

Les Champignons et les Lichens

de la biodiversité
à la santé



Institut
KLORANE
protéger explorer éduquer

Fondation d'entreprise pour la protection et la valorisation du patrimoine végétal

L'INSTITUT KLORANE

Fondation d'entreprise des Laboratoires Klorane, l'Institut Klorane œuvre pour la protection et la valorisation du patrimoine végétal. Créé en 1994 pour partager avec le plus grand nombre sa connaissance multidisciplinaire acquise sur les plantes, l'Institut Klorane poursuit cet engagement autour de trois missions :

PROTÉGER, EXPLORER, ÉDUQUER.

PROTÉGER

L'Institut Klorane est particulièrement sensible à la protection et à la conservation des espèces végétales menacées. À ce titre, il collabore avec le Conservatoire Botanique National de Brest, spécialisé depuis son origine dans la sauvegarde des plantes en danger. La réintroduction à Madère, en octobre 2010, de *Normania triphylla* (Lowe) Lowe, plante endémique qui avait disparu de l'île, en est une illustration concrète. L'Institut Klorane poursuit sa mission de sauvegarde d'espèces en danger critique d'extinction, notamment en agissant en faveur du *Calendula maritima* Guss., endémique de Sicile.

C'est également en collaboration avec le Conservatoire Botanique Pierre Fabre que l'Institut Klorane s'investit dans cette mission. Ce conservatoire est le premier établissement privé français à avoir reçu l'agrément CITES (Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction). Garant de la protection des espèces végétales menacées, il participe à des missions de préservation de plantes en voie de disparition sur la surface du globe.

EXPLORER

Pour sans cesse accroître la connaissance sur la biodiversité végétale, l'Institut Klorane soutient les acteurs de la recherche et de la conservation en botanique en finançant des missions sur le terrain : exploration des forêts primaires tropicales, investigation de zones végétales menacées, création de jardins thérapeutiques... Il apporte aussi sa contribution à la restauration et la valorisation d'herbiers, ainsi qu'à la réalisation de thèses universitaires.

Il réalise des supports d'informations scientifiques à destination des professionnels de santé, telles les monographies botaniques appliquées à des plantes stratégiques, constituant progressivement une collection de référence.

L'Institut Klorane s'entoure de nouveaux partenaires botaniques :

- > des jardins et conservatoires fortement impliqués dans la sauvegarde de la Biodiversité,
 - > l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), la première et la plus vaste organisation mondiale de protection de l'environnement,
 - > l'Association Tela Botanica, réseau mondial et performant de botanistes francophones.
-



ÉDQUER

En partenariat avec des pharmaciens d'officine, des jardins et conservatoires botaniques et des réseaux de botanistes, l'Institut Klorane fait découvrir le patrimoine végétal aux enfants et aux étudiants. À cet effet, il s'appuie sur six thématiques qui lui sont chères : Plantes, Biodiversité et Développement durable, Alimentation, Champignons, Arbres et Forêts, Fruits.

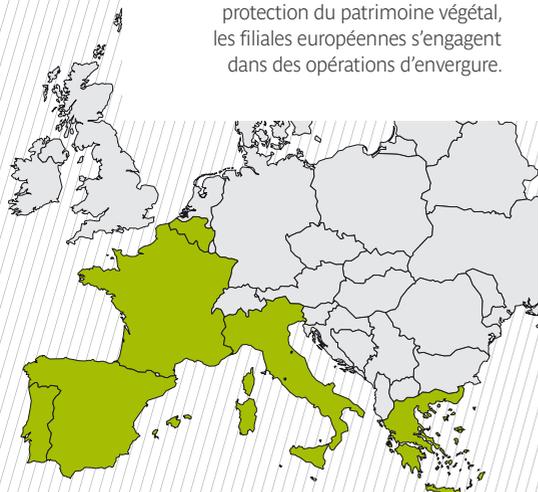
L'édition de nouveaux guides pour les scolaires entretient régulièrement l'actualité : *Découvre le monde des champignons*, *L'Univers du Sucre*, *Raconte-moi la Biodiversité...* Pour le grand public, une large collection de brochures et posters est également réalisée. À noter en particulier les thématiques suivantes, cautionnées par des spécialistes dans ces domaines :

- > *Les champignons et les lichens, de la biodiversité à la santé*
- > *Les plantes médicinales méditerranéennes : un patrimoine à conserver*
- > *Les plantes et l'alimentation santé.*

Fidèle aux rendez-vous annuel des mycologues amateurs ou éclairés, l'Institut Klorane participe au Salon du Champignon de Toulouse, dans le cadre du Festival "La Novela", dédié à la diffusion du savoir de façon ludique. Il agit en partenariat avec le Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse, les Facultés de Pharmacie et des Sciences et les Associations mycologiques locales.

Enfin, le partenariat avec l'Association Tela Botanica permet de proposer au grand public des programmes de sciences participatives (Observatoire des Saisons, étude des plantes sauvages en ville, mise à disposition d'une flore interactive très complète) pour faire découvrir la nature de proximité et faciliter un engagement citoyen pour sa sauvegarde.

Convaincus de l'importance de la protection du patrimoine végétal, les filiales européennes s'engagent dans des opérations d'envergure.



L'INSTITUT KLOORANE EN EUROPE

LA GRÈCE

dans la continuité des animations botaniques, accompagne des scolaires et des pharmaciens à la Faculté de Pharmacie d'Athènes pour faire découvrir l'utilité du patrimoine végétal au travers d'ateliers d'extraction végétale et de fabrication de savons.

LA BELGIQUE

grâce à la brochure "Raconte-moi la Biodiversité" distribuée en officine, sensibilise les enfants aux enjeux de la protection des espèces végétales ou animales de façon didactique et ludique.

L'ITALIE

s'investit dans la sensibilisation aux problèmes environnementaux avec le projet VIVIDARIA. En 2009/2010 un concours était ouvert à toutes les écoles partenaires (10000 enfants) : Vividaria, plantes amies : la biodiversité qui unifie.

L'ESPAGNE

poursuit la sensibilisation des scolaires encadrés par des pharmaciens, avec des activités au sein de cinq jardins botaniques : découverte des sens, des fruits, de la phytochimie.

LE PORTUGAL

a réintroduit avec succès une espèce végétale menacée d'extinction à Madère, *Normania triphylla* (Lowe) Lowe, en collaboration avec le Jardin Botanique de Funchal et le Conservatoire Botanique National de Brest. Il continue l'opération "Un arbre, un enfant" et la visite de jardins botaniques.

PRÉFACE

La biodiversité négligée

La biodiversité du minuscule

Si parmi les nombreuses espèces vivantes présentes sur Terre, beaucoup ont été étudiées, la majorité d'entre elles nous sont encore inconnues. La biodiversité recèle des potentialités inexplorées, au regard desquelles les scientifiques estiment que la part des espèces connues de l'Homme est finalement minime. C'est particulièrement le cas des petits organismes et des micro-organismes. La plupart des espèces présentes sur la Terre ont une taille inférieure à 5 mm. Virus, bactéries, champignons, nanoplankton, micro-invertébrés... sont très mal connus : ils forment ce que l'on est tenté d'appeler la "biodiversité négligée". Négligée car inexplorée, inexplorée car difficilement explorable. Cette biodiversité microscopique représente pourtant 95% de la biodiversité et joue un rôle fondamental dans l'équilibre des écosystèmes. Il n'est pas vain d'affirmer qu'il reste tant de mondes à découvrir.

Les champignons microscopiques appartiennent à cette foule minuscule. Jusqu'au milieu du XIX^e siècle, les naturalistes les classaient dans la catégorie des mousses ou des algues. L'amélioration des techniques d'exploration et l'avènement de microscopes performants ont permis de mettre en évidence les interactions biologiques qui se nouent entre ces organismes et leur environnement.

Progressivement disparaissent les obstacles d'exploration et s'ouvrent des perspectives de recherche sur cette biodiversité méconnue, cette biodiversité du petit monde.

La biodiversité méconnue

Si champignons et lichens sont peu connus du grand public et peu explorés par les chercheurs, n'est-ce pas aussi en raison du caractère insaisissable et curieux qu'ils présentent. On ne peut prévoir comment ni où ils se déploieront. Longtemps ils n'ont été que moisissures, stigmates flétrissant la beauté de toutes choses. Pourtant, un esprit curieux qui se penchera sur l'univers mycologique y découvrira des trésors méconnus. La présence de lichens sur les roches, les toitures, les monuments est notamment un signe de qualité de l'environnement. L'utilité des organismes fongiques pour la science et le développement humain est aussi avérée depuis longtemps : si on connaît, dès l'Antiquité, les levures d'où naissent le pain et le vin, la compréhension des mécanismes microbiologiques en jeu date des recherches de Pasteur au XIX^e siècle. De même, on a exploré plus tard, grâce aux champignons, les moyens de soigner, à l'instar de la découverte de la pénicilline. L'investigation scientifique dans la sphère des champignons et des lichens a également permis une connaissance plus poussée du corps humain – flore intestinale, pathologies dermatologiques, etc. – *id est* une connaissance accrue de la vie. Lichens et champignons ne sont pas cerisiers roses et pommiers blancs : ils représentent la biodiversité discrète, parfois disgracieuse au premier abord. Mais tout étonnants qu'ils soient, ils portent en eux cette beauté qui les transcende : irremplaçables sur Terre, essentiels à l'existence de l'Homme, ils constituent les prémices de nos vies.

Le champ des possibles

Trop souvent ignorés au profit des espèces supérieures, lichens et champignons détiennent des clefs d'exploration scientifique sans doute plus riches que les représentants de la biodiversité emblématiques auxquels nous sommes plus spontanément attachés : animaux et végétaux.

Il appartient à la recherche actuelle de saisir les chances de puissance que représentent, pour l'humanité, les potentialités d'existence de cette biodiversité négligée. Champignons, organismes unicellulaires, lichens, ces espèces ignorées, souvent dédaignées, présentent, nous en sommes convaincus, de multiples intérêts. En vous informant sur ces espèces méconnues, en vous éclairant sur les perspectives scientifiques qu'elles présentent, l'Institut Klorane fait le choix, à travers cet ouvrage, de vous donner la clef de ce champ des possibles.

SOMMAIRE

07 **ET SI LES CHAMPIGNONS N'EXISTAIENT PAS ?**

09 **LES CHAMPIGNONS ET LES LICHENS**

09 PLACE DANS LE VIVANT

11 DÉFINITION

13 MODES DE VIE

17 **RÔLES DANS LES ÉCOSYSTÈMES**

19 INTERACTIONS AVEC LE SOL

21 INTERACTIONS AVEC LES PLANTES

24 INTERACTIONS AVEC LES ANIMAUX

28 **ADAPTATION À L'ENVIRONNEMENT**

30 **IMPORTANCE POUR L'HOMME**

31 SANTÉ

34 ALIMENTATION

39 TEINTURES

41 PARFUMS

42 **RECHERCHE**

43 MYCOLOGIE ET RECHERCHE MÉDICALE

45 PERSPECTIVES DE RECHERCHE EN MYCOLOGIE

46 LICHENS EN RECHERCHE

46 LICHENS EN MÉDECINE

48 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

49 LE COMITÉ DE RÉDACTION

50 LEXIQUE (* Tous les termes suivis d'un astérisque sont détaillés dans le lexique)

54 BIBLIOGRAPHIE

ET SI LES CHAMPIGNONS N'EXISTAIENT PAS ?



Fomes fomentarius – Amadouvier

Quelque part dans l'espace-temps, un homme de la Préhistoire traverse les étendues glacées de la haute-montagne alpine. Il est blessé, épuisé. Son voyage et sa vie vont se terminer dans cet environnement hostile, et le froid va se charger de momifier son corps, que des randonneurs retrouveront à la fin du XX^e siècle, à la faveur d'une fonte de glacier.

Cette découverte effectuée sur la momie d'Ötzi* (l'aviez-vous reconnue ?) en a permis bien d'autres. On a montré que cet homme du

passé transportait dans une petite besace deux fragments de champignons (un amadouvier, pour allumer le feu, et un polypore du bouleau, aux propriétés médicinales), témoins des relations ancestrales entre deux mondes.

De tout temps, l'Homme a côtoyé ces organismes étonnants et étranges, les champignons et les lichens, apparus sur Terre bien avant lui. Il a essayé de les comprendre, de les utiliser ; il a appris à les craindre, parfois à les apprivoiser.

Aujourd'hui, notre vie et notre environnement sont profondément influencés par les champignons, qui constituent une part très importante de la diversité biologique de notre planète (le deuxième groupe le plus riche en espèces, après les Insectes). Sans champignons, notre environnement serait profondément différent (les forêts, en particulier, ne pourraient pas exister sans les champignons) ; leur importance est cruciale dans l'alimentation humaine (sans champignons, pas de pain, pas de vin, pas de fromage... sans parler de nombreuses préparations culinaires et boissons fermentées), dans les médecines traditionnelles (surtout asiatiques), dans les biotechnologies* (chimie d'hémisynthèse et de synthèse, industrielle ou pharmaceutique, dépollutions, bioindication et biosurveillance, etc.), dans les chaînes alimentaires naturelles, dans le fonctionnement des écosystèmes.

Mais à côté de ces rôles essentiels et positifs pour le bon fonctionnement de ces domaines, naturels ou liés à l'activité humaine, les champignons sont aussi des ennemis redoutables : ils sont des agents parasitaires virulents et parfois mortels de toutes sortes d'organismes, végétaux (arbres forestiers, plantes d'intérêt agricole majeur, ...) ou animaux (mycoses* humaines ou animales), des agents de dégradation de biens et de denrées (moisissures diverses, mэрule* domestique qui détruit les charpentes et bois d'œuvre) et des producteurs de molécules hautement toxiques (toxines alimentaires, poisons renfermés dans certains champignons forestiers).

Dans cette brochure, nous souhaitons aborder différentes facettes de la mycologie, mettant en relation la diversité des champignons et leurs liens avec l'homme, et plus particulièrement avec la santé humaine. Dans ce domaine, l'évolution des techniques scientifiques et des connaissances a récemment révélé des pistes particulièrement fascinantes.



