

Collection Parthénope

Le génie de la nature



Yves Pietrasanta

Le génie de la nature



Ce livre a pour ambition de mettre en valeur plusieurs problématiques de recherche nationales et internationales notamment en écologie. Leurs objectifs est de profiter des enseignements dispensés par la nature depuis des millénaires. Autrement dit, faire évoluer notre société en s'appuyant sur le génie de la nature. L'auteur a choisi de travailler sur des modèles significatifs et puisés notamment dans la région méditerranéenne qui est l'un des 34 points chauds de la biodiversité planétaire, c'est-à-dire l'une des zones où la concentration d'espèces végétales et animales terrestres est la plus forte du monde, avec un niveau d'endémisme exceptionnel et la présence de plusieurs zones refuges apparues notamment lors des épisodes glaciaires.

Ingénieur chimiste, universitaire (auteur de plus de 200 articles scientifiques), élu (successivement Maire de Mèze, Conseiller général, Conseiller régional, Député européen vice-président de la commission Industrie, Recherche, Commerce extérieur, en charge de la Recherche), Yves Pietrasanta est aussi un écologiste convaincu qui a su mettre en œuvre de nombreuses actions en faveur de l'environnement. Actuellement Vice-Président du Conseil régional du Languedoc-Roussillon en charge du développement durable, de l'environnement et de l'énergie, il est l'auteur de sept livres traitant principalement des problématiques environnementales.



Pour rendre hommage à l'extraordinaire inventivité de la nature et aux patrimoines méditerranéens naturel et humain, Yves Pietrasanta s'est entouré de chercheurs du Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive de Montpellier (qui fête ses 50 ans d'existence en 2011), et de deux associations locales avec lesquelles ce laboratoire est en interaction.



L'illustration de la couverture montre un fruit de lotus dans lequel ont été incrustées des images correspondant aux douze chapitres de l'ouvrage.



Prix TTC : 34,90 €



ISBN : 978-2-914817-76-9

Sommaire

- Remerciement p 1
- Introduction
Yves Pietrasanta p 6
- L'effet lotus
Yves Pietrasanta p 14
- Les orchidées, un patrimoine naturel à préserver
Bertrand Schatz et Philippe Geniez p 26
- Les mutualismes de pollinisation comme facteurs importants de biodiversité
Bertrand Schatz, Jean-Marie Bessière, Roxane Delle-Vedove, Martine Hossaert-McKey et Finn Kjellberg p 48
- L'abeille noire, le châtaignier et l'Homme dans les Cévennes
Edmond Dounias, Améline Lehébel-Péron et Bertrand Schatz p 68
- Le génie des insectes sociaux
Éric Darrouzet, Joël Meunier, Anne-Genève Bagnères et Bertrand Schatz p 86
- Le génie des insectes et des scorpions
Guy Fauvel, Stéphane Jaulin et Michel Emerit p 112
- L'incroyable diversité des oiseaux
Clélia Sirami, Simon Popy et Karine Jacquet p 134
- Des champignons dans les garrigues languedociennes
Franck Richard, Véronique Bourgade, Françoise Fons, Sylvie Rapior et Pierre-Arthur Moreau p 152
- Espèces introduites, invasives, envahissantes, où est le problème?
Willy Gerbaud, Isabelle Mandon-Dalger, Xavier Rufay et Gérard Duvallat p 166
- Rareté et endémisme dans la flore méditerranéenne
John D. Thompson et Perrine Gauthier p 194
- Restaurer la végétation en région méditerranéenne
Arnaud Martin, Carla Khater, Valérie Ravel et Alain Renaux p 214
- La garrigue, un paysage construit par l'Homme
Manuel Ibanez p 232
- Bibliographie p 254
- Contact des auteurs p 259



Des champignons dans les languedociennes



garrigues



Amanite-tue-mouches (*Amanita muscaria*).
Crédit : M. Prat/Biotope.

Des champignons dans les garrigues languedociennes

Longtemps considérés comme des végétaux inférieurs, les champignons sont désormais reconnus comme un groupe frère des animaux, énigmatique, bien loin de la flore. Environ 80000 espèces sont connues, alors qu'elles seraient de l'ordre d'un million et demi à peupler la planète. Mais parce qu'ils sont discrets et méconnus, souvent cachés, l'homme n'est pas toujours conscient de vivre en interaction permanente avec eux : tantôt indésirables, responsables de pathologies (mycoses) et d'intoxications parfois graves, de destruction d'habitations ou de contaminations alimentaires, tantôt auxiliaires incontournables dans les fermentations les plus banales (pain, vin, charcuteries...) ou condiments occasionnels mais ô combien estimés (cèpes, morilles, truffes...).

