemento 3a. Bull Soc. Linn. Provence*, **40** : 73-110.

CLAUZADE G., DIÉDERICH P. et ROUX C., 1989 - Nelikenigintaj fungoj likenlogaj Ilustrita determinlibro. *Bull. Soc. Linn. de Provence, n° spécial 1*, **Marseille** : 142 p.

COLLIER K.J., BURY S. et GIBBS A., 2002 - Stable isotope study of linkages between stream and terrestrial food webs through spider predation. *Freshwater biology*, **47 (9)** : 1651-1659.

COSTE C., 1990 - Lichens du Haut-Languedoc intéressants pour la flore Française. *Bulletin de la Coordination Mycologique du Midi Toulousain et Pyrénéen*, **7** : 45-50.

COSTE C., 1991 - Lichens et associations lichéniques observées dans le département de l'Ariège. *Bulletin de l'Association Française de Lichénologie*, **16(2)** : 5-17.

COSTE C., 1992 - Première étude de la flore et de la végétation lichéniques du causse de Labruguière-Caucalières (81, Tarn). *Bull. Soc. Castraise de Sci. Nat.*, **1992** : 89-121.

COSTE C., 1992 - Premières observations sur la flore lichénique de la vallée de l'Isard (Pyrénées, Ariège). *Bull. Soc. Castraise de Sci. Nat.*, **1992** : 122-124.

COSTE C., 1993 - Contribution à l'étude des champignons lichénisés ou lichénicoles de la région Midi-Pyrénées. *Bulletin de l'Association Française de Lichénologie*, **18(1)** : 3-15.

COSTE C., 1993 - Arthonia graphidicola Coppins (Arthoniales, Arthoniaceae) dans le Tarn (France, 81). *Bull. Soc. Castraise de Sci. Nat.*, **1993** : 51-54.

COSTE C., 1994 - Flore et végétation lichéniques du causse de Labruguière-Caucalières (Tarn, France). *Bull. Soc. Linn. de Provence*, **45 (Hommage scientifique à G. Clauzade)** : 187-218.

COSTE C., 1995 - Flore et végétation lichéniques saxicoles du Travers de Saint-Martial (France, Tarn). *Bull. Ass. Fr. de Lichénologie*, **20(1)** : 13-28.

COSTE C., 1996 - Liste préliminaire des lichens de la Montagne noire. *Rapport d'étude non publié* .

COSTE C., 1996 - Présence de Melaspilea granitophila (Th Fr) Coppins dans le département du Tarn. *Bulletin de l'Association Française de Lichénologie*, **21(2)** : 51-56.

COSTE C., 1997 - Champignons lichénisés et lichénicoles épiphytes des bois de Saint-Hippolyte (France, Tarn). *Cryptogamie Bryol. Lichénol.*, **18(2)** : 127-142.

COSTE C., 1999 - Présence de Chaenothecopsis subparoica (Nyl) Tibell dans le sud de la France (Ariège). *Bulletin de l'Association Française de Lichénologie*, **24(1)** : 37-39.

COSTE C., 2001 - Flore et végétation lichéniques épiphytes du Parc de Lostange (France, Tarn). *Cryptogamie Bryol. Lichénol.*, **22(3)** : 209-223.

COSTE C., 2002 - Contribution au catalogue des champignons lichénisés ou lichénicoles du département du Tarn (1). *Bulletin de l'Association Française de Lichénologie*, **27(1)** : 25-34.

COSTE C., 2005 - Aperçu de la flore et de la végétation de la RBI de Canalettes (Causse du Larzac, Aveyron). *Rapport d'étude non publié* .

COSTE C., 2005 - Lichens et communautés lichéniques hydrophiles et subhydrophiles saxicoles-calcifuges du département du Tarn (France). *Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest Nouvelle série*, **Tome 36** : 577-596.

COSTE C., 2007 - Liste préliminaire des lichens et champignons lichénicoles de Midi-Pyrénées. *non publié*.

COSTE C., 2007 - Liste préliminaire des lichens et champignons lichénicoles déterminants pour Midi-Pyrénées. *non publié*.

COSTE C., 2007 - Mémoire sur articles. *Université Paul Sabathier, CESBIO, Toulouse III* : 1-435.

COSTE C., 2008 - Inventaire préliminaire des lichens et champignons lichénicoles de la réserve naturelle des gorges du Gardon. *Bul. Soc. Ét. Nat. Nîmes et Gard*, **Tome 67** : 29-43.

COSTE C., 2008 - Inventaire raisonné des lichens et champignons lichénicoles de la commune de Saint-Just (Ille-et-Vilaine, Bretagne). *Rapport d'étude non publié*.

COSTE C., 2009 - Écologie des lichens saxicoles et hydrophiles des écosystèmes aquatiques continentaux. *Actes du colloque Des journées des naturalistes en Midi-Pyrénées* : 1-8.

COSTE C., 2010 - *Placynthium flabellosum* (Tuck.) Zahlbr., un lichen saxicole-calcifuge rare et méconnu pour la flore lichénique française. *Bull. Ass. Fr. de Lichénologie* sous presse.

CZECZUGA B. et OLECH M., 1990 - Investigations on Carotenoids in lichens. XXV . Studies of Carotenoids in lichens from Spitsbergen. *Phyton*, **Vol. 30(2)** : 235-245.

DAVIS W. C., GRIES C. et NASH T. H., 2003 - The influence of temperature on the weight and net photosynthesis of the aquatic lichen Peltigera hydrothyria over long periods of time. *Lichenological contributions in Honour of G. B. Feige. Bibliotheca lichenologica.* : 333-361.

DE LOS RIOS A., WIERZCHOS J. et ASCASO C., 2002 - Microhabitats and chemical microenvironments under saxicolous lichens growing on granite. *Microbial ecology*, **43(1)** : 181-188.

DEMMIG-ADAMS B., ADAMS WW., GREEN T. G. A., CZYGAN F.-C. and LANGE O. L., 1990 – Differences in the susceptibility to light stress in two lichens forming a phycosymbiodeme, one partner possessing and one lacking the xanthophyll cycle. **Oecologia** (**84**) : 451-456.

DERUELLE S., 1992 - Accumulation du plomb par les lichens. *Bull. Soc. bot. Fr. 139*, **Actual. bot. (1)** : 99-109.

DERUELLE S., 1993 - Approches analytiques : méthodes pysiologiques et dosages du plomb et du fluor des lichens. *Documentation personnelle, communication de S. Déruelle* : 1-17.

DESCY J.P. et METENS A., 1996 - Biomass-pigment relationships in potamoplankton. *Journal of plankton research*, **Vol. 18(9)** : 1557-1566.

DIETZ S. et HARTUNG W., 1999 - The effect of abscisic acid on chlorophyll fluorescence in lichens under extreme water regimes. *New Phytologist*, **143** : 495-501.

FRÖBERG L., BAUR A. et BAUR B., 1993 - Differential herbivore damage to calcicolous lichens by snails. *Lichenologist*, **25(1)** : 83-95.

GERSON U. et SEAWARD MRD, 1977 - lichen-invertebrate associations. *In: M. R. D. Seaward (ed.): Lichen Ecology. Academic Press London* : 69-119.

GILBERT O., 1996 - The Lichen Vegetation of Chalk and Limestone Streams in Britain. *Lichenologist*, **28(2)** : 145-159.

GILBERT O. et GIAVARINI V., 1997 - The Lichen Vegetation of Acid Watercourses in England. *Lichenologist*, **29(4)** : 347-367.

GILBERT O. et GIAVARINI V., 2000 - The Lichen Vegetation of Lake Margins in Britain. *Lichenologist*, **32(4)** : 365-386.

GILBERT O., COPPINS B. J. et FOX B. W., 1988 - The lichen flora of Ben Lawers. *Lichenologist*, **20** : 201-243.

GLIME JM., 1992 - Effects of pollutants on aquatic species. - *In: Bates, JW/Farmer, AM (eds.): Bryophytes and Lichens in a Changing Environment*, **Clarendon Press, Oxford** : 333-361.

GÖRS S., SCHUMAN R., HAUÜBER N. & KARSTEN U., 2007 - Fungal and algal biomass in biofilms on artificial surfaces quantified by ergasterol and chlorophyll a as biomarkers. *International biodeterioration & biodegradation*, **60** : 50-59.

GOUAUX P. et VINCENT J. P., 1990 - Mise en évidence, contôle de l'action de la pollution sur les lichens (Peltigera canina) par utilisation du film infrarouge. *The science of the total environnement*, **95** : 181-190.

GRAÇA A.S., BÄRLOCHER F; et GESSNER M.O., 2005 - Methods to Study Litter Decomposition. *A Practical Guide Kluwer, Academic.Publishers : Printed in The Netherlands* : 171-176.

GREEN TGA, BUDEL B, HEBER U, MEYER A, ZELLNER H et LANGE OL, 1993 - Differences in photosynthetic performance between cyanobacterial and green algal components of lichen photosymbiodemes measured in the field. *New phytologist*, **125(4)** : 723-731.

GUEIDAN C., ROUX C. et LUTZONI F., 2007 - Using a multigene phylogenetic analysis to assess generic delineation and character evolution in *Verrucariaceae* (Verrucariales, Ascomycota). *Mycological research*, **vol. 111** : 1145-1168.

HIBBET D. S. et al., 2007 - A higher-level phylogenetic classification of the fungi. *Science direct, mycological research III* : 509-547.

HILL D.J., 1993 - The co-ordination of development of symbionts in mutualist symbiosis with reference to the cell cycle of the photobiont in lichens. *Symbiosis*, **14** : 325-333.

JAMES P. W., HAWSWORTH D. L. et ROSE F., 1977 - Lichen communities in the British Isles : a preliminary conspectus. *Lichen Ecology, Academic Press London* : 295-413.

JONSSON CABRAJIC A. V., LIDEN M., LUNDMARK T., OTTOSSON- LÖFVENIUS M. et PALMQVIST K., 2010 - Modelling hydratation and photosystem II activation in relation to in situ rain and humidity patterns : a tool to compare performance of rare and generalist epiphytic lichens. *Plant, Cell and Environnement*, **33** : 840-850.

JUN R., 2005 - Les mousses et les lichens de dunes grises atlantiques : caractéristiques structurales, dynamique et typologie fonctionnelle des communautés. *Mémoire de thèse, Université de Rennes 1* : 1-188.

KAPPEN L. et BREUER M., 1991 - Ecological and physiological investigations in continental Antarctic cryptogams. II. Moisture relations and photosynthesis of lichens near Casey Station, Wilkes Land. *Antarctic Science*, **3(3)** : 273-278.

KELLER C., 1995 - Beitrag zur systematik und biologie europäicher Verrucaria-arten des Süsswassers. *Inauguraldissertation der Philosophish-naturwissenschaftlichen fakültat der Universität Bern* : 1-173.

KELLER C., 2005 - Artificial substrat colonized by freshwater lichens. *The Lichenologist*, **(37)4** : 357-362.

KELLER, C et SCHEIDEGGER, C, 1994 - Zur Verbreitung von Wasserflechten in Abhängigkeit zur jährlichen Überflutungsdauer im Flüelatal (Schweiz, Kanton Graubünden). *Herzogia*, **10** : 99-114.

KLEMENT O., 1955 - Preodromus der mitteleuropäischen Flechtengesellschaften. *Feddes répert.*, **135** : 5-194.

KRANNER I., 2002 - Glutathione status correlates with differents degrees of desiccation tolerance in three lichens. *New Phytologist*, **154(2)** : 451-460.

KRANNER I., BIRTIC S., ANDERSON K. M. et PRITCHCHARD H. W., 2006 - Glutathione half-cell reduction potentiel : a universal stress marker and modulator of programmer cell death ?. *Free Radical Biology and Medecine*, **40** : 2155-2165.

KRANNER I., CRAM W. J., ZORN M., WORNIK S., YOSHIMURA I. STABENTHEINER E and PFEIFHOFER H. W., 2005 - Antioxydants and photoprotection in a lichen as compared with its isolated symbiotic partners. *Plant Biology*, **102** : 3141-3146.

KRANNER I., ZORN M., TURK B., WORNIK S., BECKETT R. P. et BATIC F., 2003 - Biochemical traits of lichens differing in relative desiccation tolerance. *New Phytologist*, **160** : 167-176.

KRAUS GH., 1988 - Photoinhibition of photosynthesis. An evaluation of damaging and protective mechanisms. *Physiol. Plant.*, **74** : 566-574.

KREZWICKA B. et GALAS J., 2006 - Ecological notes on Verrucaria aquatilis und V. hydrela in the Polish Tatry Mountains. *Central European Lichens - Diversity and Threat* : 193-204.

LANGE O. L. & GREEN T. G. A., 2005 - Lichens shows that fungi can acclimate their respiration to seasonal changes in temperature. *Oecologia*, **142** : 11-19.

LANGE O. L. et GREEN T. G. A., 2006 - Nocturnal respiration of lichens in their natural habitat is not affected by preceding diurnal net photosynthesis. *Oecologia*, **148(3)** : 396-404.

LANGE O. L., B. BÜDEL B., MEYER A. et E. KILLIAN, 1993 - Further evidence that activation of net photosynthesis by dry cyanobacterial lichens requires liquid water. *Lichenologist*, **25(2)** : 175-189.

LANGE O., L. GREEN T. G. A., HEBER U. et RIEDERER Markus, 2001 - Hydration-dependent photosynthetic production of lichens : what do laboratory studies tell us about field performance. Physiology and Ecology of Plants under Stress. *Journal of Experimental Botany*, **52 (363)** : 2033-2042.

LAWREY J. D., 1983 - Lichen herbivore preference : a test of two hypotheses. *Am. J. Bot.*, **70** : 1188-1194.

LAWREY J. D. et DIEDERICH P., 2003 - Lichenicolous Fungi: Interactions, Evolution, and Biodiversity. *The Bryologist*, **106(1)** : 80-120.

LIDEN M., JONSSON CABRAJIC A. V., OTTOSSON- LÖFVENIUS M., PALMQVIST K. et LUNDMARK T., 2010 - Species-specific activation times-lags can explain habitat restrictions in hydrophilic lichens. *Plant, Cell and Environnement*, **33** : 851-862.

MÉNARD T., 1997 - Étude phytosociologique et écologique des peuplements lichéniques saxicoles calcifuges du sud-est de la France. *Mémoire de thèse* : 1-250.

MOLITOR F. et DIEDERICH P., 1997 - Les pyrénolichens aquatiques du Luxembourg et leurs champignons lichénicoles. *Bulletin de la Société des Naturalistes Luxembourgeois*, **98** : 69-92.

MONNET F., BORDAS F., DELUCHAT V., CHATENET P., BOTINEAU M. et BAUDU M., 2005 - Use of the aquatic lichen Dermatocarpon luridum as bioindicator of copper pollution: Accumulation and cellular distribution tests. *Environnemental pollution*, **138(3)** : 455-461.