Piptoporus betulinus – Polypore du bouleau



Coprinus micaceus - Coprin micacé

LES CHAMPIGNONS ET LES LICHENS



Boletus erythropus - Bolet à pied rouge

Place dans le vivant

Longtemps considérés comme des "végétaux inférieurs", les champignons (et les lichens qui y sont rattachés) constituent un règne propre, distinct des règnes animal et végétal :

le **règne fongique** (*Fungi* ou *Mycota*).

Si l'on a séparé ces organismes de leurs supposés "parents", c'est qu'il y a des raisons scientifiques, aujourd'hui indiscutables, pour adopter cette séparation. D'ailleurs, les champignons sont beaucoup plus proches des animaux que des végétaux : notre ancêtre commun (sans doute une cellule avec un flagelle* postérieur) vécut il y a un milliard d'années, alors que la lignée végétale s'était déjà différenciée avec les premières algues unicellulaires autotrophes*.

LE MONDE DES CHAMPIGNONS : QUELQUES CHIFFRES

L'évaluation de la diversité fongique est basée sur des extrapolations et reste donc quelque peu spéculative.

On pense qu'il existe au moins 1,5 million d'espèces de champignons sur Terre, ce chiffre étant déduit du rapport moyen de diversité entre plantes supérieures et champignons (en moyenne 5 champignons pour 1 plante). Quoiqu'il en soit, il est bien établi que les champignons constituent un des ensembles les plus diversifiés du monde vivant. En France métropolitaine, on évalue la diversité fongique potentielle à 30 000 espèces ; or on en connaît actuellement environ 16 000.

Si le pourcentage connu en Europe tempérée approche 50%, comme en France, le travail d'inventaire est considérable dans les régions tropicales, moins explorées.

Ainsi, pour les départements d'Outre-mer, on estime qu'on ne connaît que 10 à 15% des champignons des Antilles françaises et 5 à 7 % des espèces de Guyane.

Les chercheurs ont encore beaucoup de travail devant eux (notamment pour évaluer la ressource utilisable dans des domaines appliqués, comme la santé).

L'ORGANISME FONGIQUE, UN ORGANISME DÉPOURVU DE TIGES, DE FEUILLES ET DE RACINES



Si le mot "champignon" évoque le plus souvent l'image d'une structure pourvue d'un pied et d'un chapeau, l'organisme fongique est très discret, voire invisible, dans son état végétatif. Il s'agit en fait de filaments microscopiques, enfouis dans le substrat colonisé. Le fameux "objet" à pied et chapeau n'est que l'appareil reproducteur de cet organisme souvent invisible. Ces filaments ont été assimilés au thalle* des végétaux inférieurs (algues vertes, mousses), dépourvus d'organes différenciés, aux fonctions précises, telles que les racines (ancrage et prélèvement d'eau et de sels minéraux), les tiges (soutien) et les feuilles (fonction chlorophyllienne). Les particularités qui constituent la définition du règne fongique éloignent actuellement les champignons des "thallophytes", qui demeurent des végétaux "vrais" dépourvus d'organes différenciés.

Définition

Le règne fongique s'adosse à un certain nombre de particularités, parmi lesquelles on peut dégager sept points essentiels caractérisant les champignons et les lichens :

1 ils sont **eucaryotes** : le matériel génétique se trouve à l'intérieur d'un noyau cellulaire (comme chez l'homme), ce qui les oppose aux procaryotes* (bactéries au sens large).

2 ils sont **hétérotrophes*** (vis-à-vis du carbone) : pour se nourrir, ils doivent trouver des aliments organiques préformés dans leur environnement. Les animaux ont la même contrainte. À l'inverse, les organismes autotrophes tels que les végétaux disposent de pigments "assimilateurs", comme la chlorophylle*, qui leur permettent de fabriquer leur propre nourriture organique grâce à l'énergie de la lumière solaire, en utilisant de l'eau et du CO₂ atmosphérique.

3 ils sont **absorbotrophes** : ils se nourrissent en absorbant à travers leur paroi cellulaire les produits issus d'une digestion extracellulaire effectuée grâce à leur arsenal enzymatique. Cela les distingue clairement des animaux qui "ingèrent", et des végétaux qui "assimilent".

4 ils sont **filamenteux, diffus et tubulaires*** : le champignon est un organisme invisible (le mycélium*), enfoui dans le substrat qu'il colonise, sous la forme de filaments microscopiques (dimension qui lui permet d'explorer le milieu avec beaucoup de finesse et optimise sa capacité à en extraire toutes les substances utiles). Parfois, les filaments s'agrègent et peuvent être visibles à la surface du substrat comme une sorte

de toile d'araignée, voire former de gros cordons pouvant même évoquer des "racines".

5 ils se reproduisent par des **spores*** : pas de reproduction visible, comme dans le cas des fleurs des végétaux supérieurs, ce qui les faisait classer autrefois dans les cryptogames*, avec les mousses et les fougères (de vrais végétaux, quant à eux).

6 leurs **spores** sont non **flagellées*** (exceptionnellement à un seul flagelle*), ce qui exclut du règne fongique actuel des organismes comme les mildious (2 flagelles), parasites notoires de plantes, bien connus des jardiniers et des agriculteurs (fonte des semis, mildious de la pomme de terre, etc.) que l'on range à présent dans le même règne que celui des "algues brunes". C'est d'ailleurs le mildiou (plus scientifiquement appelé *Phytophthora infestans*) qui fut à l'origine de la Grande famine irlandaise des années 1845-1849, épisode sombre de l'histoire de l'île qui décima les cultures de pomme de terre, première denrée nationale, causa plus d'un million de morts et obligea quelque deux millions d'Irlandais à prendre les chemins de l'exil.

7 leur paroi cellulaire contient de la **chitine*** (molécule également présente dans le règne animal, dans les carapaces d'insectes par exemple) et jamais de cellulose* (apanage des végétaux et d'autres règnes "inférieurs"), comme celui de certaines algues brunes).

Le lecteur attentif trouvera qu'il manque quelque chose d'essentiel à cette définition : l'objet plus ou moins charnu, muni d'un pied et d'un chapeau auquel tout le monde pense lorsque l'on évoque le mot "champignon" et que l'on peut cueillir dans les bois ou les pâtures, n'est pas explicitement mentionné ! Cela n'est pas un oubli... Dans le règne fongique, la plupart des champignons restent invisibles à l'observateur, même dans leur phase de reproduction qui génère les spores. C'est seulement dans un petit groupe de champignons dits "**supérieurs**" (environ 70 000 espèces de champignons macroscopiques), que la reproduction sexuée implique la formation d'un "appareil" plus ou moins charnu et sophistiqué (appelé sporophore*), sur lequel vont se répartir les cellules fertiles (asques ou basides) au niveau des tubes (bolets, polypores), des lames et lamelles (agarics, amanites...) ou bien encore de petites coupes (morilles, pezizes...), pour ne citer que les principales formes.



Dans cette brochure consacrée à la biodiversité fongique et sa valorisation médicinale, le sporophore, si prisé des chercheurs de champignons, n'est pas forcément à mettre au premier plan. Bien des champignons peuvent jouer un rôle, de ce point de vue, à l'état de mycélium, et notamment les champignons "inférieurs" (cultures en laboratoire ou dans des fermenteurs industriels, par exemple).

Modes de vie

Par ailleurs, un point de leur définition est extrêmement important pour bien situer les champignons dans leur contexte environnemental et dans leur rôle fonctionnel au sein des écosystèmes. Il s'agit de l'hétérotrophie vis-à-vis du carbone, contrainte majeure assumée par trois stratégies distinctes :

1 certains captent leur nourriture à partir de déchets ou d'organismes morts (débris organiques de différentes natures). Il s'agit des "éboueurs de la nature", qui recyclent les matières mortes pour remettre des nutriments élémentaires à disposition d'autres micro-organismes. Ces espèces sont les **saprotrophes*** ; on peut les cultiver artificiellement (pour la plupart), à condition de leur fournir la combinaison adéquate de matières organiques nutritionnelles.

2 d'autres prélèvent leur nourriture directement sur un être vivant, en lui portant préjudice (parfois jusqu'à le tuer). Il s'agit des **parasites** qui, dans la nature, régulent les populations en éliminant les individus affaiblis ou malades. Parfois, certains parasites très agressifs peuvent poser des problèmes sérieux dans les écosystèmes, ou dans les cultures réalisées par l'homme.

3 enfin, certains choisissent de s'associer, dans un partenariat à bénéfices réciproques avec un autre organisme qui fournit sa matière organique produite par autotrophie (présence de pigments assimilateurs, comme la chlorophylle). Il s'agit donc d'une **symbiose*** qui met en jeu :

- un végétal, avec lequel les échanges se font au niveau des racines par une structure mixte, les **mycorhizes*** ; leur rôle fonctionnel est crucial dans les écosystèmes, en particulier forestiers, puisque le champignon apporte une aide indispensable aux arbres pour leur croissance, leur nutrition minérale, et leur protection vis-à-vis d'agresseurs et divers pathogènes.

- ou une algue (et/ou une cyanobactérie*) et on obtient un **lichen**, dont il sera largement question dans cette brochure. **Après avoir été considérés comme des organismes "à part", les lichens sont à présent classés parmi les champignons - on devrait parler de "champignons lichénisés".**

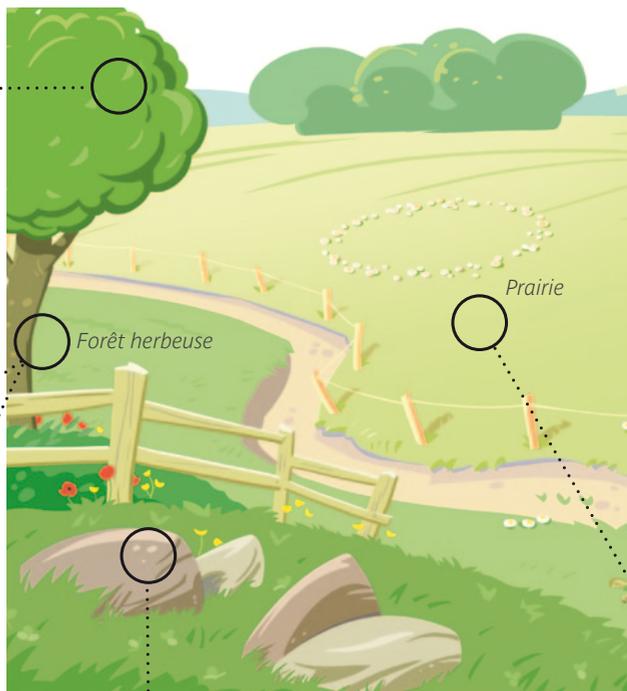


Lichen corticole foliacé

Lichen corticole fruticuleux*



Lichen corticole crustacé



Forêt herbeuse

Prairie



Lichen saxicole crustacé

CHAMPIGNONS



Saprotrophes lignicoles

En décomposant plus ou moins complètement les composants ligneux du bois, ils participent à leur recyclage et à la formation des sols forestiers.



Saprotrophes de l'humus

Décomposant à la fois la lignine* et la cellulose des feuilles et des débris de plantes herbacées, ils recyclent le carbone.



Saprotrophes coprophiles

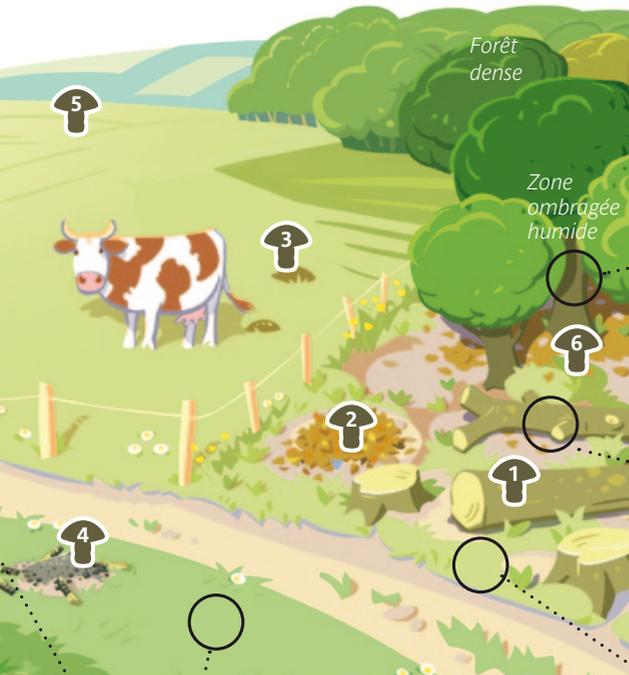
De nombreuses espèces sont spécialisées dans la décomposition des excréments, dont ils exploitent le carbone et l'azote en synergie avec insectes et micro-organismes variés. Les traitements antibiotiques et antifongiques

administrés aux ruminants d'élevage (en particulier chevaux) peuvent empêcher cette décomposition, et les crottes restent alors intactes durant des mois !



Saprotrophes carbonicoles

Les feux de camp comme les incendies de forêt fournissent un milieu riche en phosphore facilement disponible, mais réservé aux espèces capables de coloniser rapidement un substrat stérilisé et minéralisé. Quelques semaines seulement après le feu, diverses espèces vont se succéder : pézizes, pholiote des charbonnières, *Tephroclybe*, voire morilles lorsque le sol a été stérilisé en profondeur ; puis, de petits ascomycètes vivant avec la mousse *Funaria hygrometrica* prennent la suite. En quelques années la végétation ordinaire a pris la place de ces "pionniers".



Lichen corticole lépreux



Lichen corticole foliacé



Lichen terricole fruticuleux*



Lichen terricole gélatineux



5 Les ectomycorhiziques "des lisières"

Les espèces préférant les "écotones", les milieux plus éclairés ou plus exposés aux précipitations, sont nombreuses et variées. Les chercheurs de cèpes, de girolles, de truffes, orientent naturellement leurs recherches vers les lisières et les bords de chemins, véritables réservoirs de diversité.