Le rôle des champignons dans l'environnement est aussi mieux compris : ils assurent une grande partie du recyclage de la matière organique et sont directement impliqués dans les cycles du carbone, de l'azote et de nombreux éléments minéraux. C'est aussi grâce aux champignons que plus de 90 % des plantes peuvent s'alimenter et donc vivre ; en effet, les racines des plantes sont intimement associées aux champignons pour extraire du sol l'eau et les minéraux indispensables à leur croissance. Côté recherche, la mycologie moderne, tout en poursuivant le travail de description initié par les mycologues montpelliérains du XIX^e siècle, s'attache aujourd'hui à mieux appréhender le formidable potentiel des champignons, par exemple comme ingénieurs des écosystèmes terrestres, mais aussi comme sources de gènes et de molécules pour le futur. Forte d'une histoire riche de deux siècles de talents d'observateurs, d'archives méthodiques, d'expérimentations et de diffusion des connaissances, la région Languedoc-Roussillon recèle une part importante du patrimoine mycologique national, dont le rayonnement permettra de mieux comprendre cette biodiversité particulière.





Le clathre rouge (*Clathrus rubers*). Crédit : H. Lagrange/ Biotopie.



Des champignons dans les garrigues languedociennes : historique, diversité et enjeux de conservation

Aux yeux des biologistes de ce début de XXI^e siècle, et malgré les progrès scientifiques considérables réalisés au cours des dernières décennies sous l'impulsion de nouvelles techniques de biologie moléculaire, les champignons apparaissent comme des organismes essentiels, passionnants, mais paradoxalement mystérieux.

Passionnants tout d'abord, parce que leur immense diversité d'espèces, de modes

*de vie et d'interactions avec le reste du vivant ne cesse de nous étonner au rythme des découvertes scientifiques. Il suffit de s'imaginer qu'un seul individu d'*Armillaria ostoyae* peut couvrir 1665 stades de football (soit 965 ha) et vivre 2400 ans, alors qu'au même moment un microscope est nécessaire pour pouvoir admirer l'intense coopération entre des dizaines de milliers de levures microscopiques comme*

**Candida albicans* initiant leur passage au mode de vie filamentueux, pour avoir une idée de la démesure de ce règne. Essentiels bien sûr, à l'heure où les enjeux écologiques s'affirment chaque jour plus cruciaux, par l'importance des champignons dans le fonctionnement de tous les écosystèmes terrestres, et pour le succès de la vie dans tant de milieux inhospitaliers sans eux.*

Mystérieux enfin, car malgré des millénaires d'utilisation par l'homme pour se nourrir et se soigner (Francia *et al.*, 1999 ; Poucheret *et al.*, 2006) et malgré des siècles d'exploration scientifique ininterrompue, la biologie et la diversité des champignons nous échappent toujours dans une large mesure.

Parce que l'école montpelliéraine occupe une place toute particulière dans l'histoire de la mycologie française, le propos suivant s'attardera tout d'abord sur les hommes qui ont bâti notre connaissance, et l'intérêt de ce patrimoine scientifique issu de deux siècles et demi de mycologie à Montpellier ; puis sur les écosystèmes méditerranéens vus à travers les champignons et leurs rôles dans la nature ;

enfin, sur les enjeux de conservation des milieux et des espèces à l'échelle du territoire languedocien.

Le Languedoc, terre de mycologie

Dans sa « *Flore mycologique de la région de Montpellier et du Gard* » publiée en 1863, Jules de Seynes rappelle combien la mycologie à Montpellier a représenté, au cours d'une période s'étendant de la fin du XVII^e au début du XIX^e siècle, une science florissante, autonome, en marge de la ligne « officielle » qui s'initiait alors entre Stockholm et Paris, sous l'impulsion du botaniste suédois Elias



Figure 1. *Omphalotus olearius* (DC. : Fr.) Singer : le Clitocybe de l'olivier a été baptisé pour la première fois par A.-P. de Candolle (sous le nom d'*Agaricus olearius*), mais il était connu depuis longtemps des naturalistes méditerranéens. Sa toxicité et ses propriétés lumineuses (il émet une lueur verdâtre à l'obscurité), déjà observées par J.-J. Paulet en 1793, sont confirmées par Candolle qui y ajoute diverses observations personnelles. L'une des récoltes étudiées par Candolle est immortalisée par ce célèbre vélin de Node-Véran de F.T. Node-Véran (avec l'autorisation du Service des collections, Université Montpellier 2). Crédit : P.-A. Moreau.