NASCIMBENE J. et NIMIS P. L., 2006 - Freshwater lichens of the Italian Alps : a review. *Ann. Limnol. - Int. J. Lim.*, **42(1)** : 27-32.

NASCIMBENE J. et NIMIS PL, 2007 - Freshwater lichens in a small riparian Naturel Reserve of the Northern Italy : species richness and conservation issues. *Cryptogamie, Mycologie*, **28(4)** : 4p.

NASCIMBENE J., THÜS H., MARINI L. et NIMIS PL, 2007 - Freshwater lichens in springs of the eastern Italian Alps : floristics, ecology and potential for bioindication. *Ann. Limnol. - Int. J. Lim.*, **43(4)** : 285-292.

NASH III T. H., 2008 - Lichen biology. *Cambridge University Press* : 1-303.

NORDIN A., 2002 - Collemopsidium angermannicum, a widespread but rarely collected aquatic lichen. *Graphis scripta*, **13** : 39-41.

ORANGE A., 1998 - Dermatocarpon leptophyllodes and related species in the British Isles. *Lichenologist*, **30(1)** : 1-20.

ORANGE A., 2000 - Verrucaria elaiena, a misunderstood european lichen. *Lichenologist*, **32(5)** : 411-422.

ORANGE A., 2002 - Lichenicolous fungi on Ionaspis lacustris. *Mycotaxon*, **Volume LXXXI** : 265-279.

ORANGE A., 2004 - A remarkable new freshwater Verrucaria fron Europe. *Lichenologist*, **36(6)** : 349-354.

OZENDA P. et CLAUZADE G., 1970 - Les lichens : étude biologique et flore illustrée. *Masson édit.*, **Paris** : 1-801.

PALMQVIST K., 1995 - Uptake and fixation of CO2 in lichens photobionts. *Symbiosis*, **18** : 95-109.

PALMQVIST K., CAMPBELL D., EKBLAD A. et JOHANSSON H., 1998 - Photosynthetic capacity in relation to nitrogen content and its partitioning in lichens with different photobionts. *Plant, Cell and Environnement*, **21** : 361-372.

PALMQVIST K., DAHLMAN L., VALLADARES F., TEHLER A., SANCHO L. G. & MATTsSON J.-E, 2002 - CO2 exchange and thallus nitrogen across 75 contrasting lichen associations from different climate zones. *Oecologia*, **133** : 295-306.

PALMQVIST K., De Los RIOS A., ASCASO C. and SAMUELSON G., 1997 - Phtosynthetic carbon acquisition in the lichens photobionts Coccomyxa and Trebouxia (Chlorophyta). *Physiologia plantarum*, **101** : 67-76.

PEREIRA I., 1992 - Flora, Vegetacion y ecologia de los liquenes acuaticos de Espana. *Tesis doctoral* : 1-341.

PETTERSSON R B., BALL J P., RENHORN K E., ESSEEN P A. et SJOBERG K., 1995 - Invertebrate communities in boreal forest canopies as influenced by forestry and lichens with implications for passerine birds. *Biological Conservation*, **74(1)** : 57-63.

PURVIS O.W., COPPINS B.J., HAWKSWORTH D.L., JAMES P.W. et MOORE D.M., 1992 - The lichen flora of Great Britain and Ireland. *London*, **Museum Publications** : 1-710.

REITER R., HÖFTBERGER M., T.G., GREEN A. et TÜRK R., 2008 - Photosynthesis of lichens from lichen-dominated communities in the alpine/nival belt of the Alps – II: Laboratory and field measurements of CO2 exchange and water relations. *Flora*, **203(1)** : 34-46.

RIED A., 1960 - Stoffwechsel und verbreitungsgrenzen von flechten. II. Wasser-und assimilationshausshalt, Entquellungs- und submersionsresistenz von krustenflechten benachbarter standorte. *Flora (Jena)*, **149** : 345-385.

RIED A., 1960 - Stoffwechsel und verbreitungsgrenzen von flechten. I. flechtenzonierungen an Bachufern und ihre Besichungen zur jährlichen uberflütungsdauer und zum mikroclima.. *Flora (Jena)*, **148 (4)** : 612-638.

ROUX C., 1990 - Échantillonage de la végétation lichénique et approche critique des méthodes de relevés. *Cryptogamie Bryol. Lichénol.*, **11(2)** : 95-108.

ROUX C. et al., 1986 - Les bases de la systématique moderne des lichens. *Bull. Soc. Bot. Fr., actualités botaniques*, **133 (2)** : 7-40.

ROUX C. et COSTE C., 2005 - Lichens et champignons lichénicoles du parc national des Cévennes (France) 2 - Le causse Méjean. *Bull. Soc. Linn. de Provence*, **t. 56** : 225-241.

ROUX Cl., COSTE C., BRICAUD O. et MASSON D., 2006 - Catalogue des lichens et champignons lichénicoles de la région Languedoc-Roussillon (France méridionale). *Bull. Soc. Linn. de Provence*, **t. 57** : 85-200.

ROUX Cl., COSTE C., MASSON D. et BAUVET C., 2006 - Lichens et champignons lichénicoles du parc national des Cévennes (France) 3 - Les basses Cévennes. *Bull. Soc. Linn. de Provence*, **t. 57** : 59-84.

SANTESSON R., 1939 - Uber der zonationverhältnisse der lacustrinen flechten einiger Seen in Anebodegebeit. *Medd. Lunds. Limnel. Inst.*, **Lund 1** : 1-70.

SERUSIAUX E., DIEDERICH P., ERTZ D., BRAND M. et BOOM V. d. P., 2006 - New or interesting lichens and lichenicolous fungi from Belgium, Luxembourg and northern France X. *Bull. Soc. Nat. Luxembourg*, **107** : 63-74.

SILVA B., RIVAS T., PRIETO B., SENESI N., RICE J. A. et MIANO T. M., 1999 - Effects of lichens on the geochemical weathering of granitic rocks. Matter and energy fluxes in the anthropocentric environment. *Chemosphere Oxford*, **39 (2)** : 379-388.

SMITH A.J.E., 1976 - The moss flora of Britain and Ireland. *Cambridge University Press* : 1-710.

SMITH C.W., APTROOT A., COPPINS B. J., FLETCHERT A., GILBERT O. L., JAMES P. W. et WOLSELEY P. A., 2009 - Th lichens of Great Britain and Ireland. *British lichen society, London* : 1-1046.

SOUCHON C., 1971 - Les lichens. *Presse universitaire de France, collection "Que sais-je ?"*, **n° 134** : 1-126.

STUBBS, CS, 1989 - Patterns of distribution and abundance of corticolous lichens and their invertebrate associates on Quercus rubra in Maine. *The Bryologist*, **92(4)** : 453-460.

SUNDBERG B., EKBLAD A., NÄSHOLM T. et PALMQVIST K, 1999 - Lichen respiration in relation to active time, temperature, nitrogen and ergosterol concentrations. *Functional Ecology*, **13** : 119-125.

THÜS, H., 2002 - Taxonomie, Verbreitung und Ökologie silicoler Süsswasserflechten im ausseralpinen Mitteleuropa. *Bibl. Lichenol.*, **83** : 1-214.

THÜS, H. et SCHULTZ M., 2009 - Fresh water flora of central Europe - Fungi 1st Part : Lichens. *Spektrum Akademischer Verlag Heildelberg*, **21(1)** : 1-223.

VALCARCEL C. P. et CARBALLAL R., 2002 - Liquenes pirenocarpicos de los rios y arroyos de Galicia (Espana). *Cryptogamie, Mycologie*, **23(2)** : 245-271.

VALCARCEL C. P., SANCHEZ-BIEZMA M. J. et CARBALLAL R., 1999 - Liquenes de los cursos de aqua de la provincia de Lugo (Galicia, España). I : Especies con peritecios. *Nova Acta Cientifica Compostelana (Bioloxia)*, **9** : 21-31.

VINCENT J. P., 1987 - Écologie des principales fonctions de Peltigera canina a - La photosynthèse. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, **123** : 73-79.

VINCENT J. P., 1989 - Écologie des principales fonctions de Peltigera canina b - La respiration. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, **125** : 39-45.

VINCENT J. P., 1990 - Influence d'une atmosphère urbaine sur les différentes fonctions d'une espèce lichénique. Étude "in situ" et en chambrettes expérimentales. *The science of the total environnement*, **95** : 167-180.

WIRTH V., 1972 - Die Silikatflechten-Gemeinschaften im ausseralpinen Zentraleuropa. *Diss. bot.*, **17** : 1-325.

WIRTH V., 1980 - Flechtenflora. *E. Ulmer édit.*, **Stuttgart** : 1-552.

WIRTH V., 1995 - Die flechten Baden-Württembergs. *E. Ulmer édit.*, **Stuttgart** : 1-1006.

ANNEXES

Catalogue

Pour chaque espèce il est précisé la localisation de l'observation (PSLA, PILA et CE), les répartitions connues par département français (Claude Roux, catalogue en préparation) et enfin les nouvelles localités apportées par cette étude. Les champignons lichénicoles sont précédés par un astérisque (*).

Acarospora fuscata (Schrad.) Th. Fr.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 06, 07, 09, 10, 12, 13, 15, 19, 20, 22, 29, 30, 34, 38, 41, 43, 48, 54, 55, 57, 63, 64, 65, 66, 68, 70, 72, 73, 74, 75, 77, 83, 84, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 11, 31, 35, 81.

Acarospora sinopica (Wahlenb.) Körb.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 07, 09, 15, 20, 2, 30, 31, 34, 48, 64, 65, 66, 73, 74, 81, 87.
Nouvelle(s) localité(s) : 11, 12, 29.

Adelolecia kolaensis (Nyl.) Hertel et Rambold
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 12, 30, 34, 38, 64, 66, 73.
Nouvelle(s) localité(s) : 65, 81.

Aspicilia aquatica Körb.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 07, 09, 15, 20, 30, 34, 64, 66, 74, 79, 81, 83.
Nouvelle(s) localité(s) : 11, 31, 65.

Aspicilia caesiocinerea (Nyl. ex Malbr.) Arnold
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 06, 07, 09, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 2A, 2B, 22, 27, 29, 30, 31, 34, 35, 41, 44, 48, 49, 50, 53, 56, 57, 61, 63, 64, 65, 66, 68, 72, 73, 74, 76, 77, 79, 83, 84, 85, 86, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 11, 81.

Aspicilia cinerea (L.) Körb.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 05, 06, 12, 15, 20, 2B, 30, 35, 38, 48, 64, 66, 68, 73, 74, 79, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 29, 31, 65, 81.

Aspicilia contorta (Hoffm.) Kremp. ssp. *contorta*
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 05, 06, 07, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 2A, 2B, 22, 26, 27, 29, 30, 31, 34, 35, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 48, 49, 50, 53, 54, 55, 56, 57, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 72, 73, 74, 76, 77, 79, 83, 84, 85, 86, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 81.

Aspicilia contorta ssp. *hoffmanniana* Ekman et Fröberg
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 05, 06, 12, 13, 26, 30, 34, 38, 39, 41, 74, 77, 84, 86.
Nouvelle(s) localité(s) : 11, 31, 66, 81.

Aspicilia intermutans (Nyl.) Arnold
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 06, 07, 12, 13, 20, 30, 34, 38, 50, 61, 66, 74, 77, 83, 84.
Nouvelle(s) localité(s) : 11, 31, 65, 81.

Aspicilia laevata (Ach.) Arnold
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 07, 20, 34, 38, 66, 67, 68, 70, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 31, 64, 65.

Aspicilia supertegens Arnold
Localisation de l'observation : PSLA et PILA.
Répartition connue : 05, 30, 64, 73.
Nouvelle(s) localité(s) : 31, 65, 66.

Bacidia carneoglauca (Nyl.) A. L. Sm.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 87.
Nouvelle(s) localité(s) : 65.

Bacidia trachona (Ach.) Lettau
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 22, 29, 30, 34, 39, 50, 64, 66, 73, 74, 84.
Nouvelle(s) localité(s) : 11, 35, 65, 81.

Bacidina chloroticula (Nyl.) Vězda et Poelt
Localisation de l'observation : PSLA ou PILA.
Répartition connue : 07, 30, 34, 41, 64, 84.
Nouvelle(s) localité(s) : 50, 65, 81.

Bacidina inundata (Fr.) Vězda
Localisation de l'observation : PILA.

Répartition connue : 05, 06, 07, 09, 12, 13, 15, 29, 30, 34, 48, 54, 64, 66, 79, 81, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 11, 35, 50, 65.

Buellia aethalea (Ach.) Th. Fr.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 07, 08, 14, 15, 20, 27, 30, 31, 34, 39, 42, 44, 48, 50, 55, 56, 61, 63, 64, 66, 72, 79, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 35, 65, 81.

Buellia stellulata (Taylor) Mudd
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 06, 07, 14, 20, 27, 29, 30, 34, 35, 44, 49, 54, 56, 61, 63, 64, 65, 66, 79, 83, 85.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 81, 84, 88.

Caloplaca atroflava (Turner) Mong.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 07, 10, 13, 20, 30, 34, 41, 43, 48, 66, 73, 77, 81, 85.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 35, 64, 65.

Caloplaca cerinoides (Anzi) Jatta
Localisation de l'observation : PSLA ou PILA.
Répartition connue : 05, 66.
Nouvelle(s) localité(s) : 65, 34, 81.

Caloplaca crenulatella (Nyl.) H. Olivier
Localisation de l'observation : PSLA ou PILA.
Répartition connue : 01, 04, 05, 06, 07, 2A, 30, 34, 38, 39, 41, 42, 48, 54, 55, 57, 61, 65, 66, 73, 74, 75, 84, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 11, 81.

Caloplaca diphyodes (Nyl.) Jatta
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 07, 09, 13, 15, 30, 34, 63, 68, 81, 87.
Nouvelle(s) localité(s) : 35, 50, 65, 66.

Caloplaca isidiigera Vězda
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 06, 09, 13, 15, 20, 30, 34, 39, 54, 55, 65, 66, 73, 74, 83, 84, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 11, 81.

Caloplaca oxfordensis Fink ex Hedrich
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 06, 07, 13, 15, 19, 30, 34, 43, 48, 66, 77, 79.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 35, 64, 65, 66, 81.

Caloplaca pellodella (Nyl.) Hasse
Localisation de l'observation : PSLA et PILA.
Répartition connue : 07, 2B, 30, 34, 64, 66, 83.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 81.

Caloplaca submergenda (Nyl.) H. Olivier
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 07, 12, 20, 30, 34, 48, 66, 81, 87.
Nouvelle(s) localité(s) : 11.

Candelariella vitellina (Hoffm.) Müll. Arg.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 05, 06, 07, 09, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 2A, 2B, 22, 27, 29, 30, 34, 35, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 48, 50, 53, 54, 55, 56, 57, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 68, 72, 73, 74, 76, 77, 79, 83, 84, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 11, 81.