6 Les ectomycorhiziques "forestiers"

Certaines espèces exigent des humus épais et non perturbés, et fuient les lisières pour rechercher la quiétude des vieux arbres. Elles sont peu nombreuses car elles doivent être capables d'exploiter un humus épais et très organique, ce qui demande de fortes capacités enzymatiques. Elles sont aussi défavorisées par une gestion forestière trop intensive.

LICHENS

Corticole : se développant sur des écorces d'arbres (troncs, branches...)

Saxicole : se développant sur la pierre (rochers, murets...)

Terricole : se développant sur ou dans la terre (pelouses, landes, sentiers...)



Lichens cohabitant sur une branche

LE LICHEN

Le lichen, organisme mixte résultant de l'association d'un champignon avec un partenaire photosymbiotique, est parfaitement autotrophe* : la matière organique est synthétisée par l'algue (qui se développe au sein du mycélium aérien), le champignon la protège de la déshydratation. Mais l'algue a des droits limités dans cette association : elle est cantonnée à certaines zones, et ne se reproduit pas sexuellement. Alors, symbiose... ou élevage ?!

Si l'on compte environ 18 000 espèces de lichens à travers le monde, moins de la moitié sont des espèces macroscopiques, bien visibles à l'œil nu. La flore française est riche de plus de 2 300 espèces mais les lichens sont souvent ignorés et méconnus.



Ces "mycoses" sur une statue - qui ne consomment pas leur support - sont une analogie parlante entre lichens et champignons non lichénisés... mais leur développement est très lent et très durable, à condition que l'écosystème ne soit pas perturbé par certaines pollutions (notamment le dioxyde de soufre contenu dans les gaz d'échappement des voitures).

Quelques cyanobactéries constituent le partenaire photosynthétique du champignon pour environ 10% des lichens, le genre *Nostoc* étant le plus commun. Ces procaryotes très anciens (environ 4 milliards d'années) sont les premiers à avoir élaboré de la chlorophylle et donné naissance à la photosynthèse* aérobie ; à l'origine de l'oxygène existant sur notre planète ; elles sont aussi capables de fixer l'azote atmosphérique. Des pigments surnuméraires leur donnent une coloration vert bleuâtre (d'où le nom d'algues bleues autrefois attribué).



Nostoc commune (cyanobactéries en amas, gonflant par temps humide et aussi appelées "crachat de lune")

RÔLES DANS LES ÉCOSYSTÈMES



Xanthoria elegans

Le mode de vie des champignons et des lichens leur confère un rôle fondamental dans les écosystèmes naturels et dans les équilibres biologiques, en interagissant de façon étonnante avec le sol, les plantes et les animaux.

RÔLE ÉCOLOGIQUE DES LICHENS

Outre les colorations et les aspects que donnent les lichens aux supports qu'ils colonisent (rochers, arbres, landes... mais aussi aux monuments qu'ils ornent depuis des siècles), les lichens ont un rôle très important d'un point de vue écologique. Ils constituent souvent la première matière organique à s'installer sur n'importe quel type de support. Ils présentent pour l'homme et les animaux des ressources variées, recelant encore beaucoup de particularités que les scientifiques s'emploient à comprendre et à valoriser.



Xanthoria aureola avec Criste marine (*Crithmum maritimum* L.)



Lichina pygmaea sur rochers en bord de mer

Sur des supports minéraux comme les rochers où l'on trouvera surtout des lichens encrustés (des lichens dits "crustacés"), ils apportent la première matière organique. Ils constituent parfois un abri pour de petits êtres vivants et initient les premiers jalons de la chaîne alimentaire. Lumière solaire pour la photosynthèse, particules en suspension dans l'air et humidité ambiante leur suffisent pour se structurer et synthétiser des molécules parfois très complexes.

Interactions avec le sol :

Le saprotrophisme

La digestion des matières organiques mortes est la spécialité des champignons, qui jouent le rôle de principal "éboueur" des écosystèmes ; ils travaillent en synergie avec la microfaune, qui fragmente les déchets végétaux, et les bactéries.

Leur capacité à décomposer la lignine, constituant des vaisseaux conducteurs des plantes (et notamment du bois), est unique dans le monde vivant, et sans ces champignons responsables de "pourriture blanche" – qui sont apparus au cours de l'ère Secondaire – les bois et feuilles continueraient de s'accumuler sur des kilomètres d'épaisseur !

Mais la décomposition de la lignine exige beaucoup d'eau et d'oxygène. Lorsque l'un de ces éléments manque – en climat sec en particulier – les champignons n'exploitant pas la lignine prennent le relais et décomposent rapidement les glucides (cellulose), laissant derrière eux la lignine non décomposée sous forme de petits cubes rouges (d'où le nom

de "pourriture cubique"). Ceux-ci, lentement incorporés au sol servent de réserve d'eau pour les arbres vivants et contribuent à la résistance de la forêt aux périodes de sécheresse.

Le saprotrophisme se traduit aussi par la spécialisation de nombreuses espèces pour des substrats particuliers mais éphémères : excréments (riches en azote), charbon (riche en phosphore), fruits, feuilles ou tiges de plantes spécifiques (comme *Rutstroemia echinophila* sur bogues de châtaignes), voire cadavres ou phanères* d'animaux...

Inutile de préciser que les décomposeurs s'attaquant à notre nourriture (comme les "moisissures" pouvant produire des mycotoxines*) ou à nos habitations (comme la méréule, *Serpula lacrymans*, responsable de pourriture brune sur les charpentes), sont mal vus des humains !

Formation des sols et de la végétation associée

Les lichens sont les pionniers de la formation des sols. Dans des conditions climatiques de température et d'humidité le permettant (les cellules des êtres vivants ont besoin d'eau liquide...), les lichens libèrent des minéraux de la roche-mère, ils produisent et accumulent lentement des matières organiques. Ajoutés aux produits de l'érosion, elle-même facilitée par la présence des lichens, cette accumulation progressive favorise le développement des lichens eux-mêmes, et simultanément ou successivement l'installation d'autres formes d'êtres vivants : bactéries, champignons, microfaune, végétation de mousses et de fougères puis d'autres plantes. En présence d'eau, et en utilisant les matières organiques accumulées, les éléments minéraux de la roche-mère, la lumière du soleil, les gaz atmosphériques, tous ces êtres vivants interagissent pour conduire à la lente et complexe formation d'un sol.



En forêt, un arbre augmente ses capacités de photosynthèse en développant un tronc élevé, portant de nombreuses branches et feuilles, mais il a besoin pour cela de beaucoup d'énergie et de matières premières. Ces feuilles et branches sont plus ou moins fragiles, et peuvent être abimées par les intempéries, ravagées par des parasites (parfois des champignons...), consommées par divers animaux.

Pour que la photosynthèse reste efficace, et pour évacuer certaines molécules qui s'y accumulent, les feuilles doivent être renouvelées périodiquement : chaque année chez les espèces "à feuilles caduques" ou tous les 2 à 5 ans pour les espèces "à feuilles persistantes" ... Avant qu'elles ne tombent, environ la moitié des ressources chimiques qu'elles contiennent, en particulier en azote et en phosphore, migre dans les tiges. Mais on est encore loin d'un réapprovisionnement équilibré pour l'arbre !

Une fois tombées au sol, feuilles et branches mortes forment une litière, progressivement décomposée par des champignons, des bactéries, des petits animaux. Simultanément, et entre autres processus liés au fonctionnement chimique du sol et à l'action de divers êtres vivants qui y sont présents, d'autres champignons rendront biocompatible le phosphore issu de la dégradation de la roche-mère.

Dans un sol qui "fonctionne bien", c'est-à-dire un sol vivant dont les ressources s'auto-entretiennent (le "*développement durable*" n'est pas vraiment une notion nouvelle lorsqu'on étudie l'évolution de la vie sur Terre...), les matières organiques recyclées et les éléments chimiques rendus biocompatibles seront disponibles, directement ou indirectement, pour tous les êtres vivants de la forêt : archées, eubactéries, végétaux, champignons, animaux.

Tous ces êtres vivants – dont nous faisons partie – sont étroitement interdépendants : la vie terrestre, telle que nous la connaissons, ne serait pas possible sans les champignons !

Interactions avec les plantes

Le prélèvement de matière organique sur un être vivant est nécessairement défavorable à celui-ci à priori ; mais dans le cas de relations mutualistes, fondées sur un "échange de bons procédés", les deux organismes y trouvent leur compte.

Le parasitisme est un prélèvement à sens unique : l'hôte parasité se voit dépossédé d'une partie de sa matière organique ; mais ce parasitisme peut être contrôlé, n'entraînant pas la mort de l'hôte, en attaquant de petites zones délimitées (parasites endémiques) ou plusieurs parties de l'organisme (parasite systémique, beaucoup plus invasif*).

Les parasites biotrophes vivent "en équilibre" avec l'hôte : s'ils le tuaient ils disparaîtraient avec.

Leurs cycles de reproduction sont étroitement adaptés à celui de leur(s) hôte(s), qui peuvent se succéder au cours du cycle.

Mais certains parasites sont nécrotrophes : dominant rapidement leur hôte, parfois épidémiques, ils l'envahissent et entraînent sa mort, puis deviennent saprotrophes en décomposant le cadavre.

La symbiose est au contraire bénéfique aux deux partenaires ; il en existe trois modalités impliquant le règne fongique :

- a. La symbiose mycorhizienne, dans laquelle le champignon entoure ou envahit partiellement les extrémités des racines de la plante, y prélève les glucides produits par celle-ci, mais fournit en retour l'eau et les sels minéraux que la plante ne saurait prélever elle-même efficacement dans le sol. Ainsi 95 % des plantes terrestres sont mycorhizées ; mais si les arbres forestiers tempérés sont associés à de "gros champignons" plus sophistiqués comme les cèpes, girolles, trompettes ou truffes, les herbes et les arbres tropicaux sont surtout associées à des champignons beaucoup plus discrets, les *Glomeromycota*, qui ne "sortent" jamais du sol et n'ont quasiment pas évolué morphologiquement depuis l'ère Primaire et l'apparition des premières plantes terrestres !



Mycorhizes sur racines d'arbusier
(*Arbutus unedo* L.)

CHAMPIGNONS ET ORCHIDÉES

Les graines d'Orchidées sont minuscules, et ne contiennent pas les réserves nutritives permettant à la jeune plante de se nourrir, au début de la germination, avant de pouvoir devenir autonome.

Chez les Orchidées, la germination ne peut se faire qu'en présence d'un champignon, qui doit respecter un équilibre subtil entre son développement et celui de la plantule : si l'un ou l'autre se développe trop, aucun des deux ne survivra...

Le plus souvent, l'Orchidée restera mycorhizée tout au long de sa vie, mais, chez certaines espèces, cette interdépendance Orchidée/Champignon peut devenir bien plus étroite que chez la plupart des végétaux...

Un même mycélium forme parfois des mycorhizes avec deux ou plusieurs végétaux voisins, et il transporte alors, de l'un à l'autre, des composés organiques et/ou minéraux.

Ces échanges peuvent être réciproques ou à sens unique : dans ce dernier cas, le champignon prend des composés dans la sève du végétal "donneur", par exemple un arbre, et la donne au végétal "receveur", qualifié de "mycohétérotrophe".

Par exemple la Néottie nid d'oiseau (*Neottia nidus-avis*), qui a perdu toute capacité de photosynthèse, et le Limodore à feuilles avortées (*Limodorum abortivum*), qui ne les a perdues qu'en partie.



Neottia nidus-avis (L.) Rich.
Néottie nid d'oiseau



Limodorum abortivum (L.) Sw.
Limodore à feuilles avortées

b. L'endosymbiose, mise en évidence il y a seulement vingt ans, dans laquelle le mycélium du champignon se développe à l'intérieur des tissus d'une plante, sans provoquer de lésion, et en renforçant la résistance de celle-ci à la sécheresse et aux consommateurs en produisant des toxines. L'un des exemples les mieux connus est un champignon (Taxomyces) endophyte* des ifs (Taxus), responsable de la production de molécules (taxoïdes) rendant l'arbre hautement toxique, et aujourd'hui utilisés dans les traitements de certains cancers.



Taxus baccata L. - If

FAUT-IL SE DÉBARRASSER DES LICHENS DE SON JARDIN?



Psilolechia lucida sur pin

Beaucoup voient les lichens comme des parasites qui vont affaiblir les arbres de leur verger. En général il n'en est rien et il faut rappeler que s'ils sont plus ou moins étroitement ancrés sur leur support, les lichens n'ont pas de racines car ils n'ont pas besoin de prélever d'éléments nutritifs. À moins que l'arbre ne soit déjà particulièrement affaibli pour maintenir un bon équilibre écologique, les lichens colonisent les écorces dans un rôle normal et positif. En altitude, ils forment comme un manteau protecteur sur les troncs et les branches des sapins notamment qui ne semblent absolument pas en être affectés. Leur nombre et leur variété est au contraire signe d'une bonne qualité de l'air ambiant.

c. La symbiose lichénique qui aboutit à la formation d'un nouvel individu, le lichen dont les thalles visibles peuvent être remarquables par leur forme et leur couleur mais aussi par leur mode de vie singulier et leur capacité de résistance en conditions extrêmes.

Interactions avec les animaux

Champignons et insectes : les interactions mutualistes entre ces deux univers sont étranges et encore mal comprises, mais fascinent les naturalistes...

Ainsi, les fourmis et termites "champignonnistes", propres aux zones tropicales, se nourrissent exclusivement de champignons qu'ils font pousser sur des débris végétaux qu'ils renouvellent sans cesse.

Les champignons sont eux-mêmes très adaptés à ce mode de vie et ne vivent qu'au sein de ces termitières ou fourmilères.



Chenille processionnaire du pin

À l'inverse, nombreux sont les champignons parasites d'insectes !

Les plus visibles envahissent le corps de l'insecte de l'intérieur, après que celui-ci a ingéré spores ou mycélium. Certaines de ces espèces produisent des composés immunosuppresseurs* (comme la ciclosporine*) qui facilitent l'infection. Mais les surprises continuent : on découvre que certains champignons ont une vie en dehors de l'insecte, en étant endophytes d'herbes ou d'arbres.

Et si le champignon agissait comme protection "naturelle" contre les insectes prédateurs de la plante-hôte ?