Magnus Fries, père fondateur de la taxinomie moderne des champignons (Moreau *et al.*, 2009). Cette tradition prit ses sources dès 1676, quand le célèbre botaniste pré-linnéen Pierre Magnol citait déjà 20 espèces de champignons dans son *Botanicon monspeliense* (Magnol, 1676), récoltées à Grammont, Pérols et Lattes. Puis, en 1751, ce fut au tour du médecin François Boissier de Sauvages, ami et correspondant de Linné, de publier 39 espèces fongiques dans son *Methodus Foliorum seu Plantæ floræ monspeliensis* (Sauvages, 1751).

Malgré ces premiers travaux prometteurs, la véritable émergence d'une mycologie montpelliéraine ne se produisit que plus d'un demi-siècle plus tard, avec la nomination en 1808 du célèbre botaniste Augustin Pyramus de Candolle à la chaire de botanique à la Faculté de médecine de Montpellier. Au cours de ses huit années passées à l'Institut de Botanique (1808-1816), Candolle laissa une

empreinte forte, en décrivant de nombreuses espèces méditerranéennes de champignons (Candolle, 1815a), mais aussi en élucidant les fondements biologiques de l'un des fléaux du moyen âge, l'ergotisme, cet empoisonnement mortel lié à l'ingestion de farines contaminées par l'ascomycète *Claviceps purpurea* (Candolle, 1815b). Par ailleurs, Candolle parvint à assurer une continuité mycologique de qualité à Montpellier, en formant un mycologue d'envergure, Michel-Félix Dunal (1789-1856), qui devint directeur de la Faculté des sciences, et un excellent illustrateur, Toussaint François Node-Véran, qui réalisa plusieurs dizaines de vélin de champignons nouveaux ou typiquement méditerranéens (Fig. 1). Un autre botaniste féru de mycologie, Alire Raffeneau-Delile (dit Delile, 1778-1850), nommé par l'Empereur, succéda à Candolle à la direction de l'Institut de botanique après son départ pour Genève et hérita de sa tradition à travers Node-Véran. Quelques

Figure 3.
Montagnea arenaria
 (DC) Zeller (= *Montagnites candollei*
 Fr.) : cette espèce
 découverte par
 Candolle dans l'herbier
 d'un jeune botaniste,
 J. Draparnaud
 (décédé en 1805),
 est caractéristique
 des dunes
 méditerranéennes
 et des zones
 désertiques de l'Ancien
 Monde. Depuis sa
 publication en 1816,
 les naturalistes
 montpelliérains ont
 régulièrement récolté
 et archivé cette espèce
 remarquable, signalée
 comme commune
 sur le littoral sétois
 jusqu'au début du
 XX^e siècle, comme en
 témoigne cette planche
 de J. de Seynes publiée
 dans le Dictionnaire
 de Botanique de H. E.
 Baillon (1876-1892).
 Elle semblait avoir
 disparu depuis, avant
 sa redécouverte
 en juin 2008 par
 un étudiant de la
 faculté de pharmacie
 de Montpellier. La
 dégradation des
 milieux littoraux
 est sans doute
 responsable de
 cette raréfaction
 spectaculaire. La figure
 illustre cette espèce
 peinte par Node-Véran,
 probablement à partir
 de la récolte originale
 conservée dans
 l'herbier MPU. Vélin
 de F.T. Node-Véran
 (avec l'autorisation
 du Service des
 collections, Université
 Montpellier 2) ;
 reproduction du
 Dictionnaire de
 Botanique de Baillon,
 collection personnelle.



années plus tard, Jules-Émile Planchon, élève, collaborateur puis successeur de Dunal, alimenta à son tour le travail de thèse de doctorat ès sciences de l'un des pionniers de la mycologie moderne, Jules de Seynes (1833-1912). Ce mycologue génial intégra en effet à son mémoire, qu'il soutint en 1863, des observations microscopiques minutieuses réalisées sur la structure des champignons à lames (Fig. 2). Après le départ de de Seynes pour Paris, seul Joannes Joseph Fulcrand Lagarde, préparateur à la faculté de pharmacie de 1897 à 1919, immortalisa cette tradition montpelliéraine à travers divers articles consacrés aux champignons de Montpellier et aux travaux de ses prédécesseurs (Lagarde, 1901), mais sa transmission directe s'éteint avec lui dans les premières années du XX^e siècle.