Catillaria chalybeia (Borrer) A. Massal.
Localisation de l'observation : PSLA et PILA.
Répartition connue : 04, 05, 06, 07, 10, 12, 13, 15, 20, 2B, 22, 29, 30, 31, 33, 34, 44, 48, 50, 51, 54, 57, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 68, 72, 73, 74, 75, 77, 79, 83, 84, 85, 86, 87, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11, 35, 81.

Catillaria lenticularis (Ach.) Th. Fr.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 05, 06, 07, 10, 12, 13, 2A, 2B, 25, 26, 29, 30, 33, 34, 38, 39, 40, 41, 44, 48, 49, 50, 54, 55, 62, 63, 64, 65, 66, 72, 73, 74, 75, 77, 81, 83, 84, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11.

**Cercidospora epipolytropa* (Mudd) Arnold
Localisation de l'observation : Champignon lichénicole sur le thalle de *Lecanora polytropa*.
Répartition connue : 05, 06, 12, 2B, 30, 34, 48, 66, 83, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 35, 81.

**Cercidospora xanthoriae* (Wedd.) R. Sant.
Localisation de l'observation : Champignon lichénicole sur le thalle de *Xanthoria parietina*.
Répartition connue : 2B, 34, 48, 66, 83.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 81.

Clathroporina rivularis (Zschacke) Keissl.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 34, 66.
Nouvelle(s) localité(s) : 81.

Collema dichotomum (With.) Coppins et J. R. Laundon
Localisation de l'observation : PILA.
Répartition connue : 34, 57, 66, 87, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 64, 65.

Collema flaccidum (Ach.) Ach.
Localisation de l'observation : PSLA ou PILA.
Répartition connue : 05, 06, 07, 09, 12, 14, 15, 20, 2B, 22, 29, 30, 31, 34, 35, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 46, 48, 49, 54, 57, 61, 63, 64, 65, 66, 68, 70, 72, 73, 74, 75, 77, 79, 83, 84, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 50, 81.

Collema fuscovirens (With.) J. R. Laundon
Localisation de l'observation : PSLA.

Répartition connue : 01, 05, 07, 10, 12, 20, 22, 30, 34, 38, 39, 46, 49, 50, 54, 55, 57, 61, 64, 66, 73, 74, 75, 76, 77, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09,35, 65.

Collema glebulentum (Nyl. ex Cromb.) Degel.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 15.
Nouvelle(s) localité(s) : 5.

Dermatocarpon leptophyllodes (Nyl.) Zahlbr.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 66, 73, 87.
Nouvelle(s) localité(s) : 64, 65.

Dermatocarpon leptophyllum (Ach.) K.G.W.Lång
Localisation de l'observation : PILA.
Répartition connue : 20, 29, 39, 57, 64.
Nouvelle(s) localité(s) : 65, 66.

Dermatocarpon luridum (With.) J. R. Laundon v. *luridum*
Localisation de l'observation : PILA.
Répartition connue : 05, 06, 07, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 19, 2A, 2B, 22, 27, 29, 30, 31, 34, 35, 42, 44, 48, 50, 53, 56, 61, 64, 66, 68, 72, 73, 74, 76, 79, 81, 83, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 04, 09, 65.

Dermatocarpon luridum v. *decipiens* (A. Massal.) H. Riedl.
Localisation de l'observation : CE.
Répartition connue : 04, 06, 15, 20, 66, 73.
Nouvelle(s) localité(s) : 81.

Dermatocarpon meiophyllizum Vain.
Localisation de l'observation : PSLA et PILA.
Répartition connue : 20, 30, 34, 66, 73.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 64, 81.

Dermatocarpon rivulorum (Arnold) Dalla Torre et Sarnth.
Localisation de l'observation : PILA.
Répartition connue : 05, 2B, 66, 73, 74.
Nouvelle(s) localité(s) : 65.

Endocarpon pallidum Ach.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 07, 08, 13, 30, 34, 54, 66, 81, 85.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 35, 50, 64, 65.

Endocarpon pusillum Hedw.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 01, 06, 12, 13, 15, 20, 30, 34, 49, 64, 66, 73, 74, 84, 85.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 35, 81.

*Endococcus fusiger Th. Fr. et Almq.
Localisation de l'observation : Champignon lichénicole, sur le thalle de *Rhizocarpon lavatum*.
Répartition connue : 5.
Nouvelle(s) localité(s) : 88.

**Endococcus propinquus* (Körb.) D. Hawksw.
Localisation de l'observation : Champignon lichénicole, sur le thalle de *Porpidia cinereoatra*.
Répartition connue : 05, 12, 13, 2A, 26, 34, 48, 66, 77, 81, 84.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 35, 50.

**Endococcus rugulosus* Nyl. (coll.)
Localisation de l'observation : Champignon lichénicole, sur le thalle de plusiuers lichens à thalle crustacés : *Porpidia*, *Ionaspis*, *Rhizocarpon*.
Répartition connue : 05, 07, 09, 30, 34, 48, 59, 66, 77, 84.
Nouvelle(s) localité(s) : 64, 65, 81, 88.

**Endococcus verrucisporus* Alstrup
Localisation de l'observation : Champignon lichénicole mésohydrophile sur le thalle de *Ionaspis lacustris*.
Répartition connue : 08, 15, 30, 48, 66, 74.
Nouvelle(s) localité(s) : 65.

**Endococcus verrucosus* Hafellner
Localisation de l'observation : Champignon lichénicole subhydrophile, sur le thalle d'*Aspicilia aquatica*.
Répartition connue : 05, 15, 30, 41, 48, 66, 73, 83.
Nouvelle(s) localité(s) : 64, 65.

Ephebe lanata (L.) Vain.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 06, 07, 09, 12, 14, 15, 20, 22, 29, 30, 34, 35, 42, 48, 49, 50, 64, 65, 66, 68, 72, 73, 74, 77, 79, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 04, 31, 81.

Flavoparmelia caperata (L.) Hale
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 01, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 2A, 22, 23, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 46, 48, 49, 50, 53, 54, 55, 56, 57, 61, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 83, 84, 85, 87,.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 81.

Fuscidea kochiana (Hepp) V. Wirth et Vězda
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 07, 15, 20, 2A, 30, 34, 48, 63, 64, 66, 67, 68, 73, 74, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 65, 81.

Fuscidea lygaea (Ach.) V. Wirth et Vězda
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 07, 12, 20, 30, 34, 48, 64, 66, 73.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 81.

Fuscidea mollis (Wahlenb.) V. Wirth et Vězda
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 15, 30, 34, 66.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 81.

Gyalecta jenensis (Batsch) Zahlbr. v. *jenensis*
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 01, 06, 07, 12, 14, 15, 26, 27, 29, 30, 34, 35, 38, 39, 44, 48, 49, 54, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 69, 72, 73, 74, 76, 77, 83, 84, 85, 88, 89.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 81.

Gyalecta leucaspis (Kremp. ex A. Massal.) Zahlbr.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 06, 12, 30, 34, 38, 39, 48, 64, 66, 74, 83, 84.
Nouvelle(s) localité(s) : 9.

Hydropunctaria rheitrophila (Zsch.) Keller, Gueidan et Thüs
Localisation de l'observation : CE.
Répartition connue : 15, 34, 48, 66.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 64, 65, 81.

Hydropunctaria scabra (Vězda) Keller, Gueidan et Thüs
Localisation de l'observation : CE.
Répartition connue : 48, 66.
Nouvelle(s) localité(s) : 65.

Hymenelia cyanocarpa (Anzi) Lutzoni
Localisation de l'observation : PILA.
Répartition connue : 64, 73, 74.
Nouvelle(s) localité(s) : 65.

Hymenelia epulotica (Ach.) Lutzoni
Localisation de l'observation : PILA.
Répartition connue : 04, 05, 06, 13, 20, 26, 30, 34, 38, 55, 65, 66, 73, 74, 83, 84.
Nouvelle(s) localité(s) : 64.

Hymenelia melanocarpa (Kremp.) Arnold
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 01, 06, 38, 39, 64, 65, 73, 74, 84.
Nouvelle(s) localité(s) : 9.

Ionaspis lacustris (With.) Lutzoni
Localisation de l'observation : PILA.
Répartition connue : 07, 08, 09, 12, 15, 20, 25, 29, 30, 34, 39, 48, 49, 50, 61, 64, 66, 68, 74, 81.
Nouvelle(s) localité(s) : 31, 35, 65, 88.

Ionaspis obtecta (Vain.) R. Sant.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 63, 74.
Nouvelle(s) localité(s) : 65.

Ionaspis odora (Ach. ex Schaer.) Stein
Localisation de l'observation : PILA.
Répartition connue : 15, 63, 66, 74.
Nouvelle(s) localité(s) : 65.

Ionaspis suaveolens (Fr.) Th. Fr. ex Stein
Localisation de l'observation : PILA.
Répartition connue : 12, 15, 66, 74.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 30, 65.

Koerberiella wimmeriana (Körb.) Stein
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 07, 15, 74, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 65.

Lecania inundata (Hepp ex Körb.) M. Mayrhofer
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 13, 18, 20, 25, 30, 52, 59, 64, 66, 75, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 65.

Lecania rabenhorstii (Hepp) Arnold
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 06, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 2A, 22, 27, 29, 30, 34, 35, 38, 41, 44, 48, 50, 53, 54, 55, 56, 57, 59, 61, 62, 64, 66, 72, 73, 74, 76, 77, 79, 83, 84, 85, 86.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 65, 81, 88.

Lecanora albescens (Hoffm.) Branth. et Rostr.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 05, 06, 07, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 2A, 22, 27, 29L, 30, 31, 33, 34, 35, 41, 44, 48, 49, 50, 53, 54, 55, 56, 57, 61, 62, 63, 64, 66, 68, 72, 73, 74, 76, 79, 81, 83, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 65.

Lecanora campestris (Schaer.) Hue
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 06, 07, 09, 10, 12, 14, 16, 17, 2B, 22, 27, 29, 30, 33, 34, 35, 38, 41, 42, 44, 48, 49, 50, 53, 54, 55, 56, 57, 61, 62, 64, 65, 66, 67, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 83, 84, 85, 87, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 11, 81.

Lecanora dispersa (Pers.) Sommerf. f. dispersa
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 01, 04, 05, 06, 07, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 22, 26, 27, 29, 30, 33, 34, 35, 38, 41, 42, 44, 48, 49, 50, 53, 54, 55, 56, 57, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 81, 83, 84, 85, 87.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 68, 88.

Lecanora intricata (Ach.) Ach.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 06, 12, 15, 20, 2B, 30, 34, 38, 48, 63, 64, 66, 67, 68, 74, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 65, 81.

Lecanora muralis (Schreb.) Rabenh. ssp. *muralis* v. *muralis*
Localisation de l'observation : PSLA.

Répartition connue : 04, 05, 06, 07, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 2A, 2B, 22, 27, 29, 30, 33, 34, 35, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 48, 49, 50, 53, 54, 55, 56, 57, 61, 63, 64, 65, 66, 68, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 85, 87, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11, 81.

Lecanora polytropa (Hoffm.) Rabenh.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 05, 06, 07, 09, 12, 14, 15, 20, 2A, 22, 29, 30, 31, 34, 35, 38, 42, 43, 44, 48, 49, 54, 55, 57, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 73, 74, 77, 79, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 11, 50, 81.

Lecanora schistina (Nyl.) Arnold
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 12, 13, 20, 2A, 22, 29, 30, 34, 64, 66, 79, 83, 85.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 65, 81.

Lecidea confluens (Weber) Ach.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 05, 06, 07, 12, 15, 2A, 30, 34, 38, 48, 57, 63, 64, 65, 66, 68, 73, 74, 88, 90.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31.

Lecidea fuscoatra (L.) Ach. v. *fuscoatra*
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 06, 07, 09, 12, 14, 15, 17, 2A, 2B, 22L, 29, 30, 34, 35, 38, 42, 44, 48, 49, 50, 53, 56, 57, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 83, 84, 85, 88, 90.
Nouvelle(s) localité(s) : 11, 81.

Lecidea fuscoatra v. *grisella* (Flörke) Nyl.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 07, 09, 10, 12, 13, 20, 2A, 30, 34, 48, 57, 63, 64, 66, 67, 69, 72, 73, 74, 77, 83, 84, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 11, 35, 50, 81.

Lecidea lapicida v. *pantherina* (Ach.) Ach.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 06, 12, 15, 20, 2B, 30, 34, 38, 48, 64, 66, 67, 68, 73, 74, 83, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 65, 81.

Lecidea lithophila (Ach.) Ach.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 07, 14, 15, 2A, 29, 30, 34, 38, 48, 57, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 71, 74, 75, 88, 90.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 81.

Lecidea silacea (Ach.) Ach.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 09, 12, 20, 30, 38, 48, 64, 66, 73, 74, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 31, 34, 65, 81.

Lecidella carpathica Körb.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 05, 06, 07, 10, 12, 13, 14, 15, 20, 2B, 29, 30, 31, 33, 34, 38, 42, 43, 44, 48, 49, 50, 54, 55, 57, 61, 63, 64, 65, 66, 72, 73, 74, 77, 79, 83, 84, 85, 87, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11, 81.

Lecidella stigmatea (Ach.) Hertel et Leuckert
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 05, 06, 07, 09, 10, 12, 14, 15, 17, 20, 22, 29, 34, 35, 38, 41, 49, 50, 53, 54, 55, 56, 57, 61, 62, 64, 65, 66, 72, 73, 74, 76, 79, 83, 84, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 31, 81.

Lempholemma polyanthes (Bernh.) Malme
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 07, 20, 30, 34, 39, 54, 55, 57, 66, 68, 74, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 81.

Leptogium cyanescens (Rabenh.) Körb.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 06, 07, 08, 14, 15, 22, 29, 30, 34, 35, 48, 49, 50, 63, 64, 66, 76, 79, 82, 83.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 81, 88.

Leptogium plicatile (Ach.) Leight.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 06, 07, 12, 13, 14, 20, 30, 34, 35, 39, 42, 49, 55, 61, 63, 66, 72, 73, 74, 76, 79, 84, 87, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 50, 65, 81.

Leptogium rivulare (Ach.) Mont.
Localisation de l'observation : PSLA et PILA.
Répartition connue : 65, 66, 76.
Nouvelle(s) localité(s) : 64.

**Lichenostigma* sp. nov. (?)
Champignon lichéninole sur le thalle de *Verrucaria praetermissa*.
Localisation de l'observation : PSLA.

Lichinella heppii (Müll. Arg.) P. Clerc et Cl. Roux
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 34, 74.
Nouvelle(s) localité(s) : 66.

Lobothallia alphoplaca (Wahlenb.) Hafellner
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 05, 15, 48, 63, 65, 66, 73, 74.
Nouvelle(s) localité(s) : 9.

Lobothallia melanaspis (Ach.) Hafellner
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 09, 64.
Nouvelle(s) localité(s) : 31, 65, 66.