Cordyceps militaris - Cordyceps militaire

Cordyceps militaris : un parasite de parasite...

La processionnaire du Pin, *Thaumetopoea pityocampa*, est un petit papillon discret, dont les chenilles se nourrissent d'aiguilles de pins. Après éclosion, elles tissent sur les rameaux de grandes poches de soie, où elles vivent en colonies et passent l'hiver, ne sortant pour se nourrir que par temps doux. Leur croissance terminée, elles quittent l'arbre en "procession", formant une longue chaîne guidée par la chenille de tête, et regagnent l'humus du sol pour se nymphoser*. Si elles ont été contaminées par les spores du champignon *Cordyceps militaris*, les chrysalides ne se métamorphoseront pas en papillons : le cordyceps les digèrera de l'intérieur, et seuls ses sporophores, semblables à de petites massues orangées, révéleront sa présence dans la pinède, au début du printemps. L'abondance des sporophores du *Cordyceps* alterne avec celle de la Processionnaire dont il contribue à réguler les populations, selon des cycles de 3 ou 4 ans.

La chenille de la Processionnaire du Pin, en plus des préjudices causés à la sylviculture, est potentiellement dangereuse : ses poils très urticants, qui la protègent des prédateurs, peuvent provoquer de dramatiques et violentes allergies, au contact de la peau et des muqueuses de la bouche, des yeux, des voies respiratoires.

QUAND LES CHAMPIGNONS TUENT...

Le crapaud accoucheur (*Alytes obstetricans*) est une espèce d'amphibien d'Europe occidentale qui porte sur son dos les œufs pondus par sa femelle, et veille sur eux avec l'attention d'une mère. Ce crapaud se plaît dans les massifs montagneux, près des points d'eau. Tout irait bien pour ce batracien s'il n'était attaqué par un micro-champignon, *Batrachochytrium dendrobatidis*, parasite qui provoque la mort de ses victimes en vitrifiant leur peau, ce qui bloque leurs organes respiratoires.

Le phénomène a été particulièrement observé aux environs du lac d'Arlet, dans les Pyrénées, à 2000 mètres d'altitude. La contamination s'opère par l'eau. Lorsque les crapauds sont en contact avec une eau infectée par les spores du champignon, ces dernières s'incrudent dans leur peau. Incapables de respirer, les crapauds se dessèchent comme s'ils avaient été cuits au four. La maladie provoquée par le champignon a été identifiée : la chytridiomycose ; mais on ne sait toujours pas la traiter. De l'autre côté de l'Atlantique, ce ne sont pas les crapauds mais les chauves-souris qui sont décimées par un champignon. Elles sont atteintes du syndrome du nez blanc, à l'origine duquel a été identifié un champignon parasite, *Geomyces destructans*. Découvert



en 2006, ce champignon a déjà tué plus d'un million de chauves-souris aux États-Unis. Le parasite infecte les chauves-souris durant l'hiver, alors qu'elles hibernent. Leur nez se couvre d'une infection fongique blanche pendant qu'elles dorment suspendues la tête en bas dans des cavernes, ce qui a donné son nom à la maladie. On ignore comment agit le mal ; seul un détail caractéristique a été observé : les chauves-souris atteintes perdent toutes les graisses qu'elles avaient accumulées pour hiberner.

L'hypothèse la plus probable, formulée par l'Institut d'Études géologiques, est que le champignon provoquerait une déshydratation importante chez l'animal, l'obligeant à de fréquents réveils durant son hibernation. Ses

réserves de graisses en viendraient progressivement à s'épuiser, entraînant inexorablement la chauve-souris vers la mort. On ignore encore également comment prévenir ou traiter la maladie.

Dans les régions subpolaires, les lichens (surtout des Cladoniacées) sont utilisés pour nourrir les animaux (rennes d'Europe) et constituent jusqu'à 90% de la diète hivernale de certaines espèces sauvages (caribous, bœufs musqués...). De plus petits animaux comme les escargots se nourrissent souvent de ces lichens sur les rochers notamment dans les régions froides, mettant parfois des espèces de lichens en danger de disparition. Leurs thalles développés constituent aussi tout un écosystème protecteur pour une microfaune variée (insectes, araignées...), parfois très spécifique. Il est fréquent que des papillons se protègent de prédateurs par leur mimétisme avec des lichens sur des écorces d'arbre par exemple quand ce ne sont pas leurs chrysalides qui se confondent avec des fragments de lichen.



Cladonia portentosa



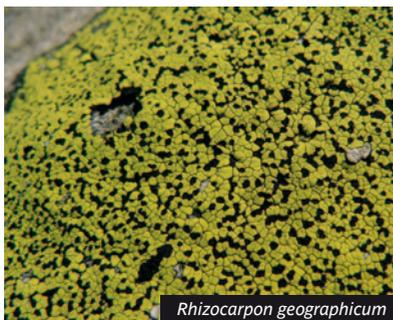
Asterophora parasitica sur *Russula nigricans*
(Russule noirissante)

UNE INTERACTION ÉTONNANTE : QUAND LES CHAMPIGNONS ATTAQUENT LES CHAMPIGNONS ...

Les champignons aussi vivent et meurent... et leur décomposition est prise en charge par d'autres champignons plus ou moins spécialisés. Certains sporophores particulièrement résistants, comme les vieilles russules noirissantes, ont droit à des décomposeurs spécifiques, qui appartiennent eux aussi au groupe des champignons à lames : les *Asterophora*. Parasites ou saprotrophes ?

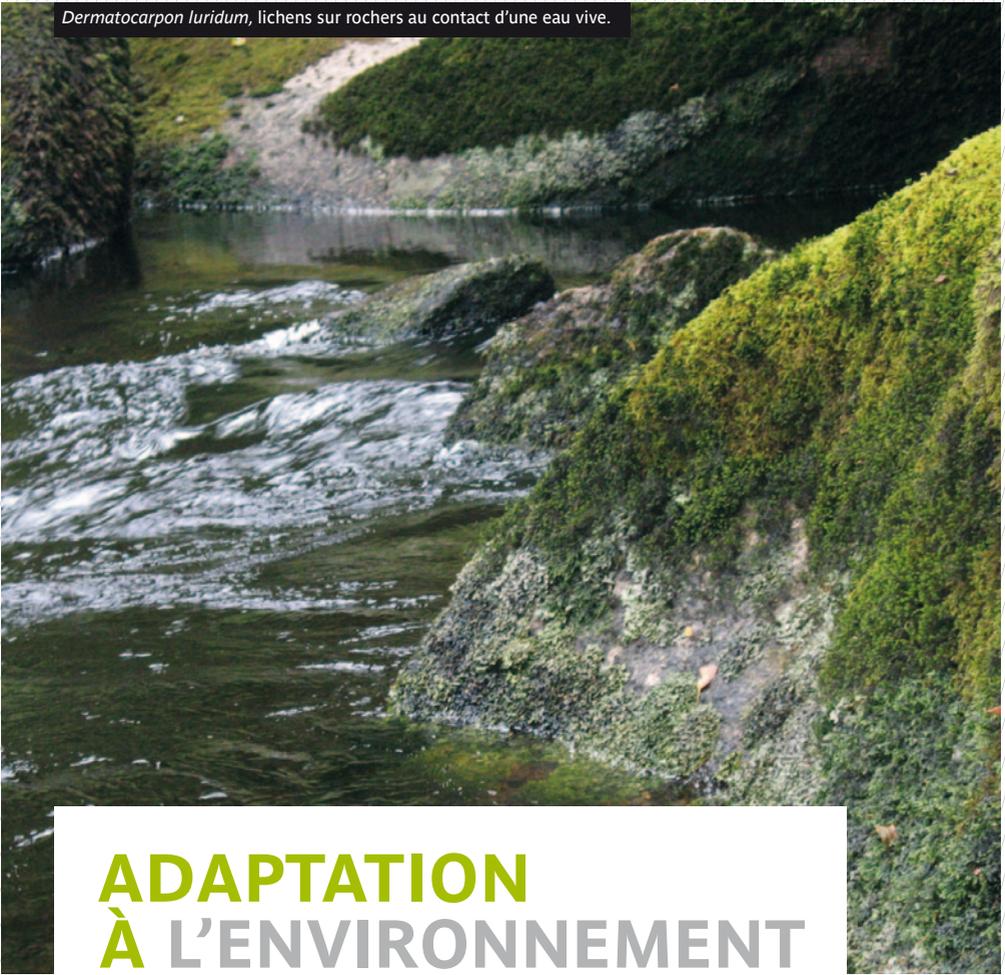
Difficile de savoir si l'attaque se fait avant ou après la déchéance de l'hôte... Certains sont d'authentiques parasites, et stérilisent leur hôte en se développant sur leur hyménium. On connaît ainsi les *Peckiella* parasitant les lactaires sanguins, qui prennent une consistance très ferme et dont les lames disparaissent ; ou le bolet parasite (*Pseudoboletus parasiticus*) qui parasite un de ses proches cousins, le scléroderme commun (*Scleroderma citrinum*) et fructifie à sa base en le vidant de sa substance.

Sous nos latitudes, les conditions climatiques extrêmes de la haute-montagne limitent elles aussi la végétation, mais évidemment pas de la même manière que dans les régions arctiques. Dans le Parc National de la Vanoise, au-dessus de 2500 mètres d'altitude en été, et lorsqu'on sait les approcher discrètement et gagner leur confiance, on peut observer des bouquetins qui lèchent la roche. En y regardant de plus près, cette roche est couverte de lichens, entre autres du genre *Rhizocarpon*. Dans le lichen, les deux symbiotes échangent leurs productions : le champignon libère des sels minéraux de la roche et synthétise des vitamines, essentiellement du groupe B, alors que l'algue – ou la cyanobactérie – synthétise plutôt de la vitamine C, et divers sucres : des polyols s'il s'agit d'une algue, du glucose s'il s'agit d'une cyanobactérie.



Les oiseaux utilisent fréquemment des lichens mélangés avec d'autres débris végétaux pour fabriquer leurs nids. En contrepartie certains lichens apprécient les substrats azotés fournis par les fientes d'oiseau. Dans les Hautes-Alpes, la présence de *Xanthoria elegans* a permis de localiser les aires d'aigles royaux.

Dermatocarpon luridum, lichens sur rochers au contact d'une eau vive.



ADAPTATION À L'ENVIRONNEMENT

D'un point de vue environnemental, les lichens ont une place à part car ce sont des organismes pionniers. Autonomes d'un point de vue énergétique grâce à leur capacité de photosynthèse (liée à la présence de l'algue verte ou de la cyanobactérie), ils colonisent tous les supports et leurs espèces sont adaptées à des milieux extrêmement variés (secs ou humides, ombragés ou ensoleillés). Ils n'ont pas de racines et, se nourrissant de peu, ils se rencontrent sous toutes les latitudes et à toutes les altitudes. Certains se trouvent dans les cours d'eau (ex. *Dermatocarpon luridum*) ou régulièrement recouverts par la marée (ex. *Lichina pygmaea*), d'autres dans des déserts arides, parfois sur des roches rendues brûlantes par le soleil, sur

des laves volcaniques (exemple des stéréocaulons) mais beaucoup apprécient les régions froides. Au prix d'une croissance très lente, ils résistent à des températures de -40°C et il n'est pas rare de trouver des lichens dont les filaments fongiques s'insinuent de plusieurs centimètres à l'intérieur des roches : ce sont les lichens cryptoendolithiques.

LES LICHENS, UNE FORME DE VIE ULTRA-RÉSISTANTE

La résistance des lichens en conditions environnementales extrêmes et contrastées (froid, chaleur, irradiations UV...) leur permet de rester en vie sur plusieurs milliers d'années, au prix d'une croissance souvent très lente (de quelques micromètres à quelques centimètres par an selon les espèces). Ils peuvent se mettre en sommeil pendant de très longues périodes et réactiver leur métabolisme sur de courts instants plus favorables : c'est la reviviscence. Les lichens sont généralement très tolérants vis-à-vis de polluants comme les métaux ou les éléments radioactifs.



Rhizocarpon (jaunâtre)
et *Xanthoria* (orangé)

En 2005, une expérience de l'Agence Spatiale Européenne a montré que deux lichens (*Rhizocarpon geographicum* et *Xanthoria elegans*) exposés une quinzaine de jours aux rayons cosmiques et à l'intégralité du spectre solaire avaient gardé quasi intacts leur capacités métaboliques. Ce même *Xanthoria* a aussi été testé en 2010 par des scientifiques en atmosphère martienne reconstituée et les résultats montrent que de tels organismes symbiotiques sont capables de se maintenir et même d'être fonctionnels dans ces conditions pendant plusieurs semaines pour peu qu'il y ait un minimum d'eau résiduelle.