Quel fut le rayonnement réel de Montpellier durant cet âge d'or ? Candolle et ses successeurs sont à l'origine de trois contributions majeures à la science mycologique. Taxinomique tout d'abord : un apport conséquent et durable à la connaissance de la diversité et de la biologie des champignons¹, bien au-delà des espèces de la région. À titre d'exemple, quelques espèces emblématiques ont traversé les siècles jusqu'à nous, dédiées à ces mycologues par leurs illustres correspondants, telles *Psathyrella candolleana*, *Montagnea candollei* (Fig. 3), *M. delilei* ou encore *Mycena seynesii* (Fig. 4), dédiées respectivement à Candolle, Delile (par Fries) et de Seynes (par Quélet). Inventorial ensuite : ces mycologues ont constitué et légué un ensemble remarquable de collections, regroupant à la fois des herbiers d'*exsiccata* (plusieurs milliers d'unités) et des centaines d'aquarelles : 334 pour Dunal entre 1833 et 1843, dont celle d'*Agaricus cylindricus* (Fig. 5), et 317 pour Raffenau-Delile entre 1820 et 1840, aujourd'hui conservées au Pôle Patrimoine scientifique de l'Université Montpellier 2. Scientifique enfin : même s'il est aujourd'hui



Figure 3. *Montagnea candollei*.



Figure 4. *Mycena seynesii* Quélet : cette petite espèce, facile à reconnaître par sa croissance dans les cônes de pin maritime, a été dédiée à J. de Seynes en 1876 par l'un des grands mycologues de la fin du XIX^e siècle : Lucien Quélet, auquel de Seynes (alors président de la Société botanique de France) avait soumis ses récoltes montpelliéraines. Les dédicaces des mycologues de l'époque aux savants montpelliérains (tels que *Psathyrella candolleana*, *Montagnea candollei*, *Agaricus delilei*, *Agaricus dunalii*, *Peziza planchonii*...) reflètent la reconnaissance de ces derniers dans la vie scientifique de leur temps. Crédit : P.-A. Moreau.

¹ Par exemple, dans le 5^e tome de la Flore Française (1815a), Candolle décrit 60 espèces nouvelles des régions méditerranéennes. Certaines, très connues, portent toujours le nom qu'il leur a donné.

Figure 5. *Agrocybe cylindracea* (DC. : Fr.) Maire : ce nom actuel, fondé sur l'*Agaricus cylindricus* DC., est ici peint par Dunal dans la tradition de Candolle, qui n'en avait pas laissé d'illustration. Candolle, en baptisant pour la première fois ce champignon comestible très connu dans le Sud sous le nom de « pivoulade », s'est laissé tromper par sa grande variabilité et a tenté d'en distinguer plusieurs espèces, qui ont été synonymisées par ses successeurs. Aquarelle inédite de F. Dunal (avec l'autorisation du Service des collections, Université Montpellier 2).



un peu oublié, Jules de Seynes reste, après Joseph Karl August Corda et les frères Tulasne, l'un des pionniers de la mycologie contemporaine, ayant exploré pour la première fois les structures intimes des Basidiomycètes charnus ; ses travaux, en s'ajoutant aux observations biologiques d'Arthur Henry Reginald Buller et aux travaux systématiques de Victor Fayod et de René Maire, ont ouvert la voie

aux systématiciens contemporains tels que Robert Kühner (1903-1996), qui y puisa indirectement une large partie de son inspiration (Moreau *et al.*, 2009). Aujourd'hui les travaux de la biologie moléculaire n'auraient guère de sens si, mieux encore que les découvertes du XX^e siècle, les observations minutieuses de ces mycologues du XIX^e siècle ne rendaient compte des caractères microscopiques les plus subtils, auxquels notre science actuelle donne enfin la signification en terme d'évolution et de phylogénie.