Lobothallia radiosa (Hoffm.) Hafellner
Localisation de l'observation : PSLA.

Répartition connue : 01, 04, 05, 06, 07, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 2B, 26, 29, 30, 34, 38, 41, 42, 43, 46, 48, 50, 54, 55, 57, 61, 63, 64, 65, 66, 69, 72, 73, 74, 77, 79, 83, 84, 85, 86, 87, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 35, 81.

**Marchandiomyces corallinus* (Roberge) Diederich et D. Hawksw.
Localisation de l'observation : Champignon lichénicole, sur le thalle de plusieurs lichens à thalle crustacé : *Rhizocarpon*, *Porpidia*.
Répartition connue : 07, 2B, 29, 54, 55, 57, 59, 64, 83, 84.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 35, 50, 65, 66, 81.

Melanelia infumata (Nyl.) Essl.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 73.
Nouvelle(s) localité(s) : 65, 66.

Melanelixia fuliginosa (Fr. ex Duby) O. Blanco, A. Crespo, Divakar, Essl., D. Hawksw. et Lumbsch ssp. *fuliginosa*
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 07, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 2A, 22, 27, 29, 30, 34, 35, 38, 42, 43, 44, 48, 49, 50, 53, 54, 56, 57, 61, 64, 66, 67, 68, 72, 73, 74, 76, 77, 79, 83, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 05, 09, 11, 31, 65, 81.

Melanelixia fuliginosa ssp. *glabratula* (Lamy) J. R. Laundon
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 01, 04, 06, 07, 08, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 2A, 2B, 22, 26, 27, 29, 30, 31, 34, 35, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 46, 48, 49, 50, 53, 54, 55, 56, 57, 59, 61, 62, 63, 64, 66, 67, 68, 72, 73, 74, 76, 77, 79, 83, 84, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 05, 09, 11, 65, 81.

Melanelixia glabra (Schaer.) O. Blanco, A. Crespo, Divakar, Essl., D. Hawksw. et Lumbsch
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 01, 04, 06, 07, 12, 13, 2A, 2B, 25, 26, 30, 31, 34, 38, 39, 42, 48, 64, 66, 73, 74, 83, 84, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11, 65, 81.

Melanohalea elegantula (Zahlbr.) O. Blanco, A. Crespo, Divakar, Essl., D. Hawksw. et Lumbsch
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 06, 07, 12, 2A, 2B, 30, 34, 38, 42, 55, 70, 77, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 35, 50, 81.

Micarea lignaria (Ach.) Hedl. v. lignaria
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 07, 12, 15, 22, 29, 30, 31, 34, 44, 48, 49, 57, 63, 64, 66, 72, 74, 77, 79, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 05, 09, 11, 65, 81.

Micarea sylvicola (Flot.) Vězda et V. Wirth.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 14, 29, 30, 34, 61, 66, 74, 79, 81.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11.

**Muellerella lichenicola* (Sommerf.) D. Hawksw.
Localisation de l'observation : Champignon lichénicole, sur le thalle de plusieurs lichens à thalle crustacé : *Ionaspis*, *Rhizocarpon*, *Porpidia*.
Répartition connue : 01, 05, 07, 13, 15, 30, 34, 39, 41, 48, 62, 66, 74, 83, 84, 85.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11, 65, 81.

**Muellerella pygmaea* (Körb.) D. Hawksw.
Localisation de l'observation : Champignon lichénicole, sur le thalle de plusieurs lichens à thalle crustacé : *Rhizocarpon*, *Porpidia*.
Répartition connue : 04, 05, 06, 13, 15, 2A, 2B, 26, 30, 34, 48, 57, 65, 66, 73, 74, 83, 84.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11, 65, 81, 88.

Opegrapha lutulenta Nyl.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 30, 34, 64, 66, 81, 83.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 65.

**Opegrapha reactiva* (Alstrup et D. Hawksw.) Etayo et Diederich
Localisation de l'observation : Champignon lichénicole mésohydrophile, sur le thalle de *Ionaspis lacustris*.
Répartition connue : 30.
Nouvelle(s) localité(s) : 65, 66.

Parmelina atricha (Nyl.) P. Clerc.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 66.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11, 65, 81.

Parmelina pastillifera (Harm.) Hale
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 03, 04, 07, 15, 16, 19, 2A, 2B, 22, 23, 30, 31, 34, 39, 42, 48, 54, 55, 62, 74, 77, 83, 84.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11, 12, 64, 65, 81.

Parmotrema reticulatum (Taylor) M. Choisy
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 06, 14, 17, 20, 2A, 22, 27, 29, 30, 34, 35, 41, 44, 50, 56, 57, 61, 64, 65, 66, 72, 74S, 76, 77, 79, 83, 85, 86, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 81.

Peltigera horizontalis (Huds.) Baumg.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 05, 06, 07, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 19, 2A, 2B, 22, 27, 29, 30, 33, 34, 35, 38, 39, 41, 43, 44, 46, 48, 49, 50, 53, 54, 56, 57, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 72, 73, 74, 76, 77, 79, 83, 84, 85, 88.

Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11, 81.

Peltigera praetextata (Flörke ex Sommerf.) Zopf
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 01, 05, 06, 07, 08, 10, 12, 15, 19, 2A, 2B, 22, 29, 30, 33, 34, 38, 39, 40, 41, 46, 48, 54, 55, 56, 57, 61, 63, 64, 66, 67, 68, 70, 73, 74, 77, 83, 88, 90.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11, 31, 35, 50, 81.

Peltigera venosa (L.) Hoffm.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 05, 06, 07, 12, 29, 30, 34, 38, 43, 48, 57, 63, 64, 65, 66, 72, 73, 74, 76, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 30, 11, 81.

Phaeophyscia endococcina (Körb.) Moberg
Localisation de l'observation : PILA.
Répartition connue : 05, 15, 66, 73, 74.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 64, 65.

Phaeophyscia nigricans (Flörke) Moberg
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 01, 05, 06, 07, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 2A, 21, 22, 25, 27, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 44, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 61, 62, 64, 65, 66, 68, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 81, 83, 84, 85, 86, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 9.

Phaeophyscia sciastra (Ach.) Moberg
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 07, 12, 2B, 34, 54, 57, 63, 64, 65, 66, 73, 74, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11, 31.

**Phaeospora rimosicola* (Leight. ex Mudd) Hepp
Localisation de l'observation : Champignon lichénicole, sur le thalle de *Rhizocarpon lavatum*.
Répartition connue : 2B, 59, 65, 66, 87.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 64.

Physcia caesia (Hoffm.) Fürnr. v. caesia
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 05, 06, 07, 09, 12, 2A, 2B, 22, 29, 30, 31, 34, 38, 39, 42, 43, 44, 48, 54, 55, 57, 62, 64, 65, 66, 67, 73, 74, 77, 85, 88..
Nouvelle(s) localité(s) : 11, 50, 81.

Physcia dubia (Hoffm.) Lettau
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 05, 06, 07, 10, 12, 15, 2A, 2B, 22, 29, 30, 34, 38, 39, 40, 41, 43, 48, 64, 65, 66, 73, 74, 77, 83, 84.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11, 35, 50, 81.

Physcia tenella (Scop.) DC. ssp. *tenella*
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 05, 06, 07, 08, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 2A, 2B, 21, 22, 23, 25, 27, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37H, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 61, 62, 63, 64, 66, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 81, 83, 84, 85.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 65.

Physconia grisea (Lam.) Poelt ssp. grisea
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 06, 07, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 2B, 26, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 38, 42, 43, 48, 54, 55, 56, 57, 61, 62, 63, 66, 67, 68, 70, 74, 75, 77, 78, 81, 83, 84, 85, 86, 87, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 05, 09, 50.

Placidiopsis crassa (Anzi) Clauzade et Cl. Roux
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 20, 30, 34, 83, 87.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 81.

Placynthium flabellosum (Tuck.) Zahlbr.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 06, 09, 30, 34, 48, 66, 74, 83.
Nouvelle(s) localité(s) : 31, 50, 64, 65.

Placynthium nigrum (Huds.) Gray
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 01, 04, 05, 06, 07, 10, 11, 12, 13, 14, 18, 20, 26, 27, 29, 30, 33, 34, 38, 39, 41, 48, 49, 54, 55, 56, 57, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 73, 74, 76, 77, 79, 82, 83, 84, 85, 86, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 35, 50, 81.

Placynthium pannariellum (Nyl.) H. Magn.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 06, 09, 12, 34, 65, 72.
Nouvelle(s) localité(s) : 31, 64.

Placynthium rosulans (Th. Fr.) Zahlbr.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : ?.
Nouvelle(s) localité(s) : 66.

Placynthium tantaleum (Hepp) Hue
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 06, 64, 73.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 65, 66.

Polyblastia peminosa (Nyl.) Zalbr.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : ?.
Nouvelle(s) localité(s) : 65.

Polyblastia quartzina Lynge
Localisation de l'observation : PILA.
Répartition connue : 66.
Nouvelle(s) localité(s) : 65.

**Polycoccum arnoldii* (Hepp) D. Hawksw.
Localisation de l'observation : Champignon lichénicole mésohydrophile, sur le thalle de *Sporastatia tudestinea*.
Répartition connue : 66, 67.

Polysporina simplex (Davies) Vězda
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 06, 07, 12, 13, 15, 19, 20, 22, 29, 30, 34, 35, 42, 43, 44, 48, 49, 50, 54, 55, 57, 63, 64, 65, 66, 67, 73, 74, 77, 79, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11, 31, 81.

Porina ahlesiana (Körb.) Zahlbr.
Localisation de l'observation : PSLA ou PILA.
Répartition connue : 83.
Nouvelle(s) localité(s) : 50.

Porina chlorotica (Ach.) Müll. Arg.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 07, 14, 15, 20, 29, 30, 34, 35, 49, 50, 57, 66, 74, 79, 83, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 64, 65, 81.

Porina guentheri (Flot.) Zahlbr.
Localisation de l'observation : PSLA et PILA.
Répartition connue : 07, 20, 66, 81.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 34, 65.

Porina interjungens (Nyl.) Zahlbr.
Localisation de l'observation : PILA.
Répartition connue : 07, 30, 34, 48, 81.
Nouvelle(s) localité(s) : 9.

Porina lectissima (Fr.) Zahlbr.
Localisation de l'observation : PSLA ou PILA.
Répartition connue : 07, 09, 14, 15, 20, 30, 34, 48, 49, 50, 61, 64, 66, 70, 81, 83.
Nouvelle(s) localité(s) : 50, 65.

Porina leptalea (Durieu et Mont.) A. L. Sm.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 06, 07, 17, 22, 29, 30, 33, 34, 41, 57, 62, 64, 74, 79, 81, 83.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 65.

Porocyphus coccodes (Flot.) Körb.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 07, 12, 34, 48, 66, 73, 79, 83.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 30, 81.

Porocyphus rehmicus (A. Massal.) Zahlbr.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 07, 15, 30, 34, 49, 66, 73, 76, 84.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 81.

Porpidia albocaerulescens (Wulfen) Hertel et Knoph v. *albocaerulescens*
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 12, 20, 29, 30, 50, 56, 61, 64.
Nouvelle(s) localité(s) : 65.

Porpidia cinereoatra (Ach.) Hertel et Knoph ssp. *cinereoatra*
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 07, 09, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 2A, 2B, 22, 29, 30, 33, 34, 35, 38, 41, 44, 48, 49, 50, 53, 56, 57, 59, 61, 64, 66, 67, 68, 72, 73, 74, 76, 77, 79, 81, 83, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 11, 31, 65.

Porpidia crustulata (Ach.) Hertel et Knoph
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 05, 06, 07, 13, 14, 15, 17, 19, 2A, 2B, 22, 29, 30, 34, 35, 42, 44, 48, 49, 50, 53, 54, 56, 57, 61, 63, 64, 66, 67, 68, 72, 73, 74, 76, 79, 83, 84, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11, 65, 81.

Porpidia hydrophila (Fr.) Hertel et A. J. Schwab
Localisation de l'observation : PILA.
Répartition connue : 07, 08, 09, 34, 66, 81, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 31, 64, 65.

Porpidia macrocarpa (DC.) Hertel et A. J. Schwab
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 06, 07, 10, 12, 14, 15, 17, 2A, 22, 29, 30, 34, 35, 38, 44, 48, 49, 50, 53, 56, 57, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 72, 73, 74, 75, 76, 79, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 81.

Porpidia ochrolemma (Vain.) Brodo et R. Sant.
Localisation de l'observation : PILA.
Répartition connue : 66, 74.
Nouvelle(s) localité(s) : 65, 64.

Porpidia rugosa (Taylor) Coppins et Fryday
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 07, 09, 15, 30, 34, 38, 64, 66, 73, 74, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 35, 50, 65, 81.

Porpidia tuberculosa (Sm.) Hertel et Knoph
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 07, 15, 2A, 2B, 22, 29, 30, 34, 48, 57, 64, 66, 68, 77, 83, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11, 35, 50, 65, 81.

Protoblastenia rupestris (Scop.) J. Steiner ssp. *rupestris*
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 01, 04, 05, 06, 07, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 2B, 26, 27, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 38, 39, 40, 41, 44, 48, 49, 50, 53, 54, 55, 56, 57, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 69, 72, 73, 74, 76, 77, 79, 83, 84, 85.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 81, 88.

Pterygiopsis concordatula (Nyl.) P. M. Jørg.
Localisation de l'observation : PILA.
Répartition connue : 73, 87.
Nouvelle(s) localité(s) : 64, 65.

Punctelia borreri (Sm.) Krog

Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 06, 07, 10, 11, 19, 20, 22, 30, 31, 33, 34, 38, 46, 57, 63, 64, 66, 75, 77, 79, 83, 84, 85.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 50, 81, 88.

Punctelia reddenda (Stirt.) Krog
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 14, 22, 29, 50, 56, 64, 66, 72, 77, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 35, 65.

**Pyrenidium actinellum* Nyl. (coll.)
Localisation de l'observation : champignon lichénicole sur le thalle de plusieurs lichens hydrophiles à thalle crustacé : *Porpidia*, *Ionaspis*.
Répartition connue : 13, 34.
Nouvelle(s) localité(s) : 65, 81, 66.

**Pyrenidium hetairizans* (Leight.) D. Hawksw. (coll.)
Localisation de l'observation : champignon lichénicole sur le thalle de plusieurs lichens hydrophiles à thalle crustacé : *Porpidia*, *Verrucaria*.
Répartition connue : 34, 66, 81.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 65.

Pyrenopsis conferta (Bornet) Nyl.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 06, 30, 34, 66, 74, 77.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 35, 50, 81.

Pyrenopsis sanguinea Anzi
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 34, 50.
Nouvelle(s) localité(s) : 64, 65, 66.

Pyrenopsis subareolata Nyl.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 07, 14, 20, 30, 34, 48, 50, 66, 83, 85.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 35, 65, 81.