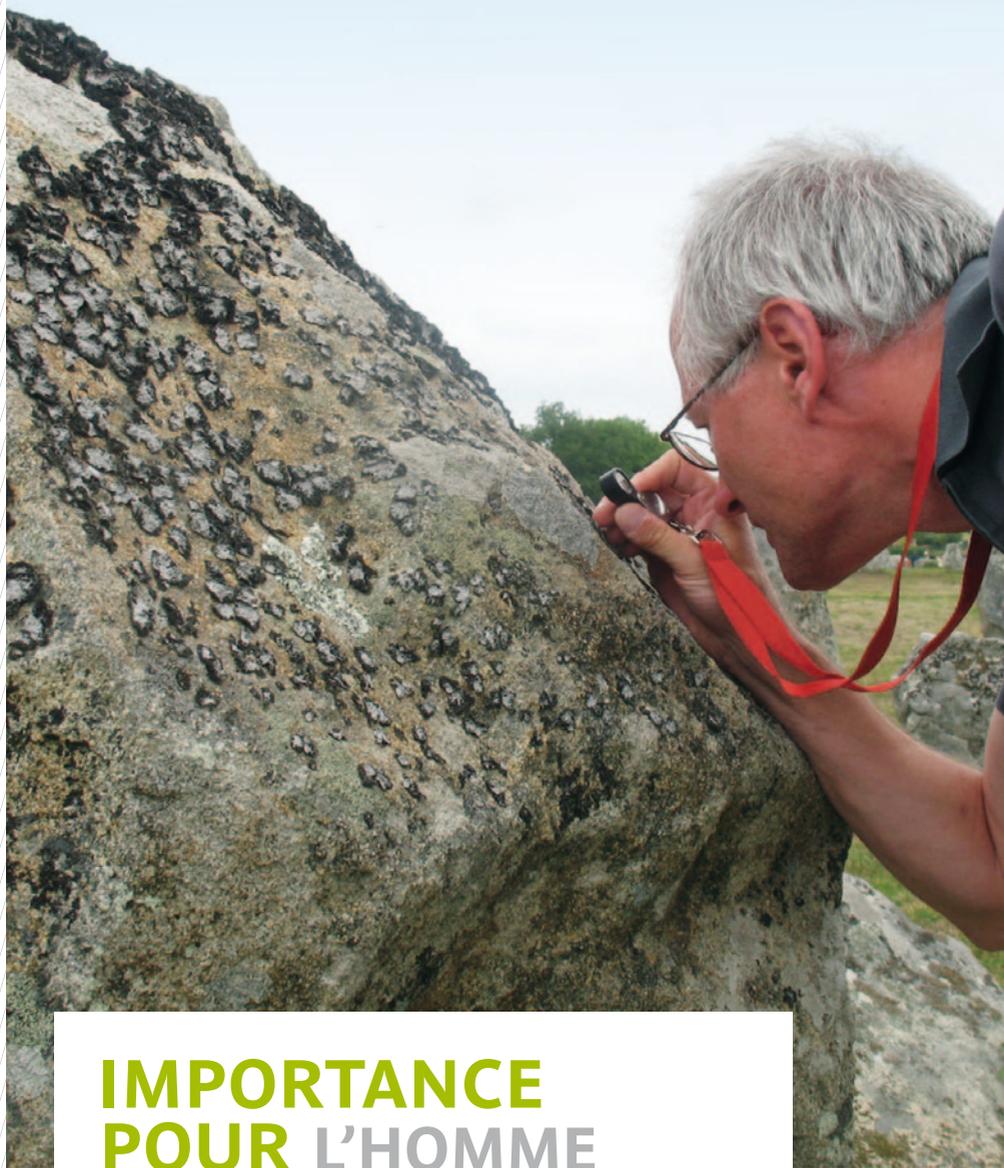


Lobaria pulmonaria - Lichen pulmonaire

LES LICHENS, MARQUEURS DE POLLUTION

Paradoxalement, ils peuvent se révéler très fragiles vis-à-vis de certains polluants. Comme des "éponges", ils captent l'eau et les microparticules en suspension dans l'air de sorte qu'ils sont très sensibles à la présence de certains composés, notamment pour les oxydes de soufre, émis par exemple par les véhicules à moteur. Les lichens fruticuleux* qui ont peu de contact avec leur

support sont en général très affectés par cette pollution et disparaissent les premiers. Depuis plus de cent ans, des cartographies précises de la qualité de l'air peuvent être établies (polluants gazeux acides) avec le relevé de présence ou de disparition de quelques dizaines d'espèces lichéniques. La diversité et la vitalité des lichens sont généralement des critères bien corrélés avec une bonne qualité de l'air. Des espèces emblématiques comme le lichen pulmonaire (*Lobaria pulmonaria*), sont aussi en recul car leur rythme de croissance et de dispersion très lente les rend dépendantes des forêts n'ayant pas connu de perturbations importantes depuis plusieurs décennies ("continuité écologique").



IMPORTANCE POUR L'HOMME

Santé : de la médecine traditionnelle aux médicaments de pointe

Parce que la plupart des champignons apparaissent de manière imprévisible et sont éphémères dans la nature, ils sont assez peu utilisés en médecine traditionnelle.

Ce n'est pourtant pas faute de contenir des molécules actives, comme le prouve la dangerosité des champignons toxiques. Certains ont d'ailleurs été largement utilisés autrefois, depuis l'époque romaine, comme "poisons de cour" pour éliminer des rivaux gênants. Or, s'il est bien connu que "c'est la dose qui fait le poison", c'est aussi souvent à partir des poisons que l'on fait des médicaments. L'ergot de seigle est un champignon parasite des graminées céréalières qui a provoqué depuis la plus haute antiquité des intoxications dramatiques décrites sous le nom de "mal des ardents" ou de "feu de St-Antoine".

Si à l'époque les malheureux étaient considérés comme possédés par le Démon, à cause de brûlures et de gangrènes qui nécrosaient leurs membres ou des hallucinations qui les habitaient, certains bénéficient aujourd'hui des bienfaits de ces molécules : une fois isolés, parfois modifiés par la chimie et administrés à la dose voulue, les alcaloïdes* issus de l'ergot sont des médicaments vasodilatateurs, antiparkinsoniens, antihémorragiques, antimigraineux. Le célèbre LSD* est l'un de ces dérivés, dont les effets si marqués et dangereux le font classer comme une drogue puissante, d'usage illicite.

Ce n'est d'ailleurs pas le seul champignon provoquant des effets psychotropes, et l'on pourra citer notamment les psilocybes, des panéoles ou bien encore certaines amanites comme l'amanite tue-mouches qui, de pratiques chamaniques, sont passés aujourd'hui à des usages dits "récréatifs", ce qui n'est pas sans poser des problèmes de santé publique.

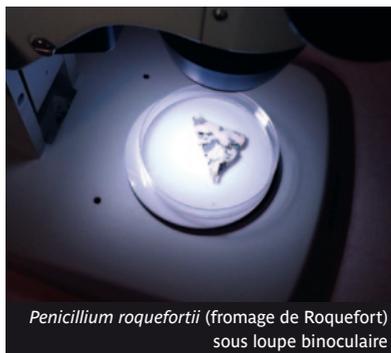
Dans les pays asiatiques les champignons jouissent d'une tradition médicinale bien plus forte qu'en Occident. Certains sont même des TCM (Traditional Chinese Medicines) réputés et un commerce de plus en plus important se développe autour de ces champignons, cultivables (reishi, shii-take...) ou récoltés dans des conditions parfois très particulières (*Cordyceps sinensis* est un champignon parasite d'une chenille, dont seuls quelques centimètres émergent dans les vastes étendues des hauts plateaux himalayens). Les résultats de certaines études sont parfois discutables quant à leur valeur scientifique mais des effets sur le système immunitaire, généralement attribuables à des polysaccharides* de haut poids moléculaire, peuvent être retenus. Certains bénéficient d'un statut de médicament dans quelques pays asiatiques et sont notamment utilisés en complément de thérapie anticancéreuse.

Des recherches actives sont également menées actuellement sur des petites molécules (les triterpènes*, en particulier) issues de certains polypores comme les ganodermes. On a montré que l'espèce traditionnellement utilisée en Chine et couramment appelée *Ganoderma lucidum*, n'est en fait pas cette espèce (qui est strictement européenne) mais qu'elle représente plusieurs variétés distinctes, dont les compositions chimiques sont différentes. Le traitement de ces questions doit donc faire intervenir conjointement une approche en taxinomie fine (mettant en jeu les méthodes modernes d'investigation de la biologie moléculaire, permettant d'identifier très précisément les espèces étudiées) et des moyens poussés d'investigation chimique (analyse, identification de molécules, etc.). Si la route est longue pour obtenir un médicament à partir de ce type de recherches sur des groupes d'espèces aux usages traditionnels, cela n'est possible que par une approche pluridisciplinaire aussi rigoureuse et méthodique que possible.



Claviceps purpurea - Ergot de seigle

D'autres petites molécules issues de champignons peuvent aussi avoir des effets très spécifiques et l'on citera l'exemple des statines anticholestérolémiantes. On trouvera ces molécules dans des champignons supérieurs comme certains pleurotes ou espèces ressemblantes (*Pleurotus ostreatus*, *Arrhenia auriscalpium*...) mais elles seront plus facilement obtenues par culture en fermenteurs à partir de mycéliums d'espèces "microscopiques", comme *Aspergillus terreus*. En effet, il ne faut pas oublier que les champignons microscopiques, qui ne forment pas de sporophores et sont souvent connus seulement par leur mycélium, sont une source exceptionnelle de molécules d'intérêt pour la pharmacie. C'est d'ailleurs à partir du fameux *Penicillium notatum* aux effets d'antibiose observés par Fleming en 1927, que la voie des antibiotiques a été ouverte avec la pénicilline, produite ensuite par fermentation à partir de 1943. D'autres ont suivi comme les céphalosporines et toujours à l'heure actuelle ces fermentations sont de la plus grande utilité, ne serait-ce que pour obtenir des structures de base qui seront ensuite modifiées par la chimie pour en élargir le spectre d'activité.



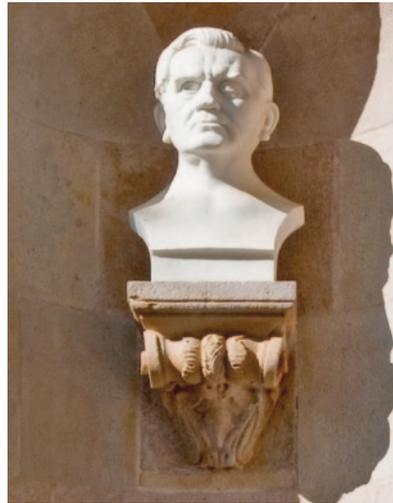
Penicillium roquefortii (fromage de Roquefort) sous loupe binoculaire

LA DÉCOUVERTE ACCIDENTELLE DE LA PÉNICILLINE

Sir **Alexander Fleming** (1881 – 1955) est un biologiste et un pharmacologue écossais qui a découvert une substance antibiotique appelée "pénicilline" qu'il a isolée à partir du champignon *Penicillium notatum* en 1928, découverte pour laquelle il a partagé le prix Nobel de médecine en 1945. Le 3 septembre 1928, il enquêtait sur les propriétés des staphylocoques. Il était déjà bien connu à cette époque en raison de ses premières découvertes et il avait la réputation d'être un chercheur remarquable mais négligeant ; il oubliait le plus souvent les cultures sur lesquelles il travaillait et son laboratoire était d'habitude en plein désordre.

Après de longues vacances, il remarqua que nombre de ses boîtes de culture avaient été contaminées par un champignon et il les plongea dans du désinfectant.

Devant montrer son travail à un visiteur, il récupéra certaines des boîtes qui n'avaient pas été complètement trempées et c'est alors qu'il remarqua autour d'un champignon une zone où les bactéries ne s'étaient pas développées. Il isola un extrait de la moisissure, l'identifia correctement comme appartenant à la famille du *Penicillium* et appela cet agent pénicilline. Ce n'était certes pas la première fois qu'une culture bactérienne était infectée ; le génie d'Alexander Fleming est d'avoir compris l'importance du phénomène et de l'avoir expliqué.



Un autre apport considérable dans le domaine du médicament est apparu avec la ciclosporine qui a permis des greffes d'organes au début des années 1980. Si le champignon utilisé pour la production (*Tolypocladium inflatum*) avait initialement été isolé en 1959 par Walter Gams à partir d'un prélèvement de sol effectué dans un petit village tyrolien (Oberurgl), c'est un chercheur suisse, Jean-François Botrel qui, à partir d'échantillons de terre ramenés de ses vacances en Norvège aura mis en évidence plus de 20 ans après les remarquables activités immunosuppressives de ce produit.

De plus en plus de médicaments sont actuellement produits par génie génétique : l'inoffensive levure de boulanger, *Saccharomyces cerevisiae*, après insertion des gènes adéquats, permet notamment d'obtenir de l'insuline humaine ou des vaccins comme celui de l'hépatite B. La capacité de la levure à se multiplier rapidement en fermenteur pour des productions biotechnologiques à grande échelle et surtout son fonctionnement de type eucaryote, se rapprochant de celui de la cellule humaine, sont des atouts importants pour la production pharmaceutique.

Alimentation

Si les champignons (ou plutôt les sporophores de certaines espèces) sont particulièrement prisés pour leur valeur culinaire, notamment pour les parfums et les saveurs qu'ils apportent aux mets, on rappellera ici qu'ils doivent être consommés avec modération. N'a-t-on pas découvert au début des années 2000 qu'une espèce réputée excellente comestible, le *Tricholoma auratum* (ou *frondosae*), appelé tricholome doré ou tricholome des chevaliers (mais aussi bidaou, jaunet ou canari) pouvait causer une destruction des fibres musculaires qui

a conduit à plusieurs décès, la plupart du temps après des consommations très excessives ? L'apport diététique des champignons de cueillette bénéficie d'un bon ratio protéique qui leur vaut le surnom de "viande du pauvre", mais les matières grasses ajoutées lors de l'obligatoire cuisson (sauf rares exceptions) modifient sensiblement ces proportions ; de plus les glucides fongiques, inassimilables par l'organisme humain, sont dépourvus d'intérêt alimentaire et peuvent causer divers troubles intestinaux.