Les champignons, génies invisibles des écosystèmes méditerranéens

Parce qu'ils ne possèdent pas de chloroplastes dans leurs cellules, les champignons sont (comme nous) condamnés à puiser leur nourriture dans les divers réservoirs naturels de carbone, directement ou indirectement légués par les plantes tout au long des chaînes alimentaires. Et ils s'en sortent plutôt bien, lorsque l'on considère la diversité de stratégies écologiques élaborées pour garantir l'approvisionnement ! Au fait, comment s'y prennent-ils pour se nourrir ? En digérant leurs aliments, non pas à l'intérieur d'un tube digestif comme les animaux, mais directement dans le milieu extérieur, après y avoir libéré les enzymes nécessaires. Il leur suffit d'absorber ensuite à travers leur paroi les produits de cette digestion, c'est-à-dire des molécules plus petites, et de les faire « voyager » à l'intérieur de leurs filaments pour les acheminer là où elles sont nécessaires (Tlalka *et al.*, 2008). Les champignons ayant à leur disposition un véritable arsenal d'enzymes pouvant dégrader de très nombreuses molécules, on comprend alors l'importance de ces organismes dans le recyclage des déchets d'origine végétale ou animale, qui sont produits sans cesse dans les milieux naturels.

Certains champignons se nourrissent en prélevant leur carbone directement sur les autres êtres vivants : les

parasites ponctionnent la matière organique sur leur hôte sans lui offrir le moindre avantage, les affaiblissant et pouvant même entraîner leur mort (c'est le cas de nombreuses espèces parasites de plantes, mais aussi de nos mycoses) ; en revanche, d'autres établissent une relation à bénéfices réciproques, que les écologues appellent « symbiose », où le champignon mutualiste fournit d'autres éléments nutritifs et renforce la résistance de son partenaire. C'est dans cette deuxième catégorie que se classent lichens et mycorhizes, chimères résultant de l'association entre des champignons et des algues vertes ou bleues pour la première, et de végétaux vasculaires pour la seconde. D'autres enfin interviennent après la mort de leur hôte, en se nourrissant des cadavres d'origine végétale ou animale. On parle, pour cette troisième catégorie, de champignons décomposeurs ou saprotrophes.

Cette dépendance vis-à-vis du carbone, qui pourrait paraître au premier abord pénalisante, se révèle être l'un des fondements biologiques du rôle écologique majeur des champignons. Véritables éboueurs forestiers, les champignons décomposeurs réalisent ainsi le bouclage des cycles du carbone, du phosphore ou encore de l'azote, en démolissant les macromolécules édifiées par les autres êtres vivants. Pour illustrer l'importance fonctionnelle, mais aussi l'ampleur de cette fonction des recycleurs, il suffit de se remémorer que nos gisements de pétrole sont constitués de déchets végétaux produits au cours de l'ère primaire, qui ne furent jamais complètement dégradés, notamment parce que les lignées de champignons capables de digérer la lignine présente dans les cellules de ces végétaux n'existaient pas encore à cette époque ².

Les champignons parasites, pour leur part, ont longtemps été considérés comme des ennemis de l'homme et de la forêt. Le premier point n'est guère discutable, tant l'histoire de l'homme moderne est jalonnée d'épisodes dramatiques liés à ces espèces. Pour ne citer ici que quelques exemples, rappelons que l'ergot du seigle