Rhizocarpon amphibium (Fr.) Th. Fr.
Localisation de l'observation : PSLA et PILA.
Répartition connue : 09, 66, 74.
Nouvelle(s) localité(s) : 64, 65.

Rhizocarpon badioatrum (Flörke ex Spreng.) Th. Fr. v. *badioatrum*
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 14, 15, 20, 2A, 27, 29, 34, 44, 48, 50, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 73, 74, 77, 79, 85, 88, 90.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31.

Rhizocarpon badioatrum v. vulgare Körb.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 07, 30, 48, 68, 74, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 64, 65.

Rhizocarpon disporum (Naeg. ex Hepp) Müll. Arg.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 06, 07, 09, 33, 34, 42, 64, 65, 66, 73, 74, 77.
Nouvelle(s) localité(s) : 04, 31.

Rhizocarpon furfurosum H. Magn. et Poelt
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 09, 34, 66.
Nouvelle(s) localité(s) : 31, 64, 65.

Rhizocarpon geminatum Körb.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 06, 07, 09, 12, 15, 2B, 30, 31, 33, 34, 54, 61, 63, 65, 66, 72, 73, 74, 75, 79, 85.
Nouvelle(s) localité(s) : 64, 81.

Rhizocarpon geographicum (L.) DC. ssp. *geographicum*
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 05, 06, 07, 09, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 2A, 2B, 22, 27, 29, 30, 33, 34, 35, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 46, 48, 49, 50, 53, 54, 56, 57, 63, 64, 65, 66, 68, 69, 72, 73, 74, 76, 77, 79, 83, 84, 85, 88, 90.
Nouvelle(s) localité(s) : 11, 31, 81.

Rhizocarpon lavatum (Fr.) Hazsl.
Localisation de l'observation : PILA.
Répartition connue : 05, 07, 10, 12, 15, 20, 30, 31, 34, 48, 54, 57, 64, 66, 67, 68, 73, 74, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11, 35, 50, 65, 81.

Rhizocarpon lecanorinum Anders
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 07, 09, 15, 20, 22, 30, 34, 38, 42, 43, 48, 63, 64, 66, 68, 73, 74, 77, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 35, 50, 65, 81.

Rhizocarpon oederi (Weber) Körb.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 07, 09, 14, 15, 22, 29, 30, 31, 34, 61, 64, 68, 72, 74, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 65, 66, 81.

Rhizocarpon petraeum (Wulfen) A. Massal.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 05, 06, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 22, 29, 30, 34, 35, 38, 44, 48, 49, 50, 53, 54, 56, 57, 61, 64, 65, 66, 72, 73, 74, 76, 79, 84, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 81.

Rhizocarpon polycarpum (Hepp) Th. Fr.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 07, 12, 15, 20, 30, 34, 38, 48, 63, 64, 66, 68, 73, 74, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 65, 81.

Rhizocarpon postumum (Nyl.) Arnold

Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 20, 74, 77.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 65, 81.

Rhizocarpon reductum Th. Fr.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 07, 09, 14, 15, 16, 17, 2, 22, 27, 29, 30, 34, 35, 38, 41, 43, 44, 48, 49, 50, 53, 55, 56, 63, 64, 66, 68, 72, 73, 74, 76, 77, 79, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 11, 65, 81.

Rhizocarpon subgeminatum Eitn.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 07, 34, 57, 65, 66, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 65, 81.

Rinodina aspersa (Borrer) J. R. Laundon ssp. aspersa
Localisation de l'observation : PSLA ou PILA.
Répartition connue : 29, 34, 48, 50, 56, 66, 84, 85.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 64, 65, 81.

Rinodina aspersa ssp. *atrocinerea* (Hook) Cl. Roux
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 07, 09, 10, 14, 15, 20, 22, 30, 34, 50, 56, 61, 64, 66, 68, 72, 73, 74, 77, 79, 83, 85, 86, 87, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 35, 65, 81.

Rinodina confragosa (Ach.) Körb.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 06, 07, 12, 14, 20, 2B, 29, 30, 34, 50, 57, 61, 64, 65, 66, 68, 73, 74, 79, 83, 84, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 81.

Rinodina fimbriata Körb.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 07, 12, 63, 66, 75, 81, 87, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 30, 64, 65.

Rinodina milvina (Wahlenb.) Th. Fr.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 06, 09, 15, 20, 2B, 30, 34, 48, 49, 54, 57, 61, 63, 64, 65, 66, 73, 74, 79, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 81.

Rinodina oxydata (A. Massal.) A. Massal.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 07, 12, 14, 17, 30, 34, 48, 61, 65, 66, 73, 74, 76, 79, 83, 86, 87.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 35, 50, 64, 81.

Rinodina teichophila (Nyl.) Arnold
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 06, 07, 15, 2A, 30, 34, 38, 66, 72, 77, 83, 87, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 50, 81.

**Roselliniella microthelia* (Wallr.) Nik. Hoffm. et Hafellner
Localisation de l'observation : Champignon lichénicole sur le thalle de *Trapelia glebulosa*.
Répartition connue : 29, 34, 35, 81.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 66.

Sarcogyne clavus (DC.) Kremp.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 07, 12, 14, 20, 22, 29, 30, 34, 44, 48, 49, 61, 64, 66, 74, 84, 85.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11, 81.

Scoliciosporum umbrinum (Ach.) Arnold
Localisation de l'observation : PSLA ou PILA.
Répartition connue : 07, 12, 15, 20, 27, 30, 33, 34, 39, 41, 48, 49, 50, 54, 57, 61, 64, 66, 72, 74, 77, 79, 84, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11, 35, 65, 81.

Spilonema revertens Nyl.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 06, 07, 29, 30, 34, 66, 74, 79, 83.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 35, 50, 81.

Sporastatia testudinea (Ach.) A. Massal.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 05, 06, 07, 15, 20, 2B, 38, 48, 64, 65, 66, 68, 73, 74, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31.

Sporodictyon cruentum (Körb.) Körb.
Localisation de l'observation : PSLA et PILA.
Répartition connue : 20, 30, 34, 66, 73, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 65.

Staurothele areolata (Ach.) Lettau
Localisation de l'observation : CE.
Répartition connue : 04, 05, 06, 12, 30, 34, 64, 65, 73, 74.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 66.

Staurothele clopima (Wahlenb.) Th. Fr. non auct.
Localisation de l'observation : PILA.
Répartition connue : 66, 74.
Nouvelle(s) localité(s) : 64, 65.

Staurothele clopimoides (Arnold) J. Steiner
Localisation de l'observation : CE.
Répartition connue : 05, 64, 66, 73, 74.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 64, 65.

Staurothele fissa (Taylor) Zwackh
Localisation de l'observation : PILA.
Répartition connue : 05, 07, 12, 15, 20, 30, 34, 48, 49, 64, 65, 66, 72, 73, 74, 79.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 35, 50, 81.

Staurothele fuliginea Zwackh
Localisation de l'observation : PILA.

Répartition connue : 66.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 64, 65.

Staurothele hazslinszkyi (Körb.) Blomb. et Forssell
Syn : *Staurothele fissa*.

Staurothele lesdainiana Clauzade et Cl. Roux
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 43.
Nouvelle(s) localité(s) : 66.

Staurothele solvens (Anzi) Zschacke v. solvens
Localisation de l'observation : PSLA et PILA.
Répartition connue : 64, 73.
Nouvelle(s) localité(s) : 65, 66.

Staurothele viridis Zschacke
Localisation de l'observation : CE.
Répartition connue : 66.
Nouvelle(s) localité(s) : 65.

**Stigmidium hygrophilum* (Arnold) R. Sant.
Localisation de l'observation : Champignon lichénicole, sur le thalle de plusieurs lichens hydrophiles à thalle crustacé : *Verrucaria*, *Porpidia*, *Ionaspis*.
Répartition connue : 07, 30, 34, 48, 66, 81.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 35, 50, 65, 81.

**Stigmidium rivulorum* (Kernst.) Roux et Nav.-Ros.
Localisation de l'observation : Champignon lichénicole, sur le thalle de *Verrucaria indéterminé*.
Répartition connue : ?.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 65, 81.

**"Pharcidia" verrucariarum* (Arn.) Sacc. Et Sacc.
Localisation de l'observation : Champignon lichénicole, sur le thalle de *Verrucaria margacea*.
Répartition connue : ?.
Nouvelle(s) localité(s) : 65.

Tephromela atra (Huds.) Hafellner v. atra
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 01, 04, 05, 06, 07, 09, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 2A, 22, 27, 29, 30, 34, 35, 38, 39, 42, 44, 46, 48, 49, 50, 53, 54, 56, 57, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 72, 73, 74, 76, 77, 79, 83, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 11, 31, 81.

Thelidium aethioboloides Zschacke non (Nyl.) Vain.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 73.
Nouvelle(s) localité(s) : 9.

Thelidium fontigenum A. Massal.
Localisation de l'observation : PSLA et PILA.
Répartition connue : 34, 48, 66, 73.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 81.

Thelidium inundatum Zschacke
Localisation de l'observation : PSLA et PILA.
Répartition connue : ?.
Nouvelle(s) localité(s) : 65.

Thelidium methorium (Nyl.) Hellb.
Localisation de l'observation : CE.
Répartition connue : 30, 64, 66, 73, 74.
Nouvelle(s) localité(s) : 05, 09, 31, 34, 65, 81.

Thelidium papulare (Fr.) Arnold
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 01, 05, 06, 12, 30, 34, 39, 50, 64, 66, 73, 74, 76, 84.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 65.

Thelidium zwackhii (Hepp) A. Massal.
Localisation de l'observation : CE.
Répartition connue : 05, 33, 39, 65, 66.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31.

Trapelia coarctata (Sm.) M. Choisy
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 06, 07, 10, 12, 14, 16, 17, 19, 22, 27, 29, 30, 33, 34, 35, 38, 44, 48, 49, 50, 53, 54, 56, 57, 61, 63, 64, 66, 67, 68, 72, 73, 74, 76, 77, 79, 83, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11, 31, 65, 81.

Trapelia glebulosa (Sm.) J. R. Laundon
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 07, 09, 15, 20, 22, 29, 30, 34, 41, 42, 43, 44, 48, 50, 57, 64, 66, 67, 74, 77, 79, 83, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 35, 65, 81.

Tremolecia atrata (Ach.) Hertel
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 06, 07, 09, 15, 20, 30, 31, 34, 48, 61, 64, 66, 68, 73, 74, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 65, 81.

Vahliella leucophaea (Vahl) P. M. Jørg.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 07, 12, 14, 20, 29, 30, 34, 35, 48, 49, 57, 64, 66, 68, 74, 79.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 50, 65, 81.

Verrucaria aethiobola Wahlenb.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 07, 08, 12, 15, 20, 29, 30, 34, 38, 43, 48, 50, 54, 57, 61, 66, 73, 74, 79, 81, 83, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 35, 64, 65.

Verrucaria aquatilis Mudd
Localisation de l'observation : CE.

Répartition connue : 05, 07, 22, 29, 34, 39, 64, 66, 74, 79.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 65, 81.

Verrucaria elaeomelaena (A. Massal.) Arnold
Localisation de l'observation : CE.
Répartition connue : 34, 41, 59, 64, 68, 84, 88..
Nouvelle(s) localité(s) : 05, 09, 65.

Verrucaria funckii (Spreng.) Zahlbr.
Localisation de l'observation : CE.
Répartition connue : 07, 09, 20, 30, 34, 48, 66, 73, 81, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 05, 31, 64, 65.

Verrucaria hydrela Ach. (coll.)
Localisation de l'observation : PSLA et PILA.
Répartition connue : 05, 07, 12, 20, 22, 29, 30, 34, 39, 41, 48, 50, 54, 61, 64, 65, 66, 73, 79, 81, 83, 84, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11, 35.

Verrucaria latebrosa Körb.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 66, 73, 74.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 65.

Verrucaria madida Orange
Localisation de l'observation : CE.
Répartition connue : 15, 34.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31.

Verrucaria margacea (Wahlenb.) Wahlenb. (coll.)
Localisation de l'observation : CE.
Répartition connue : 05, 06, 07, 14, 20, 29, 30, 34, 35, 48, 49, 50, 57, 64, 66, 73, 74, 83, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11, 65, 81.

Verrucaria muralis Ach.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 05, 06, 07, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 22, 27, 29, 30, 34, 35, 38, 39, 41, 43, 44, 46, 48, 49, 50, 53, 54, 55, 56, 57, 61, 62, 63, 64, 66, 67, 68, 72, 73, 74, 76, 77, 79, 81, 83, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 65.

Verrucaria nigrescens Pers. v. *nigrescens*
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 04, 05, 06, 07, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 2A, 2B, 22, 26, 27, 29, 30, 31, 34, 35, 38, 39, 41, 44, 46, 48, 49, 50, 54, 55, 56, 57, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 72, 73, 74, 76, 77, 79, 81, 83, 84, 85, 86, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 9.

Verrucaria nigrescens v. *laeviuscula* Nyl.
Localisation de l'observation : PILA.
Répartition connue : 09, 43, 87.
Nouvelle(s) localité(s) : 30, 48, 66, 81.

Verrucaria pachyderma Arnold
Localisation de l'observation : CE.
Répartition connue : 05, 06, 34, 48, 64, 66, 73, 74.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 65.

Verrucaria praetermissa (Trev.) Anzi
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 07, 08, 12, 30, 34, 39, 43, 48, 66, 81, 83.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11, 31, 64, 65, 88.

Verrucaria submersella Servít
Localisation de l'observation : CE.
Répartition connue : 66.
Nouvelle(s) localité(s) : 65.

Xanthoparmelia angustiphylla (Gyeln.) Hale
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 30, 34, 66.
Nouvelle(s) localité(s) : 81.

Xanthoparmelia conspersa (Ehrh. ex Ach.) Hale
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 05, 06, 07, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 2A, 2B, 22, 27, 29, 30, 33, 34, 35, 38, 42, 43, 44, 48, 49, 50, 53, 54, 56, 57, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 72, 73, 74, 76, 77, 79, 83, 84, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 11, 31, 81.

Xanthoparmelia loxodes O. Blanco, A. Crespo, Elix, D. Hawksw. et Lumbsch
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 07, 09, 12, 14, 15, 2A, 2B, 22, 29, 30, 33, 34, 38, 41, 42, 43, 48, 49, 50, 56, 57, 61, 63, 64, 65, 66, 68, 73, 77, 79, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 31, 35, 81.

Xanthoparmelia mougeotii (Schaer. ex Dietr.) Hale
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 06, 07, 11, 14, 19, 20, 22, 29, 34, 35, 44, 49, 50, 57, 61, 64, 66, 71, 72, 77, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 65, 81.