Tricholoma auratum (ou *frondosae*) - Tricholome doré (ou tricholome des chevaliers)



Boletus edulis - Cèpe de Bordeaux



Tuber melanosporum - Truffe du Périgord

CONSOMMATION DES CHAMPIGNONS

Si vous souhaitez récolter des champignons pour les consommer :

- **Assurez-vous que le lieu de récolte n'est pas potentiellement pollué** : bord des routes (sels de plomb), voisinage d'anciennes décharges d'ordures ménagères ou de sites industriels (métaux lourds, pollutions chimiques diverses, voire radioactivité), cultures et pâtures ayant subi des traitements chimiques... Et n'oubliez pas que la récolte sur les propriétés d'autrui est réglementée...
- **Pour la consommation, cueillez uniquement des spécimens très frais et en très bon état**, ne les mélangez pas à des spécimens que vous souhaitez seulement identifier, **et récoltez toujours chaque champignon en entier**, avec la base de son pied, **afin de pouvoir l'identifier avec certitude**. Le cas échéant, faites contrôler la totalité de votre récolte par une personne compétente, pharmacien ou mycologue confirmé. Même s'il lui est difficile de connaître toutes les espèces, il saura vous inciter à la plus grande prudence. Attention à une identification superficielle à partir de simples ressemblances avec une illustration. Ne vous fiez pas aux indications de comestibilité d'ouvrages trop anciens... les connaissances ont évolué (exemple de *Tricholoma auratum*).
- **Placez la récolte en couche mince dans un panier** : les champignons s'abîment et fermentent très rapidement dans des poches en matière plastique.
- **Ne consommez pas d'autres espèces que celles qui sont régulièrement consommées** sur de vastes territoires **et dont l'innocuité n'a jamais été prise en défaut**. Le nombre de ces espèces est réduit, tout au plus quelques dizaines, soit moins de 1% des espèces que l'on peut rencontrer, **et il se réduit de plus en plus suite aux observations récentes**.
- **Évitez toute espèce pouvant être confondue avec des espèces toxiques** : Meunier (*Clitopilus prunulus*) avec Clitocybes blancs (*Clitocybe phyllophila* ou *proches*), Tricholome séparé (*Tricholoma sejunctum*) avec Amanite phalloïde, etc.
- **Consommez les champignons avec modération : jamais en trop grande quantité, et pas trop souvent**. Il y a des intoxications par "effet de seuil"... Ne proposez pas des champignons aux jeunes enfants ou à des personnes de santé fragile.
- **Consommez des champignons bien cuits** : *seules quelques rares espèces (comme le champignon de Paris) peuvent être mangées crues, mais alors peu souvent et en faibles quantités*.
- **Cuisinez les champignons le plus tôt possible après récolte, et consommez-les rapidement**. *Une fois cuisinés, ne les conservez pas plus de 2 jours au réfrigérateur et pas*

plus que quelques mois en conserves ou surgelés : certaines protéines des champignons se dégradent rapidement et deviennent indigestes, voire toxiques.

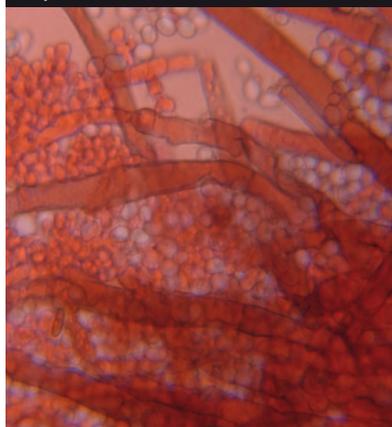
- **Souvenez-vous enfin que l'on aura toujours des difficultés à digérer tout aliment que l'on mange à contrecœur... et que le côté parfois indigeste du champignon est accentué par une trop grande quantité de graisse de cuisson !**

Macrolepiota procera - Lépiote élevée



Si des espèces microscopiques deviennent parfois visibles à l'œil nu lorsqu'elles se développent sur des supports favorables en les dégradant comme la moisissure du pain ou la pourriture de certains fruits, leur utilisation raisonnée est une source d'aliments majeurs pour l'homme. La levure de boulanger, *Saccharomyces cerevisiae*, est un Ascomycete indispensable, capable de transformer des sucres relativement simples en alcool, et permet la fabrication du pain et du vin depuis des millénaires. C'est aussi une source importante de vitamines du groupe B. D'autres

Botrytis cinerea - (Pourriture noble)

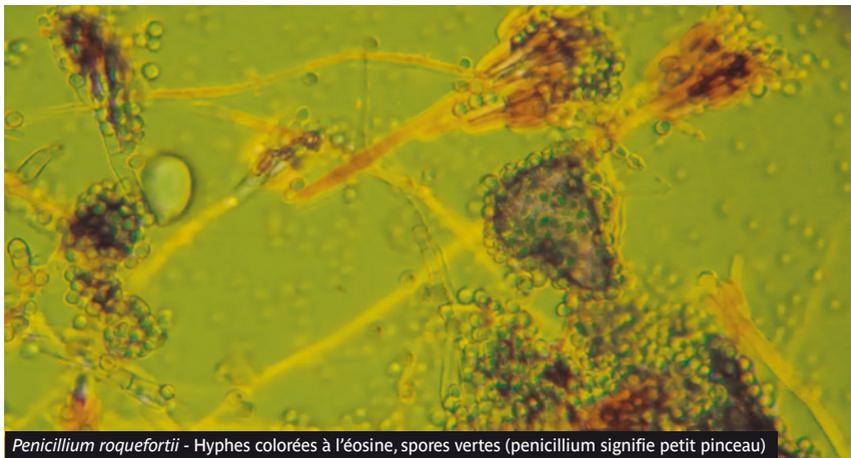


espèces sont indispensables à la fabrication de certains fromages à pâte persillée (*Penicillium roquefortii* pour le roquefort). En Asie, *Penicillium oryzae* est indispensable à la fabrication du miso à partir de riz alors que le saké sera obtenu par fermentation du riz avec des Mucorales. Les excellents vins liquoreux type Sauternes ou Jurançon moelleux sont obtenus après récolte de grains de raisins botrytisés, c'est-à-dire que l'on laisse se développer sur les grappes une "pourriture noble" (*Botrytis cinerea*) qui concentre les sucres dans les grains de raisin.

En dehors de ces utilisations métaboliques, des enzymes fongiques sont utilisées en agroalimentaire (pectinases pour la maturation des fruits, protéases pour attendrir la viande, acides aminés tels le glutamate ou l'aspartate). Elles ont accumulées en grande quantité et récupérées pour servir par exemple d'exhausteur de goût dans certains plats.

Pour les lichens, hormis quelques

utilisations anecdotiques (fabrication des hosties, chocolat au lichen d'Islande, biscuits indiens en Amérique du Nord, "iwatake" qui sont une gourmandise de prix pour les japonais), ils constituent plutôt une nourriture de dernier recours. Sans que l'on puisse l'affirmer avec certitude, il est possible que la "manne des Hébreux" décrite dans l'Exode ait pu correspondre à des lichens déserticoles, appelés "tripes de roche", que des vents violents peuvent parfois détacher de leur support.





Roccella fucoides



Roccella fuciformis

Les lichens sont peu digestes et leur amertume marquée peut être atténuée par des ébullitions répétées avec élimination des premiers bouillons. Aussi les Inuits et autres peuples de l'Alaska consommaient des lichens (de type *Cladonia* essentiellement) qui étaient extraits de la panse de caribous tués à la chasse. Un restaurant québécois a d'ailleurs proposé dans son menu une entrée à base de "mousse de caribou" : "la mousse de caribou de Nunavik sur crostinis grillés" et un célèbre chef danois a aussi créé un plat à base de lichens (*Cladonias* étuvés et croustillants) aromatisés avec une poudre de champignons.

D'OÙ PROVIENT L'EFFET IMMÉDIAT DE FRAÎCHEUR RESSENTI LORSQU'ON MET EN BOUCHE UN CHEWING-GUM OU CERTAINS PETITS BONBONS ?

Du menthol parfois, mais sa consommation est déconseillé aux jeunes enfants. Sinon, de divers polyols, ou "sucres alcoolisés", dont les cristaux engendrent une sensation de froid lorsqu'ils fondent en bouche, comme le xylitol, le mannitol, le sorbitol... ou **l'érythritol, ce dernier découvert il y a 140 ans dans les mêmes lichens à orseille** (*Roccella fucoides*, *Roccella fuciformis*) ! Également présent dans certains fruits mais en concentration bien plus faible, l'érythritol est un édulcorant de pouvoir sucrant immédiat mais fugace, un peu moindre que celui du sucre de cuisine (saccharose). Il est très peu digéré, aussi bien par les bactéries de la plaque dentaire - il ne favorise pas les caries - que par les bactéries de l'intestin : il provoque moins de fermentations et son effet laxatif est moindre que celui du sorbitol ou d'autres polyols. De ce fait, il fait partie des édulcorants "zéro calories", et il est parfois utilisé dans les régimes "sans sucre". Sous le code E968, il est utilisé par l'industrie agroalimentaire comme exhausteur de goût, ou plus récemment dans les "édulcorants de table" à base de Stévia (*Stevia rebaudiana* Bertoni, Asteracée sud-américaine) proposés sous la forme de "sucre en morceaux". Sa production industrielle est obtenue par fermentation de farine de blé ou de maïs par diverses levures (encore des champignons !), et donne des cristaux peu sensibles à l'humidité.

Teintures



Gyroporus cyanescens - Bolet bleuissant

Les champignons contiennent aussi des molécules colorées ou devenant colorées, parfois par une simple oxydation à l'air. Il suffit pour s'en convaincre d'observer le bleuissement intense et inquiétant de certains bolets comme l'indigotier (*Gyroporus cyanescens*) ou le rougissement de la golmotte (*Amanita rubescens*). Ces changements de coloration, qui n'ont rien à voir avec la toxicité, ont été mis à profit depuis des temps très anciens pour obtenir des teintures de couleurs variées. Des bolets, des paxilles, des gomphides et divers cortinaires aux couleurs vives (par ailleurs toxiques) ont été utilisés pour obtenir par décoction des couleurs jaunes, orangées ou verdâtres, généralement magnifiées et stabilisées par mordantage (ajout de fixateurs comme des sels d'aluminium, d'étain, de cuivre ou de fer). Mais ce sont surtout des espèces pérennes comme des polypores qui ont été utilisées dans ce sens.



Amanita rubescens - Amanite rougissante

Si certains d'entre eux présentent des couleurs très vives comme *Pycnoporus cinnabarinus*, d'autres prennent leur coloration après transformation suite à des décoctions ou un changement de pH comme pour *Hapalopilus rutilans* qui donne des teintes violacées avec une base forte. L'amadouvier (*Fomes fomentarius*) donne des colorations foncées (noirâtres avec des sels de fer) et *Polyporus alveolaris* extrait dans des recettes du XV^e siècle de la manufacture des Gobelins pour raviver en rouge écarlate et à prix modique les teintures obtenues par le coûteux kermès (rouge vif obtenu avec des

cochenilles). Cependant si ces pratiques survivent encore en Scandinavie, où les laines teintées avec des cortinaires et des polypores se retrouvent dans l'artisanat local, les champignons sont d'apparition fugace et aléatoire et les polypores ne sont pas si fréquents...



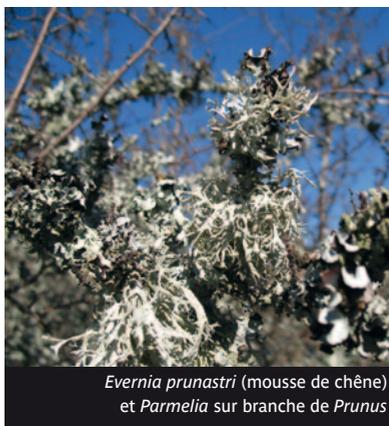
Certains meubles marquetés du XVIII^e siècle, entre autres des œuvres de prestige conçues pour la reine Marie-Antoinette par les plus renommés ébénistes du moment, présentent des placages d'une teinte bleu-vert chatoyante, très particulière. Cette couleur, que l'on observe parfois dans des forêts humides, sur branches mortes tombées au sol, est due au mycélium du champignon *Chlorociboria aeruginascens*, qui colore dans la masse le bois dont il se nourrit. Pour son utilisation en marqueterie, le futur bois de placage est exposé à l'attaque du champignon puis, dès que la teinte souhaitée est obtenue et avant qu'il ne soit trop dégradé, il est étuvé : afin de tuer le champignon. Par ce procédé, la couleur donnée au bois est résistante à la lumière, mais l'intensité et l'uniformité de la teinte sont difficiles à maîtriser. C'est pourquoi, à partir de la fin du XIX^e siècle, cette technique a été remplacée par une teinture au sulfate de fer, fixé par de l'acide picrique.

Aussi, depuis l'antiquité, il a été fait appel aux lichens dont l'emploi en tant que colorants textiles a décliné en raison d'alternatives économiquement plus rentables (dérivés de l'aniline) apparues au XIX^e siècle. Quelques entreprises artisanales les utilisent encore dans des pays scandinaves car ils assurent une protection des vêtements contre les mites par l'amertume qu'ils confèrent au tissu. C'est le pharmacien chimiste de Rennes, Pierre Robiquet qui a décrit il y a plus de 150 ans, les procédés chimiques qui conduisent à la formation de

produits colorants à partir de lichens qu'on appelle les "orseilles de terre" ou "orseilles de mer" selon qu'ils sont ramassés à l'intérieur des terres ou sur le littoral. Après macération avec de l'urine ou, plus récemment, de l'ammoniaque, des lichens trouvés sur nos côtes comme la pommelée (*Ochrolechia parella*) ou des lichens du genre *Rocella* (*R. fuciformis*, *R. fucoides*) donnent des colorations pourpres à violacées. Selon les endroits, cela a pu faire l'objet d'un commerce d'appoint plus ou moins important pour les populations locales.

Parfums

Les champignons ont des odeurs, et chacun perçoit l'odeur fongique qui correspond à celle d'une petite molécule volatile, le 1-octène-3-ol. Les nuances spécifiques présentes chez certaines espèces sont une aide précieuse pour la reconnaissance des espèces par les mycologues. L'odeur cadavérique du satyre puant (*Phallus impudicus*) permet de repérer l'espèce à plusieurs mètres à la ronde. Ce n'est certes pas un champignon que l'on a envie d'utiliser pour un parfum, et l'on préférera envisager l'odeur de *Pelargonium* du cortinaire pailleté, celle de noix de coco de *Lactarius glyciosmus* ou bien encore l'odeur anisée du clitocybe odorant. Cependant les champignons contiennent essentiellement de l'eau et ne produisent pas de grandes quantités de composés odorants proches de molécules volatiles qui constituent les huiles essentielles. Pour des raisons de viabilité économique, on préférera utiliser des lichens dans l'industrie des parfums et cosmétiques. Des lichens fruticuleux ramassés sur les écorces d'arbre, notamment dans le massif central ou en Europe centrale comme *Evernia prunastri* ("mousse de chêne") et *Pseudevernia furfuracea* ("mousse d'arbre") apportent une note de fond boisée ou marine (parfums chypre ou fougère). On les retrouvera souvent dans la composition de parfums prestigieux ou en tant que composants principaux des pots-pourris. Certaines molécules contenues dans les lichens peuvent être très allergisantes mais les industriels prennent généralement en compte cette donnée et respectent les teneurs limite de plus en plus rigoureuses qui sont imposées.