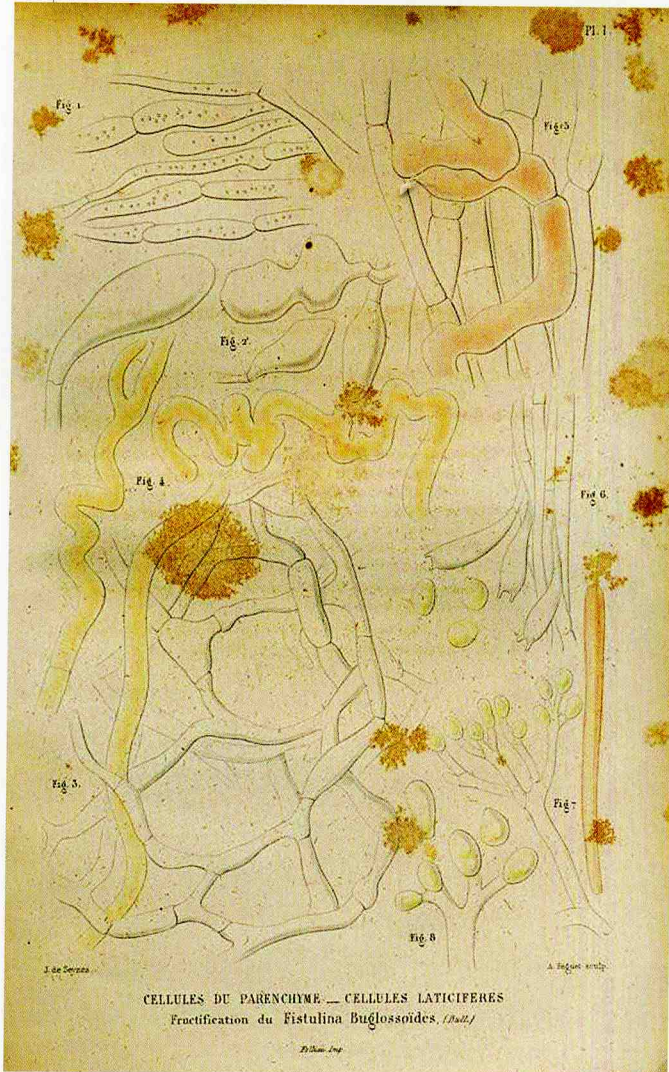


Étoiles de terre (*Astraeus hygrometricus*), un curieux champignon commun toute l'année dans la garrigue. Ses "branches" se referment par temps sec. Crédit : P.-A. Moreau.

(*Claviceps purpurea*) fut, après la peste, la seconde cause de mortalité au Moyen Âge en Europe (Giacomoni, 2000), ou encore que dans les années 1840 le mildiou de la pomme de terre (*Phytophthora infestans*, qui possède le mode de vie parasitaire des champignons – même si ce n'est pas un vrai champignon mais une « algue », diront les mycologues !) causa une terrible famine et la mort de plus de 2 millions d'Irlandais et entraîna des vagues d'émigration vers l'Amérique du Nord, ou enfin que la graphiose de l'orme (*Ceratocystis ulmi*) éradiqua cette essence des forêts européennes, tuant plus de 20 millions d'arbres au cours du XX^e siècle. Le second point, en revanche, est plus anthropocentrique puisqu'uniquement vrai en forêt cultivée, c'est-à-dire dans un contexte où l'homme souhaite produire du bois de qualité avec une rentabilité

² La lignine, aujourd'hui l'un des principaux composants du bois avec la cellulose, fut l'une des innovations des végétaux du Dévonien, période s'étendant entre -360 et -416 millions d'années. Au cours du Carbonifère (s'étendant entre -360 et -299 millions d'années), sous les effets combinés d'un climat chaud, d'un taux de CO₂ atmosphérique beaucoup plus élevé qu'il ne l'est aujourd'hui, de conditions anoxiques (c'est-à-dire sans oxygène) peu propices à la dégradation des végétaux une fois tombés au sol, et de l'absence de champignons capables d'une action efficace de dégradation de ces molécules, les déchets végétaux se sont accumulés pour être finalement piégés sous une forme non minéralisée. À titre d'exemple, les lignées de Basidiomycètes actuelles, qui représentent la première source du monde microbien d'enzymes performantes dans la dégradation de la lignine et de la cellulose, sont d'apparition beaucoup plus récente, il y a environ 200 millions d'années.

Figure 2. La planche I de la thèse de doctorat de J. de Seynes (1876) illustre les observations minutieuses et délicates de l'auteur sur les structures fondamentales de quelques champignons (ici la "langue-de-bœuf", *Fistulina hepatica*). Ces observations, poursuivies par de Seynes tout au long de sa carrière, sont peu connues aujourd'hui mais ont inspiré les grands systématiciens du XX^e siècle, qui les ont confirmées et approfondies avec les moyens d'observation modernes. Collection personnelle.



optimale, en agissant sur la structure et la composition des peuplements d'arbres. En forêt naturelle, les champignons parasites ne menacent pas la pérennité de l'écosystème. Ils sont davantage des moteurs de successions qui alimentent les cycles et génèrent de nombreux habitats, et des facteurs de sélection naturelle au sein des espèces. En outre, il a été montré que les organismes pathogènes permettent

aux espèces arborescentes de cohabiter en forêt grâce à un jeu subtil de spécificités entre hôtes et parasites. Par exemple, dans la célèbre forêt panaméenne de Barro Colorado Island, il a été montré dans les années 1980 que les champignons pathogènes, en tuant spécifiquement la progéniture des arbres adultes (comme *Platypodium elegans* par exemple) qui les hébergent, permettent l'installation sous leur couvert d'autres espèces d'arbres, et participent ainsi au mélange d'essences dans les forêts tropicales (Augsburger, 1984).