Xanthoparmelia pulla (Ach.) O. Blanco, A. Crespo, Elix, D. Hawksw. et Lumbsch ssp. pulla v. pulla
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 01, 05, 06, 07, 12, 14, 15, 16, 17, 2A, 2B, 22, 27, 29, 30, 33, 34, 35, 38, 41, 42, 43, 44, 48, 50, 53, 56, 57, 61, 63, 64, 66, 68, 69, 72, 73, 74, 76, 77, 79, 85, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31, 65, 81.

Xanthoparmelia stenophylla (Ach.) Ahti et D. Hawksw.
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 03, 04, 05, 06, 07, 12, 2A, 2B, 30, 34, 38, 41, 42, 43, 48, 54, 57, 63, 66, 67, 68, 72, 73, 74, 77, 83, 84, 85, 88..
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 81.

Xanthoparmelia tinctina (Maheu et A. Gillet) Hale
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 06, 07, 13, 2A, 2B, 30, 34, 48, 57, 66, 77, 83, 84, 85.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 81.

Xanthoria elegans (Link.) Th. Fr. ssp. *elegans* v. *elegans*
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 01, 04, 05, 06, 07, 10, 12, 14, 15, 2B, 30, 34, 38, 39, 42, 48, 49, 54, 55, 57, 61, 64, 65, 66, 68, 73, 74, 77, 84, 88.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 31.

Xanthoria parietina (L.) Th. Fr. ssp. *parietina*
Localisation de l'observation : PSLA.
Répartition connue : 01, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 2A, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 46, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 61, 62, 63, 64, 66, 67, 68, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79.
Nouvelle(s) localité(s) : 09, 65.

Liste des stations prospectées

Pour chaque station visitée il est indiqué : le numéro chronologique des relevés pris en compte, le numéro de terrain, le département, le nom du site, le nom du cours d'eau, la commune, le lieu dit et la date du relevé.

1. 1 : Tarn, vallée de l'Agoût, dans l'Agoût, commune de Burlats, au lieu-dit Le Carla, 4/02/2003.
2. 2 : Gard, commune de Dourbies, dans la Dourbies ; le 7/10/2005.
3. 2bis : Tarn, vallée de l'Agoût, dans l'Agoût, commune de Burlats, au lieu-dit Le Carla, 25/02/2003.
4. 3 : Tarn, travers de Saint-Martial, dans l'Agoût, commune de Castres, au lieu dit chemin des Fontaines, 26/02/2003.
5. 4 : Tarn, gorges du Banquet, dans l'Arn, commune du Pont-de-l'Arn, au lieu dit Pont-des-Gorges, sous le pont des gorges de la D65, 28/02/2003.
6. 5 : Tarn, gorges du Banquet, dans l'Arn, commune du Pont-de-l'Arn, au lieu dit Pont-des-Gorges, sous le pont des gorges de la D65, 28/02/2003.
7. 6 : Tarn, vallée de l'Agoût, dans l'Agoût, commune de Burlats, au lieu dit Le Carla, environ 400m en amont de la passerelle du Carla, rive droite, 01/03/2003.
8. 7 : Tarn, vallée de l'Agoût, dans l'Agoût, commune de Burlats, au lieu dit Le Carla, environ 200m en amont de la passerelle du Carla, rive droite, 01/03/2003.
9. 8 : Tarn, Augmontel, ruisseau de la Mangararié, commune d'Augmontel, au lieu-dit pont de la D110, 28/11/2003.
10. 9 : Tarn, gorges du Banquet, dans l'Arn, commune du Pont-de-l'Arn, au lieu-dit Pont-des-Gorges, 03/03/2003.
11. 11 : Tarn, Gorges de l'Arn, dans l'Arn, commune du Pont-de-l'Arn, au lieu-dit Pont-des-Gorges, environ 100 m après le pont des Gorges de la D65, 06/03/2003.
12. 12 : Tarn, Gorges de l'Arn, dans l'Arn, commune du Pont-de-l'Arn, au lieu dit Pont-des-gorges, 06/03/2003.
13. 13 : Tarn, Gorges de l'Arn, dans l'Arn, commune du Pont-de-l'Arn, au lieu dit Pont-des-Gorges, 06/03/2003.
14. 13bis : Tarn, Gorges de l'Arn, dans l'Arn, commune du Pont-de-l'Arn, au lieu dit Pont-des-Gorges, 06/03/2003.
15. 16 : Tarn, vallée du Gijou, Pont-de-Sénégats, dans le Gijou, commune de Lacaze, au lieu-dit Cascade de la Janié, 03/07/2003.
16. 17 : Tarn, vallée du Gijou, Pont-de-Sénégats, dans le Gijou, commune de Lacaze, au lieu-dit Cascade de la Janié, 03/07/2003.

17. 18 : Tarn, Augmontel, ruisseau de la Mangararié, commune d'Augmontel, au lieu-dit pont de la D110, 28/11/2003.
18. 18bis : Aveyron, commune de Saint-Jean-du-Bruel, au moulin Bondon, sur les rives de la Dourbies, 300 m en aval de la retenue, le 1/09/2006.
19. 19 : Aveyron, commune de Saint-Jean-du-Bruel, au moulin Bondon, sur les rives de la Dourbies, 200 m en aval de la retenue, le 1/09/2006.
20. 20 : Tarn, forêt de la Grésigne, ruisseau de Rô, commune de Sainte-Cécile-du-Cayrou, au lieu-dit travers de Serres, 05/11/2003.
21. 21 : Tarn, forêt de la Grésigne, ruisseau de Merdaoussou, commune de Puycelci, au lieu-dit Pech du Midi, 05/11/2003.
22. 22 : Tarn, pont vert de la D55 en direction de Vabre, Agoût, commune de Roquecourbe, au lieu-dit pont de la D55, 29/11/2003.
23. 23 : Tarn, forêt de la Grésigne, ruisseau de Merdaoussou, commune de Puycelci, au lieu-dit Pech-du-Midi, 05/11/2003.
24. 24 : Tarn, vallée de l'Agoût, Agoût, commune de Burlats, au lieu dit Garot, 06/11/2003.
25. 26 : Tarn, pont vert de la D55 en direction de Vabre, Agoût, commune de Roquecourbe, au lieu-dit Blaucavet, 29/11/2003.
26. 27 : Gard, basse Cévenne, Sénéchas, dans la Cèze, au lieu dit Moulin du Roure, 12/04/2004.
27. 28 : Gard, basse Cévenne, Sénéchas, dans la Cèze, au lieu dit Moulin du Roure, 12/04/2004.
28. 29 : Gard, basse Cévenne, Sénéchas, dans la Cèze, au lieu dit Moulin du Roure, 12/04/2004.
29. 37 : Lozère, basse Cévenne, Vialas, dans le Luech, au lieu dit La Salle, 14/04/2004.
30. 38 : Lozère, basse Cévenne, Vialas, dans le Luech, au lieu dit La Salle, 14/04/2004.
31. 39 : Lozère, basse Cévenne, Vialas, dans le Luech, au lieu dit La Salle, 14/04/2004.
32. 45 : Ariège ; Plateau de Beille ; Aston ; Serre haute de très bénous ; dans un petit ruisseau de montagne ; 22/08/2004.
33. 46 : Ariège ; Plateau de Beille ; Aston ; Serre haute de très bénous ; dans un petit ruisseau de montagne ; 22/08/2004.
34. 47 : Ariège ; Plateau de Beille ; Aston ; Serre haute de très bénous ; dans un petit ruisseau de montagne ; 22/08/2004.
35. 49 : Ariège ; Les Monts d'Olmes ; Montferrier ; Bois de Moulzoune et Mine de Talc ; dans un petit ruisseau de montagne ; 23/08/2004.

36. 51 : Ariège ; Les Monts d'Olmes ; Montferrier ; Bois de Moulzoune et Mine de Talc ; dans un petit ruisseau de montagne ; 23/08/2004.
37. 52 : Ariège ; Merens-les-Vals ; Merens-les-Vals ; Merens village ; Ruisseau du Nabre ; 24/08/2004.
38. 53 : Ariège ; Merens-les-Vals ; Merens-les-Vals ; Merens village ; Ruisseau du Nabre ; 24/08/2004.
39. 54 : Ariège ; Merens-les-Vals ; Merens-les-Vals ; Merens village ; Ruisseau du Nabre ; 24/08/2004.
40. 56 : Ariège ; Vallée de l'Arac ; Suc-et-Sentenac ; Cascades de Biert ; dans le ruisseau de Biert ; 25/08/2004.
41. 57 : Ariège ; Vallée de l'Arac ; Suc-et-Sentenac ; Cascades de Biert ; dans le ruisseau de Biert ; 25/08/2004.
42. 58 : Ariège ; Vallée de l'Arac ; Suc-et-Sentenac ; Cascades de Biert ; dans le ruisseau de Biert ; 25/08/2004.
43. 59 : Ariège ; Vallée de l'Aston ; Aston ; au bord de la D520A ; dans l'Aston ; 26/08/2004.
44. 60 : Ariège ; Vallée de l'Aston ; Aston ; au bord de la D520A ; dans l'Aston ; 26/08/2004.
45. 61 : Ariège ; Vallée de l'Aston ; Aston ; au bord de la D520A ; dans l'Aston ; 26/08/2004.
46. 62 : Ariège ; Vallée de l'Aston ; Aston ; au bord de la D520A ; dans l'Aston ; 26/08/2004.
47. 63 : Ariège ; Vallée de l'Arac ; Soulan ; Castet-d'Aleu ; dans l'Arac ; 27/08/2004.
48. 64 : Ariège ; Vallée de l'Arac ; Soulan ; Castet-d'Aleu ; dans l'Arac ; 27/08/2004.
49. 66 : Ariège ; Vallée de l'Arac ; Soulan ; Castet-d'Aleu ; dans l'Arac ; 27/08/2004.
50. 67 : Gard, basse Cévenne, Sénéchas, dans la Cèze, Moulin du Roure, 14/06/2004.
51. 69 : Gard, basse Cévenne, Chambon, sous le pont du village, 15/06/2004.
52. 70 : Gard, basse Cévenne, Chambon, sous le pont du village, 15/06/2004.
53. 71 : Lozère, basse Cévenne, Saint-Martin-de-Boubaux, Croisement de Roubardel, 20/11/2004.
54. 72 : Lozère, basse Cévenne, Saint-Martin-de-Boubaux, Croisement de Roubardel, 20/11/2004.
55. 73 : Lozère, basse Cévenne, Saint-Martin-de-Boubaux, Vieux pont de Pomeirols, 20/11/2004.
56. 74 : Lozère, basse Cévenne, Saint-Martin-de-Boubaux, Croisement de Roubardel, 20/11/2004.

57. 79 : Lozère, basse Cévenne, Saint-Germain-de-Calberte, La Bastide, Ruisseau de la Bastide, 20/11/2004.

58. 80 : Lozère, basse Cévenne, Saint-Germain-de-Calberte, La Bastide, Ruisseau de la Bastide, 20/11/2004.

59. 82 : Lozère, basse Cévenne, Saint-Étienne-Vallée-Française, La Roquette, Combe au bord de route, 20/11/2004.

60. 84 : Gard, basse Cévenne, Sénéchas, dans la Cèze, au lieu dit Moulin du Roure, 14/06/2004.

61. 101 : Ardèche, commune de Saint-Julien-du-Serre, dans la rivière le Sandron ; le 14/02/2005.

62. 102 : Ardèche, commune de Saint-Julien-du-Serre, dans la rivière le Sandron ; le 14/02/2005.

63. 103 : Ardèche, commune de Saint-Julien-du-Serre, dans la rivière le Sandron ; le 14/02/2005.

64. 104 : Ardèche, commune de Saint-Julien-du-Serre, dans la rivière le Sandron ; le 14/02/2005.

65. 105 : Ardèche, commune de Saint-Julien-du-Serre, dans la rivière le Sandron ; le 14/02/2005.

66. 106 : Ardèche, commune de Malbosc ; dans la rivière la Ganière, plaine d'Abeau, au niveau de la confluence avec le ruisseau d'Abeau et de la Ganière ; le 15/02/2005.

67. 107 : Ardèche, commune de Malbosc ; dans la rivière la Ganière, plaine d'Abeau, au niveau de la confluence avec le ruisseau d'Abeau et de la Ganière ; le 15/02/2005.

68. 108 : Ardèche, commune de Malbosc ; dans la rivière la Ganière, plaine d'Abeau, au niveau de la confluence avec le ruisseau d'Abeau et de la Ganière ; le 15/02/2005.

69. 109 : Ardèche, commune de Malbosc ; dans la rivière la Ganière, plaine d'Abeau, au niveau de la confluence avec le ruisseau d'Abeau et de la Ganière ; le 15/02/2005.

70. 110 : Ardèche, commune de Malbosc, dans le ruisseau d'Abeau, 150 m en amont de la ferme d'Abeau, le 15/02/2005.

71. 111 : Ardèche, commune de Joannas, dans le ruisseau le Riou, sous le pont du hameau de Berty ; 16/02/2006.

72. 112 : Ardèche, commune de Joannas, dans le ruisseau le Riou, sous le pont du hameau de Berty ; 16/02/2006.

73. 113 : Ardèche, commune de Joannas, dans le ruisseau le Riou, à 50 m en amont du pont du hameaude Berty, 16/02/2006.

74. 114 : Ardèche, commune de Joannas, dans la rivière Ligne, au lieu dit Moulin de Chabert, 16/02/2005.

75. 115 : Ardèche, commune de Saint-Julien-du-Serre, dans la rivière Oize, 250 m en amont du pont de la D256, 17/02/2005.

76. 116 : Ardèche, commune de Saint-Andréol-de-Vals, dans l'Oize, environ 500 m en aval du hameau de l'Oize, 17/02/2005.

77. 118 : Ardèche, commune de Sanilhac, dans le ruisseau des Pargues, 75 m en amont de l'embouchure dans la rivière Beaume, 18/02/2005.

78. 119 : Ardèche, commune de Sanilhac, dans le ruisseau des Pargues, 75 m en amont de l'embouchure dans la rivière Beaume, 18/02/2005.

79. 125 : Hérault, commune de Colombières-sur-Orb, au site du Pas-du-Ras, 25/12/2005.

80. 126 : Hérault, commune de Colombières-sur-Orb, au site du Pas-du-Ras , 25/12/2005.

81. 127 : Hérault, Massif du Caroux, commune de Rosis, site de « La salle à Manger du Rieutord », dans le ruisseau du Rieutord , 19/04/2008.

82. 128 : Hérault, Massif du Caroux, commune de Rosis, site de « La salle à Manger du Rieutord »,

83. 129 : Normandie, Commune de Mortain, Grande cascade, dans la Cance, environ 200 m en aval de la grande cascade ; 09/07/2008.

84. 130 : Normandie, Commune de Mortain, dans la Cance, au lieu dit Le moulin richard, 08/07/2008.

85. 131 : Normandie, Commune de Mortain, dans la Cance, au lieu dit Le moulin richard, 08/07/2008.