Après hydrolyse des polysaccharides qui sont en quantité importante dans les lichens (jusqu'à 70% de la biomasse extractible) et fermentation, on peut produire du bioéthanol. Des expériences très récentes montrent la bonne faisabilité de la chose par voie biotechnologique mais il faut tenir compte du caractère épuisable de la matière première. Cet écueil a conduit à l'abandon de la production de carburant de substitution qui avait été mis au point à partir de lichens en Russie pendant la seconde guerre mondiale.

RECHERCHE SUR LES CHAMPIGNONS ET LES LICHENS



Lentinula edodes - Shii-take

Mycologie et recherche médicale

En se basant sur l'observation des usages traditionnels des champignons par diverses civilisations, des équipes de chercheurs s'investissent actuellement dans une recherche pharmacologique active. En couplant cette logique avec une bonne connaissance taxinomique et phylogénétique, on peut optimiser cette recherche ; c'est par exemple ce qui est pratiqué par un groupe de recherche en chimie thérapeutique de Lille (Nord). Mais l'exploration des pistes ne fait que commencer et concerne surtout, pour le moment, les anticancéreux.

En Asie par exemple, de nombreux polypores sont utilisés par les médecines traditionnelles contre de multiples pathologies, dont le cancer. Alexandre Soljenitsyne, dans son roman "*Le Pavillon des cancéreux*" évoque même un polypore (*Inonotus obliquus*), dont on fabrique, en Europe de l'Est, un médicament traditionnel appelé "Chaga". Le grand potentiel pharmacologique des champignons inspire donc la recherche, sur des pistes thérapeutiques nombreuses et variées : antibiothérapie, oncologie, parasitologie, cardiologie, dermatologie, endocrinologie, diabétologie, gastro-entérologie, gynécologie, hématologie, neuropsychiatrie, pneumologie, oto-rhino-laryngologie, traumatologie, urologie, vénérologie... Plus récemment, la découverte de propriétés

immunostimulantes chez *Lentinula edodes* (le Shii-take) fait espérer, pour ce champignon, un débouché dans le domaine de la recherche contre le SIDA. Mais les champignons, d'un point de vue médical, n'ont pas que des effets bénéfiques. Leurs implications dans le domaine de la pathologie sont également nombreuses. Citons, entre autres, de nombreuses dermatoses atteignant peau et phanères (intertrigo*, teignes*, etc.), les candidoses* (muguet du nourrisson par exemple), mais surtout des endomycoses*, pulmonaires ou viscérales, beaucoup plus graves en général, parfois même mortelles. Là encore, la recherche se consacre à lutter efficacement contre ces pathologies, qui reprennent une importance nouvelle dans le cadre des patients immunodéprimés.

UN EXEMPLE DE RECHERCHE MÉDICALE SUR UN CHAMPIGNON : *Phellinus linteus*

Phellinus linteus est un champignon qui offre l'aspect d'un sabot brun foncé poussant à l'état sauvage sur les troncs de mûrier. Utilisé en infusion dans la médecine traditionnelle au Japon et en Chine, ce champignon au goût amer est réputé fortifier le corps et prolonger la vie. Des études de la faculté de médecine de Harvard (*Harvard Medical School*) laissent à penser qu'il présente aussi de multiples intérêts pour la recherche médicale.

Selon des expériences *in vitro* ou sur des animaux de laboratoire, *Phellinus linteus* contient des polysaccharides (sucres complexes) dont les propriétés pourraient se révéler majeures en cancérologie : en contribuant à bloquer l'adhésion cellulaire des cellules cancéreuses, ils provoquent leur apoptose* et diminuent ainsi le risque de métastases. Un article de la *Harvard Medical School* qualifie *Phellinus linteus* d'agent anti-cancer prometteur, mais stipule que des recherches plus approfondies sont nécessaires pour comprendre les mécanismes de son activité anti-cancer. En diabétologie, les recherches ont montré que des traitements à base de *Phellinus linteus* abaisse la glycémie et permet une meilleure cicatrisation chez les rats diabétiques. En rhumatologie, des expériences sur les souris ont mis en évidence une amélioration des problèmes arthritiques, probablement due à la stimulation des lymphocytes inhibiteurs contenus dans le tube digestif (plaques de Peyer). Enfin, ce champignon présenterait des vertus antioxydantes et anti-inflammatoires (grâce à la phellisine A et à l'hispidine qu'il contient).



Perspectives de recherche en mycologie hors du domaine médical ou pharmacologique

De très nombreux travaux paraissent régulièrement en ce qui concerne les aspects fondamentaux ou appliqués de la mycologie, dont les principaux sont : la phylogénie* moléculaire (génétique, reconstruction évolutive, relations anamorphes* / téléomorphes*...), la génétique des populations fongiques, les aspects fondamentaux et appliqués des différents types de mycorhizes, la chimie centrée sur les métabolites* primaires et secondaires à applications industrielles, la lutte biologique par les capacités parasitaires de certaines espèces, la bioremédiation* par les pouvoirs de dégradation ou de métabolisation, l'intérêt des champignons dans la valorisation des produits non ligneux de la forêt, en particulier dans les pays en voie de développement, le groupe des endophytes, dont on découvre toute l'importance petit à petit, etc.

Pour ne citer qu'un exemple inattendu dans le domaine des biotechnologies, un endophyte sud-américain (*Gliocladium roseum*) vient de se montrer capable de synthétiser naturellement un complexe de molécules de type hydrocarbure, dont la composition ressemble tellement à celle du gasoil que ce produit a été nommé "mycodiesel"...

De là à envisager de remplir les réservoirs de nos automobiles, il y a un très grand pas, évidemment, qui se concrétisera sans doute par des années de recherches, mais cela montre l'étonnante polyvalence des champignons, qui auraient peut-être des aptitudes à résoudre certains de nos grands problèmes mondiaux actuels.

Cependant, un grand volet est largement négligé (au regard de ce qu'il reste à y faire), à savoir la recherche descriptive, visant à combler les vides immenses dans la connaissance de la biodiversité fongique mondiale. On estime en effet que l'on ne connaît que 5 % des espèces de champignons potentiellement présents sur terre. De fait, de très grandes régions du monde sont encore quasiment inexplorées. Des centaines d'espèces disparaissent chaque année, emportées par les dégradations majeures des milieux naturels. La recherche appliquée, dont l'intérêt pour l'homme est évident dans beaucoup de domaines, se déroule donc sur un nombre d'espèces ridiculement faible et se prive de nouveaux potentiels dont les apports en la faveur de l'humanité pourraient être significatifs.

Les lichens en recherche

Compte tenu de leur sensibilité ou de leur capacité accumulatrice vis-à-vis de polluants environnementaux, les lichens sont utilisés comme bio-indicateurs. En géologie, leur croissance très lente permet de faire des datations en fonction du développement du thalle. La NASA (National Aeronautics and Space Administration) et autres agences spatiales s'intéressent aussi aux lichens en tant qu'organismes extrêmement résistants, car ils peuvent servir de modèle pour une vie en conditions extrêmes, voire extraterrestre. Les systématistes progressent dans la connaissance du vivant grâce à la biologie moléculaire alors que les biochimistes et physiologistes tentent de comprendre les mécanismes complexes de la symbiose qui amènent ces propriétés exceptionnelles. Il faut dire qu'on a là un modèle tout à fait unique qui associe dans un mode de vie très original des espèces appartenant à des groupes aussi différents que les *Fungi* (champignons), les *Plantae* (algues vertes), les *Eubacteria* (cyanobactéries) sans compter la microflore bactérienne associée et dont l'originalité et l'importance commencent juste à être étudiées.

Un laboratoire de l'université de Rennes isole les métabolites secondaires produits par les lichens. En collaboration avec d'autres laboratoires, il étudie leur potentiel thérapeutique comme anticancéreux, antibiotique, anti-inflammatoire et cherche aussi à tirer parti des propriétés photo-absorbantes de certaines de ces molécules. En collaboration avec un laboratoire pharmaceutique, des composés originaux pouvant servir de filtres UV ont récemment été synthétisés par les chimistes de l'équipe en prenant comme modèle des motifs structuraux élaborés par ces lichens.

Les lichens en médecine

Au Moyen Âge, les lichens qui poussaient sur les crânes étaient vendus à prix d'or car ils symbolisaient l'essence de vie. Bien que moins utilisés en médecine traditionnelle que les plantes, certains de leurs usages ont trouvé quelques justifications pharmacologiques. Le lichen d'Islande (*Cetraria islandica*) qui était utilisé en cas de douleurs gastriques possède des sucres polymérisés qui peuvent expliquer cette action par un effet protecteur des muqueuses mais aussi d'autres molécules qui inhibent une bactérie, *Helicobacter pylori*, souvent impliquée dans les ulcères de l'estomac.



Aussi, les molécules produites par les lichens font l'objet d'un intérêt croissant de la part des chercheurs. Chez les lichens, on retrouvera ces molécules cristallisées à la surface des filaments du champignon et certaines participeront à la couleur du thalle. Plus d'un millier de substances ont à ce jour été extraites de lichens et la plupart sont tout à fait originales. Des qualités physicochimiques particulières peuvent être valorisées par exemple comme filtres UV, complexant de métaux, outils pour la chimie fine... Les biologistes sont aussi très intéressés par ces molécules naturelles qui ont souvent des activités pharmacologiques marquées. Des molécules comme l'acide usnique (que l'on trouve par exemple dans les lichens de type *Usnées*) ont même été utilisées comme antibiotique dans des spécialités à application locale. Bien d'autres propriétés ont été décrites pour cette substance mais c'est dans ce domaine que se focalisent certaines études car la molécule est active sur des germes résistants aux traitements classiques (comme le staphylocoque doré). Si certaines de ces molécules sont retrouvées dans de nombreuses espèces, elles ne sont pas toujours faciles à obtenir à l'état pur et seul un très petit nombre d'entre elles a été évalué sur un nombre, lui aussi très limité, de tests. Il y a deux alternatives à l'extraction qui sont la synthèse et la production par voie biotechnologique. Des cultures *in vitro* bien que difficiles sont possibles, notamment à partir du champignon séparé de son partenaire et des productions par fermentation avec des manipulations génétiques sont actuellement à l'étude. On prend aussi conscience en ce moment de l'intérêt des micro-organismes qui vivent en association avec ces lichens et qui cultivés, produisent des composés de grand potentiel thérapeutique (antibiotiques, anticancéreux...).

Ce sont donc des organismes représentatifs du grand potentiel amené par la biodiversité et qui méritent une attention plus approfondie.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les relations entre la diversité fongique (lichens compris) et la santé humaine sont nombreuses et étroites.

Nous avons mis l'accent sur certains aspects, liés au fonctionnement des écosystèmes, dont l'intégrité influe directement ou indirectement sur la santé de l'homme (équilibres physique, psychologique, mental, au sein d'un environnement, au sens large du terme), et sur certains aspects de la recherche de nouvelles substances à activité pharmacologique issues des lichens et des champignons.

Mais bien d'autres points pourraient être développés. Le changement global, dont nous sommes actuellement les témoins (ce changement global est le plus souvent réduit, par les média, au "réchauffement climatique ") provoque des changements importants dans la répartition des espèces, dans la structure et le bon fonctionnement des écosystèmes, dans la relation entre l'homme et les êtres vivants qui partagent son environnement immédiat. Certaines plantes utiles aux soins de santé primaire (dans les régions tropicales, en particulier) régressent ou disparaissent dans le cadre de ce bouleversement ou sous la pression d'activités humaines incontrôlées ou parfaitement anthropocentriques.

Cela s'accompagne bien entendu de la disparition des espèces fongiques et lichéniques associées à ces plantes sans parler de celles qui sont directement sensibles à des pollutions directes (dioxyde de soufre pour les lichens par exemple). On prend aussi conscience des équilibres subtils qui existent entre toutes ces espèces qui sont en interrelation étroite grâce à des systèmes de communication et d'échange que nous découvrons sans cesse.

Par ailleurs, les recherches de nouvelles molécules à activité médicamenteuse se focalisent actuellement sur l'exploration des ressources d'origine naturelle dont les médecines traditionnelles (domaine de l'ethnopharmacologie) mais aussi et surtout sur le criblage de la biodiversité moléculaire produite par le vivant suite à la limite atteinte par la chimie de synthèse pure. Des campagnes de criblage à haut débit permettent un renouveau de cette exploration phyto et mycochimique à partir d'organismes variés dont les champignons et les lichens qui produisent des molécules uniques. La connaissance de ces sources originales, à commencer par leur identification précise, prend alors une importance considérable qui remet en lumière l'importance des compétences naturalistes et l'intérêt des herbiers, mycothèques et autres patrimoines scientifiques.*

Si les champignons et les lichens peuvent rendre de grands services à l'homme, dans le domaine de la santé, il faut rester très vigilant devant les usages excessifs ou incontrôlés qui pourraient en être faits, justement en raison de leur puissance thérapeutique, dont tous les rouages ne sont pas encore parfaitement connus.

La recherche quant à elle, a de beaux jours et de belles découvertes devant elle, dans la mesure où les ressources naturelles resteront présentes dans les grands pôles de biodiversité et aussi dans la mesure où nous serons capables de les explorer et de les utiliser de façon raisonnée et raisonnable.

LE COMITÉ DE RÉDACTION

Cet ouvrage a été conçu sous la coordination de l'*Institut Klorane* avec le concours de spécialistes de la mycologie :

Le Pr. Joël BOUSTIE,

pharmacien diplômé de l'Université Paul Sabatier de Toulouse, professeur de Pharmacognosie et de Mycologie à l'Université de Rennes 1. Enseignant-chercheur, il dirige actuellement l'équipe de recherche du laboratoire "Produits naturels, Synthèse, Chimie médicinale" au sein de l'Unité Sciences Chimiques de Rennes (regroupement CNRS - Université de Rennes 1). Ses travaux portent essentiellement sur l'étude de nouvelles substances naturelles thérapeutiques et les métabolites secondaires produits par les lichens.