Une mise en perspective écologique s'impose ainsi dès lors que l'on souhaite analyser l'impact d'une espèce sur son milieu. Cela est également vrai pour les « bons champignons », ces espèces mutualistes au premier rang desquelles figurent les champignons mycorhiziens. S'il est vrai qu'ils prélèvent à la plante adulte entre 15 et 25 % des sucres de la photosynthèse, il est tout aussi indiscutable que sans eux, la plupart de nos végétaux terrestres ne pourraient se développer une fois leur germination accomplie (Smith & Read, 2008). Ainsi, ces micro-organismes vivent en permanence au contact des racines des végétaux, où ils réalisent une interface fonctionnelle appelée mycorhize, siège d'échanges bilatéraux de biens (eau, vitamines, sels minéraux etc.) et de services (protection face aux pathogènes, résistance aux stress chimiques et hydriques etc.). Et c'est ainsi depuis près de 480 millions d'années ! Plus près de nous, les forêts méditerranéennes, de même que tous les groupements végétaux plus ou moins ouverts structurant les paysages méditerranéens actuels (dont les garrigues) assurent encore leur équilibre hydrominéral grâce à ce partenariat avec des champignons du sol, que nous voyons parfois se reproduire, pour notre plus grande joie, sous la forme de carpophores (également appelés sporophores) éventuellement comestibles, lorsque les pluies d'automne arrosent enfin la région.

Les forêts de chêne vert, ces réservoirs de diversité fongique

Pour le mycophage, la chênaie verte languedocienne est connue pour ses caprices, les épisodes de poussée fongique les plus prolifiques pouvant succéder à plusieurs années de frustration (Chevassut, 1988). Les fluctuations interannuelles du climat méditerranéen expliquent pour une grande part ces fructifications erratiques, la répartition mensuelle des pluies jouant un rôle majeur dans l'apparition des champignons. Dans ses *Mémoires et Souvenirs*, A.P. de Candolle (*in* Candolle, 1862) se désolait de la pauvreté fongique de la région de Montpellier, qu'il attribuait à la sécheresse du climat (Moreau *et al.*, 2009). Bien sûr il avait tort, car ce qu'il cherchait n'était que la partie reproductrice (le carpophore), éphémère, d'organismes très nombreux qu'il avait sous les pieds. En effet, lorsque l'on s'intéresse à la partie immergée de cet iceberg biologique à l'aide des outils de biologie moléculaire mis au point au cours des deux dernières décennies, une toute autre image de la réalité apparaît : plusieurs centaines d'espèces sont présentes dans le sol au sein de chaque hectare de forêt, mais à l'état végétatif³, assurant les fonctions énumérées précédemment (Richard *et al.*, 2005). Ces riches communautés de champignons mycorhiziens font ainsi du chêne vert un véritable réservoir de biodiversité fongique, essentiellement dominée par les russules, les cortinaires, et des champignons aux fructifications peu visibles, car formant des petites plaques discrètes à la surface du sol, les tomentelles.

Quel impact l'homme a-t-il sur ces communautés ? De manière surprenante, les taillis âgés mais anthropisés par des siècles de coupes à blanc périodiques, restent des

³ L'appareil végétatif des champignons, encore appelé mycélium, est constitué de filaments de quelques microns de diamètre (les hyphes). Le mycélium constitue la phase assimilatrice de l'individu, la fructification (ou carpophore), éphémère, n'ayant qu'une vocation reproductrice.

écosystèmes relativement riches en champignons, qui aident la végétation à reconquérir le milieu. L'impact de l'homme y est néanmoins perceptible, certains groupes d'espèces caractéristiques des forêts âgées devenant rares, voire absents, dans les forêts surexploitées. Par ailleurs, ces communautés apparaissent particulièrement sensibles à la coupe rase, certains groupes d'espèces disparaissant des parcelles exploitées pendant plusieurs années même lorsque les arbres survivent. À titre d'exemple, les Hydnacées (la famille du pied de mouton) ou les Bankeracées (une famille proche de la précédente), connues pour leur sensibilité aux activités anthropiques (Arnolds, 1992) et abondantes dans les forêts âgées de chêne vert, sont quasiment absentes des taillis du Languedoc.

Dans ces taillis méditerranéens exploités, on ne peut tout de même s'empêcher de comparer l'extraordinaire richesse de communautés fongiques à la pauvreté et à la monotonie végétale (Quézel & Médail, 2003), et se demander si les communautés fongiques ne constituent pas un reflet persistant de la richesse végétale passée d'écosystèmes sensiblement appauvris par l'homme. On peut aussi s'interroger sur l'effet qu'aurait un phénomène plus profond encore, tel que le changement climatique, sur ces organismes si indispensables, et par voie de conséquence sur l'équilibre de leurs hôtes végétaux.