86. 132 : Normandie, Commune de Mortain, petite cascade, confluence du Cançon et de la Cance, 07/07/2008.

87. 133 : Normandie, Commune de Mortain, petite cascade, dans le Cançon, 07/07/2008.

88. 134 : Normandie, Commune de Mortain, petite cascade, dans le Cançon, 07/07/2008.

89. 135 : Normandie, Commune de Mortain, dans la Cance, au lieu dit Le moulin richard, 08/07/2008.

90. 136 : Normandie, Commune de Mortain, petite cascade, dans le Cançon, 100 m environ en amont de la confluence avec la Cance, 07/07/2008.

91. 137 : Normandie, Commune de Mortain, petite cascade, dans le Cançon, 100 m environ en amont de la confluence avec la Cance, 07/07/2008.

92. 138 : Normandie, Commune de Mortain, grande cascade, dans le Cance, 09/07/2008.

93. 139 : Normandie, Commune de Mortain, grande cascade, dans la Cance, 09/07/2008.

94. 140 : Normandie, Commune de Mortain, grande cascade, dans la Cance, 09/07/2008.

95. 141 : Normandie, Commune de Mortain, grande cascade, dans la Cance, 09/07/2008.

96. 142 : Normandie, Commune de Mortain, grande cascade, dans la Cance, 09/07/2008.

97. 143 : Pyrénées-Orientales, commune de Prats-De-Mollo-La-Preste, au lieu dit Les Estables (Ravin de Comall), dans la Parcigoule, 17/05/2007.

98. 144 : Pyrénées-Orientales, commune de Prats-De-Mollo-La-Preste, au lieu dit Les Estables (Cabane), dans la Parcigoule, 15/10/2007.

99. 145 : Pyrénées-Orientales, commune de Prats-De-Mollo-La-Preste, au lieu dit Les Estables (Cabane), dans la Parcigoule, 15/10/2007.

100. 146 : Pyrénées-Orientales, commune de Prats-De-Mollo-La-Preste, au lieu dit Les Estables (Cabane), dans la Parcigoule, 15/10/2007.

101. 147 : Pyrénées-Orientales, commune de Prats-De-Mollo-La-Preste, au lieu dit Les Estables (Cabane), dans la Parcigoule, 15/10/2007.

102. 148 : Pyrénées-Orientales, commune de Prats-De-Mollo-La-Preste, au lieu dit Les Estables (Cabane), dans la Parcigoule, 15/10/2007.

103. 149 : Pyrénées-Orientales, commune de Prats-De-Mollo-La-Preste, au lieu dit Les Estables (Cabane), dans la Parcigoule, 15/10/2007.

104. 150 : Pyrénées-Orientales, commune de Prats-De-Mollo-La-Preste, au lieu dit Les Estables (Cabane), dans un ruisseau annexe (clots), 15/10/2007.

105. 151 : Pyrénées-Orientales, commune de Prats-De-Mollo-La-Preste, au lieu dit Les Estables (Cabane), dans la Parcigoule, 15/10/2007.

106. 152 : Pyrénées-Orientales, commune de Prats-De-Mollo-La-Preste, au lieu dit Les Estables (Cabane), dans la Parcigoule, 15/10/2007.

107. 153 : Pyrénées-Orientales, commune de Prats-De-Mollo-La-Preste, au lieu dit Les Estables Bas (La Mouline) ; dans la Parcigoule, 11/04/2007.

108. 154 : Pyrénées-Orientales, commune de Prats-De-Mollo-La-Preste, au lieu dit Les Forquets (Ruisseau du Roc Nègre), 17/10/2007.

109. 155 : Pyrénées-Orientales, commune de Prats-De-Mollo-La-Preste, au lieu dit Les Forquets (Ruisseau du Roc Nègre), 17/10/2007.

110. 156 : Pyrénées-Orientales, commune de Prats-De-Mollo-La-Preste, au lieu dit L'Ortiga, dans l'Ortiga, 16/10/2007.

111. 157 : Pyrénées-Orientales, commune de Prats-De-Mollo-La-Preste, au lieu dit L'Ortiga, dans l'Ortiga, 16/10/2007.

112. 158 : Pyrénées-Orientales, commune de Prats-De-Mollo-La-Preste, au lieu dit la Soulanette dans la Soulanette, 16/10/2007.

113. 159 : Pyrénées-Orientales, commune de Prats-De-Mollo-La-Preste, au lieu dit Les Forquets (Ruisseau du Roc Nègre) ; 17/10/2007.

114. 160 : Pyrénées-Orientales, commune de Prats-De-Mollo-La-Preste, au lieu dit la Soulanette, dans la Soulanette, 16/10/2007.

115. 161 : Pyrénées-Orientales, commune de Prats-De-Mollo-La-Preste, au lieu dit Font Nègre, dans le ruisseau de Font Nègre, 16/10/2007.

116. 162 : Pyrénées-Orientales, commune de Prats-De-Mollo-La-Preste, au lieu dit l'Ortiga (ruisseau annexe), dans le ruisseau annexe de l'Ortiga, 16/10/2007.

117. 163 : Pyrénées-Orientales, commune de Jujols, ruisseau de Font-Frède, 08/10/2007.

118. 164 : Pyrénées-Orientales, commune de Jujols, ruisseau de Font-Frède, 08/10/2007.

119. 165 : Pyrénées-Orientales, commune de Jujols, ruisseau de Font-Frède, 08/10/2007.

120. 166 : Pyrénées-Orientales, commune de Jujols, ruisseau de Fontaine Grosse, 09/10/2007.

121. 167 : Pyrénées-Orientales, commune de Jujols, ruisseau de Fontaine Grosse, 09/10/2007.

122. 168 : Pyrénées-Orientales, commune de Mantet, Font des Soques, dans le ruisseau annexe sud de l'Alemany, 29/9/2008.

123. 169 : département des Pyrénées-Orientales, commune de Mantet, Réserve Naturelle de Mantet, Font des Soques, dans le ruisseau annexe sud de l'Alemany, 29/9/2008.

124. 170 : Pyrénées-Orientales, commune de Mantet, Font des Soques, dans le ruisseau annexe sud de l'Alemany, 29/9/2008.

125. 171 : Pyrénées-Orientales, commune de Mantet, Font des Soques, dans le ruisseau annexe nord de l'Alemany, 29/9/2008.

126. 172 : Pyrénées-Orientales, commune de Mantet, Font des Soques, dans le ruisseau annexe nord de l'Alemany, 29/9/2008.

127. 173 : Pyrénées-Orientales, commune de Mantet, Font des Soques, dans le ruisseau annexe nord de l'Alemany, 29/9/2008.

128. 174 : Pyrénées-Orientales, commune de Mantet, Vallée de l'Alemany, dans l'Alemany, 29/9/2008.

129. 175 : Pyrénées-Orientales, commune de Mantet, Vallée de l'Alemany, dans l'Alemany, 29/9/2008.

130. 176 : Pyrénées-Orientales, commune de Mantet, Vallée de l'Alemany, dans l'Alemany, 29/9/2008.

131. 177 : Pyrénées-Orientales, commune de Mantet, Réserve Naturelle de Mantet, Vallée de l'Alemany, dans l'Alemany, 29/9/2008.

132. 178 : Pyrénées-Orientales, commune de Mantet, Réserve Naturelle de Mantet, Vallée de l'Alemany, dans l'Alemany, 29/9/2008.

133. 179 : Pyrénées-Orientales, commune de Mantet, Vallée de l'Alemany, dans l'Alemany, 29/9/2008.

134. 180 : Pyrénées-Orientales, commune de Mantet, Vallée de l'Alemany, dans l'Alemany, 29/9/2008.

135. 181 : Pyrénées-Orientales, commune de Mantet, Vallée de l'Alemany, dans l'Alemany, 29/9/2008.

136. 182 : Pyrénées-Orientales, commune de Mantet, Réserve Naturelle de Mantet, Vallée de l'Alemany, dans l'Alemany, 29/9/2008.

137. 183 : Pyrénées-Orientales, commune de Py, Ravin du Cirereus, dans le Cirereus, 30/09/2008.

138. 184 : Pyrénées-Orientales, commune de Py, Ravin du Cirereus, dans le Cirereus, 30/09/2008.

139. 185 : Pyrénées-Orientales, commune de Py, Ravin du Cirereus, dans le Cirereus, 30/09/2008.

140. 186 : Pyrénées-Orientales, commune de Py, Ravin du Cirereus, dans le Cirereus, 30/09/2008.

141. 187 : Pyrénées-Orientales, commune de Py, Ravin du Cirereus, dans le Cirereus, 30/09/2008.

142. 188 : Pyrénées-Orientales, commune de Py, Ravin du Cirereus, dans le Cirereus, 30/09/2008.

143. 189 : Pyrénées-Orientales, commune de Py, Ravin de la Rotja, dans la Rotja, 30/09/2008.

144. 190 : Pyrénées-Orientales, commune de Py, Ravin de la Rotja, dans la Rotja, 30/09/2008.

145. 191 : Pyrénées-Orientales, commune de Py, Ravin de la Rotja, dans la Rotja, 30/09/2008.

146. 192 : Pyrénées-Orientales, commune de Py, Ravin de la Rotja, dans la Rotja, 30/09/2008.

147. 193 : Pyrénées-Orientales, commune de Mantet, vallée du Caret, dans le Caret, 01/10/2008.

148. 194 : Pyrénées-Orientales, commune de Mantet, vallée du Caret, dans le Caret, 01/10/2008.

149. 195 : Pyrénées-Orientales, commune de Mantet, vallée du Caret, dans le Caret, 01/10/2008.

150. 196 : Pyrénées-Orientales, commune de Mantet, vallée du Caret, dans le Caret, 01/10/2008.

151. 197 : Pyrénées-Orientales, commune de Mantet, vallée du Caret, dans le Caret, 01/10/2008.

152. 198 : Pyrénées-Orientales, commune de Mantet, vallée du Caret, dans le Caret, 01/10/2008.

153. 199 : Pyrénées-Orientales, commune de Mantet, vallée du Caret, dans le Caret, 01/10/2008.

154. 200 : Pyrénées-Orientales, commune de Mantet, vallée du Caret, dans le Caret, 01/10/2008.

155. 201 : Pyrénées-Orientales, commune de Mantet, vallée du Caret, dans le Caret, 01/10/2008.

156. 202 : Pyrénées-Orientales, commune de Py, Ravin de Secallosa, dans la Secallosa, 28/10/2009.

157. 203 : Pyrénées-Orientales, commune de Py, Ravin de Secallosa, dans la Secallosa, 28/10/2009.

158. 204 : Pyrénées-Orientales, commune de Py, Ravin de Secallosa, dans la Secallosa, 28/10/2009.

159. 205 : Pyrénées-Orientales, commune de Py, Ravin de Secallosa, dans la Secallosa, 28/10/2009.

160. 206 : Pyrénées-Orientales, commune de Py, Ravin de Secallosa, dans la Secallosa, 28/10/2009.

161. 207 : Pyrénées-Orientales, commune de Py, Ravin de Secallosa, dans la Secallosa, 28/10/2009.

162. 208 : Pyrénées-Orientales, commune de Py, Ravin de Secallosa, dans la Secallosa, 28/10/2009.

163. 209 : Pyrénées-Orientales, commune de Py, Ravin de Secallosa, dans la Secallosa, 28/10/200.

164. 210 : Italie, parc Naturel de Stelvio, bassin de réception des eaux pluviales, 25/07/2006.

165. 211 : Italie, parc Naturel de Adamello, bassin de réception des eaux pluviales, 25/07/2006.

166. 212 : Italie, parc Naturel de Stelvio, bassin de réception des eaux pluviales, 25/07/2006.

167. 213 : Italie, parc Naturel de Adamello, bassin de réception des eaux pluviales, 25/07/2006.

168. 214 : Italie, parc Naturel de Adamello, bassin de réception des eaux pluviales, 25/07/2006.

169. 215 : Italie, parc Naturel de Adamello, bassin de réception des eaux pluviales, 25/07/2006.

170. 216 : Italie, parc Naturel de Stelvio, bassin de réception des eaux pluviales, 25/07/2006.

171. 217 : Italie, parc Naturel de Stelvio, bassin de réception des eaux pluviales, 25/07/2006.

172. 218 : Italie, parc Naturel de Stelvio, bassin de réception des eaux pluviales, 25/07/2006.

173. 219 : Italie, parc Naturel de Stelvio, bassin de réception des eaux pluviales, 25/07/2006.

174. 220 : Italie, parc Naturel de Stelvio, bassin de réception des eaux pluviales, 25/07/2006.

175. 221 : Vosges, commune de La Bresse, route de la Schlucht (D34), au croisement de la route du lac Blanchemer, dans le ruisseau de Blanchemer, 20/08/2006.

176. 222 : Vosges, commune de La Bresse, route de la Schlucht (D34), au croisement de la route du lac Blanchemer, dans le ruisseau de Blanchemer, 20/08/2006.

177. 223 : Vosges, commune de La Bresse, sous le pont de la route de la goutte du Machais, 21/08/2006.

178. 224 : Vosges, commune de Le Tholy, lieu dit le trou de l'enfer, dans le cours d'eau appelé « Le Barba », 22/08/2006.

179. 225 : Vosges, commune de Le Tholy, lieu dit le trou de l'enfer, dans le cours d'eau appelé « Le Barba », 22/08/2006.

180. 226 : Vosges, commune Le Valtin, dans La Meurthe, 24/08/2006.

181. 227 : Vosges, commune Le Valtin, dans La Meurthe, 24/08/2006.

182. 228 : Vosges, commune Le Valtin, dans La Meurthe, 24/08/2006.

183. 229 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Val de Jeret, Cascade de Boussès, dans le gave du Marcadau, 06/10/2008.

184. 230 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Val de Jeret, Cascade de Boussès, dans le gave du Marcadau, 06/10/2008.

185. 231 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Val de Jeret, Cascade de Boussès, dans le gave du Marcadau, 06/10/2008.

186. 232 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Val de Jeret, Cascade de Boussès, dans le gave du Marcadau, 06/10/2008.

187. 233 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Val de Jeret, Cascade de Boussès, dans le gave du Marcadau, 06/10/2008.

188. 234 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Val de Jeret, Cascade de Boussès, dans le gave du Marcadau, 06/10/2008.

189. 235: Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Val de Jeret, Cascade de Boussès, dans le gave du Marcadau, 06/10/2008.

190. 236 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Val de Jeret, Cascade de Boussès, dans le gave du Marcadau, 06/10/2008.

191. 237 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Val de Jeret, Plat de Sarah Bernhard, dans le gave du Marcadau, 06/10/2008.

192. 238 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Val de Jeret, Plat de Sarah Bernhard, dans le gave du Marcadau, 06/10/2008.

193. 239 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Val de Jeret, Cascade de la Raillère, dans le gave du Marcadau, 06/10/2008.