Le Pr. Régis COURTECUISSÉ,

pharmacien de formation, il enseigne la botanique et la mycologie et dirige le laboratoire des Sciences Végétales et Fongiques à l'Université de Lille 2.

En tant qu'enseignant-chercheur, il est membre de l'équipe "Groupe de recherche interdisciplinaire : innovation et optimisation thérapeutiques", préside la Société Mycologique de France (2006-2009, depuis mars 2011).

Outre la rédaction de nombreuses publications scientifiques et ouvrages, il a initié des programmes de grande envergure : "Inventaire et cartographie des Mycota français" (depuis 1990) et "Les Champignons des Petites Antilles : diversité, écologie et protection" (depuis 2003). Il est également rédacteur du référentiel mycologique national.

M. Philippe DURAND,

né dans le Tarn en 1945, diplômé de l'Université Paul Sabatier de Toulouse. Professeur agrégé de Mathématiques, il a enseigné dans un Lycée de Castres et à l'IUT d'Albi. Il est président de la Société Tarnaise de Sciences Naturelles (STSN) et se passionne pour l'étude de la biodiversité. Il participe toujours activement à une meilleure connaissance de la Flore, de la Fonge et de la Faune du midi de la France, en collaboration avec l'Institut Klorane.

Le Dr Pierre-Arthur MOREAU,

docteur ès sciences, maître de conférences à la Faculté pharmacie de Lille 2, spécialisé dans la systématique et l'écologie des champignons supérieurs.

Enseignant-chercheur, il est aussi administrateur de la Société mycologique de France et de la Société mycologique du Nord de la France, et auteur d'ouvrages d'initiation à la mycologie. Ses travaux portent sur la taxinomie, la phylogénie moléculaire, l'écologie et la toxicologie des champignons.

LEXIQUE

ALCALOÏDES

petites molécules azotées souvent douées d'activités pharmacologiques marquées (la morphine, la quinine sont deux alcaloïdes produits par des plantes).

ANAMORPHE

terme désignant la phase de reproduction asexuée de certains champignons au développement complexe, présentant par ailleurs une phase téléomorphe* de reproduction sexuée.

APOPTOSE

processus, également appelé "mort cellulaire programmée", par lequel des cellules déclenchent leur auto-destruction en réponse à un signal physiologique.

AUTOTROPHE

se dit d'un organisme vivant capable de se développer de manière autonome, à partir d'une source d'énergie et des seuls éléments minéraux (dont l'eau) dont il dispose dans son milieu de vie. Les végétaux sont autotrophes pour le carbone sous forme de dioxyde de carbone qu'ils puisent dans l'atmosphère lors de la photosynthèse, avec la lumière comme source d'énergie. Mais ils ne le sont pas pour d'autres sources de carbone, ni pour l'azote atmosphérique.

BIOREMÉDIATION

technologie destinée à résoudre un problème environnemental d'origine anthropique (pollution, contamination, effluents toxiques, etc.) en utilisant les capacités physico-chimiques et biologiques (complexation, adsorption, biodégradation, etc.) que présentent certains organismes.

BIOTECHNOLOGIES

techniques utilisant le vivant (micro-organismes, cellules végétales ou animales) ou des parties de ce vivant (enzymes, gènes...) pour produire des molécules (médicaments ou autres) généralement dans le cadre ou l'optique d'une production industrielle (antibiotiques produits par fermentation, transformation du sucre en alcool...)

CANDIDOSE

infection fongique causée par des levures du genre *Candida*. Ces levures sont naturellement présentes dans l'intestin humain. Normalement tolérées par un organisme sain, elles se révèlent pathogènes chez un sujet affaibli, causant des infections se manifestant surtout au niveau des muqueuses et de la peau.

CELLULOSE

constituant principal de la paroi des cellules végétales, qui entre également pour partie dans la composition chimique du bois ; c'est un polysaccharide* formé d'une chaîne linéaire de molécules de bêta-D-Glucose (entre 200 et 14 000).

CHITINE

constituant principal de la paroi des cellules fongiques (champignons et lichens), qui se trouve aussi en abondance dans la carapace d'insectes et de crustacés ; c'est un polymère comparable à la cellulose mais azoté, puisqu'il s'agit d'un acétylglucosamine.

CHLOROPHYLLE

pigment vert caractéristique des végétaux, localisé dans des organites cellulaires appelés chloroplastes et permettant la réalisation de la photosynthèse*.

CICLOSPORINE

médicament issu de la fermentation d'un champignon (*Tolypocladium inflatum*), utilisé comme immunosuppresseur lors des transplantations et des greffes, pour éviter une réaction de rejet.

CRIBLAGE

technique visant à identifier des molécules et composés chimiques biologiquement actifs et à étudier leur effet sur le développement de cellules normales ou pathologiques.

CRYPTOGAME

organisme vivant dont les organes reproducteurs sont cachés ou peu apparents. Ce concept ancien couvre les champignons, les algues, les mousses, les fougères.

CYANOBACTÉRIES

organismes procaryotes* appartenant aux eubactéries, bactéries véritables, qui correspondent aux premières formes de vie. On les a également appelés "algues bleues".

ENDOMYCOSE

sorte de candidose* pouvant atteindre pratiquement tous les organes ou systèmes d'organes.

ENDOPHYTE

champignon se développant à l'intérieur d'un végétal, sans avoir pour autant d'activité parasitaire, dont la présence passe le plus souvent totalement inaperçue.

FLAGELLE

long filament mobile constituant, en milieu aqueux, l'organe locomoteur d'organismes unicellulaires et de cellules reproductrices.

FRUTICULEUX

se dit d'un thalle* plus ou moins ramifié, souvent d'aspect buissonnant et relié au support par une surface très réduite.

HÉTÉROTROPHE

qualifie un organisme vivant devant prélever dans son environnement les molécules organiques nécessaires à sa croissance, qu'il ne peut synthétiser par lui-même. Cette hétérotrophie peut concerner le carbone (et l'organisme doit alors trouver, pour se nourrir, de la matière organique préformée par d'autres êtres vivants), l'azote, etc.

IMMUNOSUPPESSEUR

médicament utilisé pour inhiber ou prévenir l'activité du système immunitaire.

INTERTRIGO

affection cutanée se caractérisant par une inflammation des plis de la peau, due à une infection mycosique ou bactérienne.

INVASIF

qui développe une capacité d'adaptation et de prolifération importante en portant préjudice aux communautés indigènes. Emprunté à l'anglais, cet adjectif caractérise principalement une espèce exotique introduite, volontairement ou accidentellement, en dehors de son aire naturelle et menaçant les populations autochtones.

LSD

diéthylamide de l'acide lysergique (ou N,N-diéthyllysergamide), psychotrope hallucinogène puissant.

MÉRULE

champignon basidiomycète (de la famille des *Serpulaceae*) peu visible dans la nature, où il détruit les souches de feuillus comme de conifères. Ce champignon lignivore est un redoutable ennemi du bois ouvré et de tous les matériaux contenant de la cellulose (livres, cartons, etc.).

MÉTABOLITE

molécule qui se constitue au cours du métabolisme, c'est-à-dire de la transformation moléculaire et énergétique s'accomplissant de manière ininterrompue dans la cellule

d'un organisme vivant.

On distingue les métabolites primaires indispensables au développement normal et à la reproduction de la cellule (acides aminés, lipides, sucres ...) des métabolites secondaires (à priori non indispensables à la vie de l'organisme car souvent spécifiques et produits en fin de chaîne métabolique comme les tanins, la lignine, les alcaloïdes...).

MYCÉLIUM

appareil végétatif des champignons, constitué de fins filaments (hyphes) souterrains (ou tout au moins enfouis dans le substrat, qui peut être du bois, etc.) et ramifiés.

MYCORHIZE

association symbiotique entre certaines espèces de champignons et les racines de certains végétaux. Le contact entre le mycélium et les radicules terminales est plus ou moins intime, selon le type de mycorhize, et permet des échanges vitaux entre les deux partenaires.

MYCOSE

infection due à un champignon parasite.

MYCOTOXINE

métabolite toxique pour l'homme et les animaux et produit temporairement par certains champignons en fonction de conditions environnementales particulières.

NYPHOSER (SE)

ce verbe s'applique à une larve d'insecte qui se métamorphose en nymphe (état intermédiaire entre la larve et l'insecte lorsque la mue est complète.

ÖTZI

nom donné à un être humain momifié naturellement (congelé et déshydraté), découvert fortuitement par un couple de randonneurs en septembre 1991 à 3 200 mètres d'altitude, à la frontière entre l'Italie et l'Autriche dans le glacier du Hauslabjoch.

PHANÈRE

terme générique désignant les productions épidermiques protectrices, comme les plumes, les poils, les ongles, etc.

PHOTOSYNTÈSE

processus bioénergétique produisant de la matière organique à partir de lumière, de gaz carbonique et d'eau, grâce à des pigments assimilateurs, comme la chlorophylle.

PHYLOGÉNIE

étude des parentés entre différents êtres vivants en vue de comprendre leur évolution.

POLYSACCHARIDES

macromolécules formées par enchaînement d'un grand nombre de sucres élémentaires aussi appelés oses d'où le nom synonyme de polysides.

PROCARYOTES

organismes unicellulaires sans noyau délimité (bactéries, algues bleues).

SAPROTROPHE

se dit d'un organisme se développant à partir de matières organiques en décomposition.

SAXICOLE

se dit d'un organisme qui pousse sur les rochers.

SPORE

élément reproducteur des champignons, des algues et des végétaux autrefois qualifiés d'inférieurs (mousses et fougères).

SPOROPHORE

appareil portant les cellules reproductrices des champignons et sur lequel sont produites les spores. Le sporophore est souvent la seule partie visible de l'organisme fongique.

TEIGNE

mycose du cuir chevelu et de la peau de certains animaux.

TÉLÉOMORPHE

terme désignant la phase de reproduction sexuée de certains champignons (par opposition à anamorphe*).

THALLE

partie végétative (non sexuée) des lichens constituée de l'ensemble des partenaires de la symbiose. Ce terme désigne aussi, dans un système de classification désuet, l'appareil végétatif de ce que l'on considérait comme "végétaux inférieurs" (champignons, lichens, algues, mousses, fougères), caractérisé par l'absence d'organes différenciés (pas de racines, ni de tige, ni de feuilles).

TRITERPÈNES

substances d'origine organique en C₃₀ (30 atomes de carbone) de la famille des terpènes. Très répandus dans la nature, on les trouve notamment dans les résines. Les stérols (cholestérol, squalène...) sont des dérivés des triterpènes.

TUBULAIRE

qui a la forme d'un tube.

BIBLIOGRAPHIE

J. ASTA, J.P. GAVERIAUX, J.M. SUSSEY, C. VAN HALUWYN, P.A. MOREAU, 2005. *Spécial LICHENS*. Bulletin Mycologique et Botanique Dauphiné-Savoie. n° 178, 95 p.

J. BOUSTIE, M. GRUBE, 2005. *Lichens, a promising source of bioactive secondary metabolites*. Plant Genetic Resources n°3, p.273-287.

D. DELPIROUX, article de La Dépêche du Midi, 23 mars 2011.

J.P. DE VERA ET AL., 2010. *Survival potential and photosynthetic activity of lichens under Mars-like conditions : a laboratory study*. Astrobiology n°10, 215–227.

B. DONATINI, 2011. *Phellinus linteus, un mycélium prometteur en cancérologie*. Phytothérapie, volume 9, n° 4, p.221-223.

V. MENON, R. DIVATE, M. RAO, 2011. *Bioethanol production from renewable polymer lichenan using lichenase from an alkalothermophilic Thermomonospora sp. and thermotolerant yeast*. Fuel Processing Technology n° 92. p.401–406.

L. MUGGIA ET AL., 2009. *Lichens as treasure chests of natural products*. Sim News. p. 85-97.

W. PURVIS, 2000. *Lichens*. The Natural History Museum, London. 112 p.

B. SCHMIDT, communiqué du Centre de coordination pour la protection des amphibiens et des reptiles de Suisse, 18 octobre 2007.

C. VAN HALUWYN ET M. LERON, 1993. *Guide des lichens*. Paris : Lechevalier. 344 p.

C. VINCENT, article du Monde, 14 février 2011.

T. ZHU, S-H. KIM, C-Y. CHEN, 2008. *A Medicinal Mushroom : Phellinus Linteus*. Current Medicinal Chemistry, volume 15, n°13, p.1330-1335.

Liens pour en savoir plus

AFL (Association Française de Lichénologie) : <http://www2.ac-lille.fr/myconord/afl.htm>

Recherches sur les lichens et collection Des Abbayes, Université de Rennes 1
<http://www.scienceschimiques.univ-rennes1.fr/equipes/pnscm/>

Édité par l'Institut Klorane, Fondation d'entreprise pour la protection et la valorisation du patrimoine végétal

Direction de la publication	Florence Guillaume
Coordination du projet	Nawal Saïchi
Rédaction	<i>Université de Rennes 1</i> : Joël Boustie <i>Université de Lille 2</i> : Régis Courtecuisse, Pierre-Arthur Moreau <i>Société Tarnaise des Sciences Naturelles</i> : Philippe Durand <i>Institut Klorane</i> : Jean-François Ramondou
Remerciements	Jean-Pierre Vincent
Crédit photos	J. Boustie, Ph. Durand, P-A. Moreau, Illustrations André Boos, R. Rouanet, Groupe Pierre Fabre, Florence Guillaume, Steve McWilliam - Optimarc - Style-photography.de - Anibal Trejo - Shutterstock. Photos de couverture : <i>Psilolechia lucida</i> , <i>Caloplaca thalliccola</i> , <i>Amanita muscaria</i>
Conception / Préresse et impression	Art et Caractère - 81500 Lavaur

Cet ouvrage est propriété de l'Institut Klorane et ne peut être vendu. Tous droits d'adaptation, de traduction, de reproduction par tous procédés réservés pour tous pays.
Dépôt légal : octobre 2011.



www.institut-klorane.org



Fondation d'entreprise pour la protection



et la valorisation du patrimoine végétal