Quelles pistes pour demain ? De l'observation à la gestion...

Pour répondre à cette question, laissons tout d'abord la parole à Jules de Seynes, paraphrasant en 1863 Guy de la Brosse, botaniste et médecin de Louis XIII : « en mycologie, tout comme en botanique, le champ est grand ouvert à ceux qui voudront y faire gerbe, il y en reste plus que l'on a moissonné ». Presque cent cinquante ans plus tard, dans un monde où l'on séquence quotidiennement les

gènes fongiques dans nos laboratoires de recherche pour en identifier les propriétaires, force est de constater que le champ est effectivement toujours grand ouvert !

En effet, s'il est évident que notre connaissance a considérablement évolué au cours du XX^e siècle, nous avons également réalisé l'étendue de notre ignorance de ce groupe d'organismes, dont la biologie et la diversité restent encore très largement méconnues. À titre d'exemple, à peine cinq pour cent du million et demi d'espèces fongiques ont été décrites à ce jour (Hawksworth, 2001). En biologie de la conservation, le retard accumulé est également considérable. Alors que nous avons fêté en 2009 les 40 ans de la Directive Oiseaux, les champignons figurent parmi les grands absents de la Directive Habitats, et ils peinent à trouver leur place dans les espèces visées par la Convention de Berne, la dernière tentative d'inscription de 33 espèces européennes menacées à l'annexe 1 de cette Convention (Dahlberg & Croneborg, 2006) s'étant soldée par un ajournement de la procédure.

Cependant, sous l'impulsion de la révolution technologique moléculaire en cours, le rythme d'acquisition de connaissances concernant le règne fongique a subi une accélération sans précédent. Grâce à ces nouveaux outils, ce début de XXI^e siècle permettra rapidement d'explorer deux axes fondamentaux de recherche en relation avec nos enjeux majeurs de société et la crise de biodiversité qui l'accompagne.

Pour prendre une image, il s'agit tout d'abord de se porter au chevet d'une nature malade. L'homme et le pathogène ayant temporairement inversé les rôles, les écosystèmes méditerranéens accumulent de fortes contraintes générées par les oscillations climatiques actuelles. Par exemple, il est attendu dans la région méditerranéenne une diminution sensible des précipitations annuelles dans les prochaines décennies. Les effets de cette perturbation anthropique sur le fonctionnement des écosystèmes et sur la distribution de la diversité biologique doivent être compris et mesurés. Pour

cela, des observatoires permanents de la biodiversité, mais aussi des expérimentations conduites in situ, telles que celles réalisées par le CEFE-CNRS sur le site expérimental de Puechabon (où l'on anticipe par simulation depuis 6 ans une diminution de 27 % des pluies) doivent être mis en place. Il s'agit parallèlement de mieux connaître le « profil du malade », en poursuivant l'effort d'acquisition de connaissances modestement initié par nos prédécesseurs il y a plus de trois siècles de cela. En effet, notre technologie nous offre pour la première fois de l'histoire l'opportunité d'appréhender l'étendue de la biodiversité fongique en complète connaissance de son rôle dans les écosystèmes. Des inventaires « modernes », associant taxinomie et acquisition d'un grand nombre de séquences issues du sol, doivent être conduits, notamment au sein d'écosystèmes peu attractifs et mal connus (garrigues, pinèdes à Pin d'Alep, mais aussi là où les mycologues du XIX^e siècle réalisèrent leurs prospections). La mise en œuvre de cette tâche est fondamentale, car elle augmentera notre connaissance de la localisation des réservoirs de diversité fongique, les plantes constituant un piètre prédicteur de la biodiversité des microbes avec lesquelles elles coexistent. Finalement, ce travail permettra d'intégrer la composante fongique dans les priorités de conservation dans un contexte de forte poussée démographique et d'urbanisation rapide.

Remerciements

Les auteurs remercient tout particulièrement Pascal Hériveau (Pluméliau) pour la mise à disposition et l'autorisation de reproduction des documents de ses collections personnelles (Figures 1 et 2), ainsi que Marie-Josèphe Mauruc et Luc Gomet (Pôle Patrimoine scientifique, Université Montpellier 2) pour la mise à disposition des documents inédits de M.-F. Dunal et A. Raffeneau-Delile et leur aide aux recherches documentaires.



Jeune Amanite des Césars ou Oronge (*Amanita caesarea*) sous chêne vert. Un champignon comestible très convoité. Crédit : F. Richard.