194. 240 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Val de Jeret, Cascade de Pouey Bacou, dans le gave du Marcadau, 06/10/2008.

195. 241 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Val de Jeret, Cascade de Pouey Bacou, dans le gave du Marcadau, 06/10/2008.

196. 242 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Vallée du Marcadau, Cascade d'Estalounquet, dans le gave du Marcadau, 07/10/2008.

197. 243 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Vallée du Marcadau, Cascade d'Estalounquet, dans le gave du Marcadau, 07/10/2008.

198. 244 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Vallée du Marcadau, Cascade d'Estalounquet, dans le gave du Marcadau, 07/10/2008.

199. 245 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Vallée du Marcadau, Cascade d'Estalounquet, dans le gave du Marcadau, 07/10/2008.

200. 246 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Vallée du Marcadau, Ruisseau du Laquet de la Pourtère, dans La Pourtère, 07/10/2008.

201. 247 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Vallée du Marcadau, Ruisseau du Laquet de la Pourtère, dans La Pourtère, 07/10/2008.

202. 248 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Vallée du Marcadau, Ruisseau du Laquet de la Pourtère, dans La Pourtère, 07/10/2008.

203. 249 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Vallée du Marcadau, Cascade de Camou, dans le gave du Marcadau, 07/10/2008.

204. 250 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Vallée du Marcadau, Cascade d'Embarrat, dans le ruisseau déversoir du Lac d'Embarrat, 09/10/2008.

205. 251 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Vallée du Marcadau, Cascade d'Embarrat, dans le ruisseau déversoir du Lac d'Embarrat, 09/10/2008.

206. 252 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Vallée du Marcadau, Cascade d'Embarrat, dans le ruisseau déversoir du Lac d'Embarrat, 09/10/2008.

207. 253 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Vallée du Marcadau, Cascade d'Embarrat, dans le ruisseau déversoir du Lac d'Embarrat, 09/10/2008.

208. 254 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Vallée du Marcadau, Cascade d'Embarrat, dans le ruisseau déversoir du Lac d'Embarrat, 09/10/2008.

209. 255 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Vallée du Marcadau, Cascade d'Embarrat, dans le ruisseau déversoir du Lac d'Embarrat, 09/10/2008.

210. 256 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Vallée du Marcadau, Cascade d'Embarrat, dans le ruisseau déversoir du Lac d'Embarrat, 09/10/2008.

211. 257 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Vallée du Marcadau, Cascade d'Embarrat, dans le ruisseau déversoir du Lac d'Embarrat, 09/10/2008.

212. 258 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Vallée du Marcadau, Cascade d'Embarrat, dans le ruisseau déversoir du Lac d'Embarrat, 09/10/2008.

213. 259 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Vallée du Marcadau, Cascade d'Embarrat, dans le ruisseau déversoir du Lac d'Embarrat, 09/10/2008.

214. 260 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Vallée du Marcadau, Cascade d'Embarrat, dans le ruisseau déversoir du Lac d'Embarrat, 09/10/2008.

215. 261 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Vallée du Marcadau, Cascade d'Embarrat (petit ruisseau annexe), dans le ruisseau déversoir du Lac d'Embarrat, 09/10/2008.

216. 262 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Vallée du Marcadau, Cascade d'Embarrat (petit ruisseau annexe), dans le ruisseau annexe au dessus du plateau du Cayan, 09/10/2008.

217. 263 : Hautes-Pyrénées, commune de Cauterets, Vallée du Marcadau, Cascade d'Embarrat (petit ruisseau annexe), dans le ruisseau annexe au dessus du plateau du Cayan, 09/10/2008.

218. 264 : Pyrénées-Orientales, commune de Nyer, Gorges de Nyer, Le Mantet, 28/07/2008.

219. 265 : d Pyrénées-Orientales, commune de Nyer, Gorges de Nyer, Le Mantet, 28/07/2008.

220. 266 : Pyrénées-Orientales, commune de Nyer, Gorges de la Carança, Le Mantet, 29/07/2008.

221. 267 : Pyrénées-Orientales, commune de Nyer, Gorges de la Carança, La Carança, 29/07/2008.

222. 268 : Pyrénées-Orientales, commune de Nyer, Gorges de la Carança, La Carança, 29/07/2008.

223. 269 : Pyrénées-Orientales, commune de Nyer, Gorges de la Carança, La Carança, 29/07/2008.

224. 270 : Pyrénées-Orientales, commune de Nyer, Gorges de la Carança, La Carança, 29/07/2008.

225. 271 : Pyrénées-Orientales, commune de Nyer, Gorges de la Carança, La Carança, 29/07/2008.

226. 272 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, au lieu dit Cortals des Prats, dans le ruisseau de Nohèdes, 28/07/09.

227. 274 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, au lieu dit Cortals des Prats, dans le ruisseau de Nohèdes, 28/07/09.

228. 275 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, au lieu dit Cortals des Prats, dans le ruisseau de Nohèdes, 28/07/09.

229. 276 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, au lieu dit Cortals des Prats, dans le ruisseau de Nohèdes, 28/07/09.

230. 277 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, au lieu dit Coumail de la Pounce, dans le ruisseau de l'homme mort, 28/07/09.

231. 278 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, au lieu dit Coumail de la Pounce, dans le ruisseau de l'homme mort, 28/07/09.

232. 279 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, au lieu dit Coumail de la Pounce, dans le ruisseau de l'homme mort, 28/07/09.

233. 280 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, au lieu dit Coumail de la Pounce, dans le ruisseau de l'homme mort, 28/07/09.

234. 281 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, au lieu dit Coumail de la Pounce, dans le ruisseau de l'homme mort, 28/07/09.

235. 282 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, au lieu dit La Jasse, ruisseau de Torrelles 29/07/09.

236. 283 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, au lieu dit La Jasse, ruisseau de Torrelles 29/07/09.

237. 284 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, au lieu dit La Jasse, ruisseau de Torrelles 29/07/09.

238. 285 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, au lieu dit La Jasse, ruisseau de Torrelles 29/07/09.

239. 286 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, au lieu dit La Jasse, ruisseau de Torrelles 29/07/09.

240. 287 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, au lieu dit La Jasse, ruisseau de Torrelles 29/07/09.

241. 288 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, au lieu dit ravin des Bousigues, dans ruisseau de Torrelles, 29/07/09.

242. 289 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, au lieu dit ravin des Bousigues, dans ruisseau de Torrelles, 29/07/09.

243. 290 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, au lieu dit ravin des Bousigues, dans ruisseau de Torrelles, 29/07/09.

244. 291 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, au lieu dit pont de Cortals des Prats, ruisseau de Nohèdes, 30/07/09.

245. 292 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, au lieu dit pont de Cortals des Prats, ruisseau de Nohèdes, 30/07/09.

246. 293 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, lac de Nohèdes, 31/07/09.

247. 294 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, lac de Nohèdes, 31/07/09.

248. 295 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, lac de Nohèdes, 31/07/09.

249. 296 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, au lieu dit Fonts de la Pèga, dans le ruisseau de l'Homme mort, 30/07/09.

250. 297 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, au lieu dit Fonts de la Pèga, dans le ruisseau de l'Homme mort, 30/07/09.

251. 298 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, au lieu dit Fonts de la Pèga, dans le ruisseau de l'Homme mort, 30/07/09.

252. 299 : Pyrénées-Orientales, Commune de Nohèdes, au lieu dit la Jasse de la Ribes, ruisseau des Camps, 31/07/09.

Glossaire

Aire minimale : Surface minimale au-delà de laquelle le nombre d'espèces n'augmente pas.
Alliance phytosociologique : Unité phytosociologique qui regroupe les associations voisines.
Amphibie : Organisme pouvant vivre dans l'eau comme dans l'air.
Aquatique : Qui vit dans l'eau.
Association phytosociologique : Groupement floristique statistiquement homogène qui possède au moins deux espèces caractéristiques.
Calcicole : Qui se développe sur les roches calcaires (basiques).
Calcifuge : Qui se développe sur les roche non calcaires (acides).
CCA : Canonical correspondence analysis (CCA).
CE : Chenal d'étiage dans lequel se concentrent les basses eaux, il n'est pas délimité par des berges et se situe à l'intérieur du lit apparent.
Champignon lichénicole non lichénisé : Champignon non lichénisé qui se développe spécifiquement sur les lichens.
Champignon lichénisé : Lichen.
Champignon non lichénicole non lichénisé : Champignon ne se développant pas sur les lichens.
Classe phytosociologique : Unité phytosociologique qui regroupe les ordres voisins.
Classification phytosociologique : Organisation des végétations en classe, ordre, alliance et association.
Communautés lichéniques : Ensemble des espèces de lichens qui occupe une même niche écologique.
Corticole : Qui se développe sur les écorces.
Crustacé : Qui forme un croûte difficilement détachable du support.
Écosystèmes aquatiques continentaux : Cours d'eau ou lacs non maritimes.
Ékréophile : Qui se développe sur les surfaces soumises à des écoulements d'eau issue des pluies.
Ergostérol : Composant spécifique de la membrane fongique.
Étage collinéen : Jusqu'à 800 m à 1000 m d'altitude.
Étage montagnard : De 1000 m à 1500 m d'altitude.
Étage subalpin : De 1500 m à 2000 m d'altitude.
Flore (livre) : Ouvrage de détermination.
Fréquence : Pour une même espèce le nombre de citation de cette espèce dans un groupe de relevés.
Hépatique : Bryophytes s.l. aux formes aplaties avec une différenciation dorsi-ventrale bien nette et aux feuilles sans nervure centrale.
Hiérarchisation phytosociologique : Organisation de la végétation en classe, ordre, alliance et associations.
Hydrophile : Qui se développe sur les surfaces soumises à des périodes d'immersion par les eaux d'un cours d'eau ou de lac.
Hygrophile : Qui se développe dans les milieux à forte humidité atmosphérique ou substratique.
Hyperhydrophile : Espèce soumise à de durée d'immersion annuelle longue. Colonise les roches situées au niveau du chenal d'étiage.
Lichen : Un lichen est une association stable et indépendante, entre un mycosymbiote et un photosymbiote, dans laquelle le mycosymbiote est le partenaire englobant l'autre dans une structure originale : le thalle lichénique.

Lit apparent : Lit mineur ou lit mouillé : espace qu'empruntent les eaux en temps normal hors crue historique.
Lit majeur : Espace emprunté par les eaux pendant les grandes inondations, ses limites coïncident avec les inondations historiques.
Lits d'un cours d'eau : Les espaces que les eaux des cours d'eau peuvent occuper à un moment ou à un autre, sont appelé « lits », ils sont au nombre de trois et s'emboîtent les uns dans les autres. Chaque lit correspond à des phases hydrologiques bien précises : Lit majeur, Lit apparent et chenal d'étiage.
Macrolichens : Lichen dont le thalle est grand de plusieurs cm.
Mésohydrophile : Espèce soumise à de durée moyenne d'immersion annuelle. Colonise les roches situées au niveau de la partie inférieure du lit apparent.
Mycosymbiote : Champignon en symbiose avec une algue ou une cyanobactérie pour former un lichen.
NMDS : Non-Metric Multidimensional Scaling.
Ordre phytosociologique : Unité phytosociologique qui regroupe les alliances voisines.
Période d'étiage : Période des plus basses eaux d'un cours d'eau.
Photosymbiote : Algue ou cyanobactérie symbiotique d'un lichen.
Phytosociologie : Étude des associations végétales.
Pigments photosynthétiques : Pigments responsables de la photosynthèse observés dans algues ou les cyanobactéries.
PILA : Partie inférieure du lit apparent en limite avec le chenal d'étiage.
Potentiel photochimique : La fluorescence de la "chlorophylle a" a été mesurée pour les échantillons de lichens qui sont maintenus 30 minutes à l'obscurité. Le rapport Fv/Fm suite à un pulse de lumière saturant représente une mesure de l'efficacité photochimique potentielle de photosystème II transport.
Prélèvement intégral : Prélèvement d'une surface supérieure à l'aire minimale de l'ordre de 200 cm2 pour les lichens crustacés et détermination au laboratoire de toutes les espèces présentes sur la roche.
Prélèvement partiel : Étude d'une surface de l'ordre du m2, détermination des espèces sur le terrain et prélèvements aléatoires des espèces non identifiées.
PSLA : Partie supérieure du lit apparent en limite avec le lit majeur.
Pyrénolichens : Lichen dont la fructification est un pyrénomycète.
Recouvrement moyen global : C'est pour une espèce donnée dans un tableau de N relevés la moyenne des recouvrements en % dans l'ensemble des relevés.
Rhéophile, Réhophobe : Qui se développe ou pas sur les roches soumises à des périodes d'immersion par les eaux d'un cours d'eau à forte énergie.
Saxicole : Qui se développe sur les roches.
Saxicole-hydrophile : Qui se développe sur les roches soumises à des périodes d'immersion par les eaux d'un cours d'eau.
Station : Lieu de la berge d'un cours d'eau.
Subhydrophile : Espèce soumise à de courte durée d'immersion annuelle. Colonise les roches situées au niveau de la partie supérieure du lit apparent.
Succession autogénique : Passage d'un groupement à un autre groupement par la destruction partielle ou totale du premier.
Synsystème : Classification phytosociologique.
Syntaxon : Unité phytosociologique.
Thalle crustacé : Thalle en forme de croûte sur le support, très difficilement détachable du support.
Thalle foliacé : Thalle en forme de feuille plus ou moins grande et très facilement détachable du support.

Thalle lichénique : Partie la plus visible d'un lichen qui porte les fructifications.
Thalle non segmenté : Surface unique occupée par le thalle lichénique par opposition aux surfaces segmentées (type patchwork).
Ubiquiste : Relatif aux espèces pouvant s'adapter aux milieux les plus divers.
Unités supérieures : Classe, ordre et alliance phytosociologiques.
Ψ_{PSII} : Potentiel photochimique du photosystème II.

Protocole de détermination des algues lichénisées

1. Récolte des échantillons par grattage de surface lichénisée ;
2. Lyophiliser les échantillons récoltés ;
3. Bien écraser le lyophilisat pour obtenir un mélange homogène ;
4. Peser l'échantillon lyophilisé ;
5. Ajouter 5 ml de méthanol tamponné (2% ammonium acétate 1 M) ;
6. Placer le tube à essai sur la sonde à ultrasons pendant 30 secondes, puissance sur 1 et pulsations sur 100 %, agiter ;
7. Placer le tube à essai dans l'obscurité au congélateur à -20°C pendant 15 minutes ;
8. Centrifuger 5 minutes à 3000 tours à -9°C ;
9. Récupérer le surnageant dans un tube à essai et le stocker à l'obscurité à -20°C ;
10. Renouveler l'opération de 5 à 9 deux fois en ajoutant successivement 5 ml et 3 ml de méthanol ;
11. Filtrer 1,5 ml de surnageant (seringue et filtre) que l'on place dans un vial pour l'analyse à l'HPLC.