

La Mycosylviculture

Chapitre 1 : les champignons dans les écosystèmes forestiers Généralités

Ce document est réalisé dans le cadre du projet Micosylva. Micosylva est un projet scientifique et technique européen cofinancé par des aides FEDER-INTERREG. L'objectif est de promouvoir en Europe une gestion multifonctionnelle et durable des forêts qui intègre et valorise les fonctions écologiques et socio-économiques des champignons sylvestres comestibles. Afin de réaliser ce projet, sur la base d'une coopération entre 8 partenaires, espagnols, français et portugais, un réseau de 18 zones myco-sylvodémonstratives a été mis en place dans le sudouest de l'Europe (appelé aussi espace SUDOE). Fort de ce réseau de référence, la finalité du projet est de construire durablement dans l'espace SUDOE, une stratégie commune de préservation des écosystèmes forestiers tout en montrant le rôle essentiel des champignons.

Coordination :

Jean Rondet et Fernando Martinez Peña

Auteurs de cette première partie :

Ana de Miguel. Université de Navarre. Pamplona. Espagne
Anabela Martins- Instituto Politécnico de Bragança, Portugal
Jean GARBAYE-INRA Nancy, France
Gilles Corriol -Conservatoire Botanique National des Pyrénées et de Midi-Pyrénées, France
Laurent Larrieu- INRA Toulouse/CRPF Midi-Pyrénées, France
Mohamed ABOUROUH - Centre de Recherches Forestières et de Lutte contre la désertification – Rabat, Maroc

Introduction :

Jean Rondet,EPLEFPA Vic en Bigorre
Fernando Martinez Peña - DIEF Valonsadero – Soria

Dessins, aquarelles :

Jean Rondet et Françoise Boutet

Sommaire



Introduction :

« LA MYCOSYLVICULTURE »
une Sylviculture globale et rentable 4

Chapitre 1 : Généralités

CYCLE DE DEVELOPPEMENT DES CHAMPIGNONS 8

**FACTEURS DECLANCHEURS DE LA
FRUCTIFICATION DES CHAMPIGNONS 23**

**DIVERSITE DES CHAMPIGNONS
dans les écosystèmes forestiers 49**

**MYCORHIZES ET SANTE FORESTIERE
65**

**SCHEMA DE SYNTHESE 1 :
Entre le sol et les arbres,
le travail essentiel des champignons 81**

**SCHEMA DE SYNTHESE 2 :
Les champignons mycorhiziens 82**

LA "MICOSYLVICULTURE" : UNE SYLVICULTURE GLOBALE ET RENTABLE

Jean Rondet, EPLEFPA Vic en Bigorre

Fernando Martinez Peña, DIEF Valonsadero - Soria

Le mot mycosylviculture met en évidence la place des champignons (« myco ») dans les écosystèmes forestiers et dans la gestion forestière. Pourquoi ?

La production de champignons comestibles au service de la gestion forestière.

Au départ, le mot nouveau de mycosylviculture désignait une sylviculture orientée vers une production de champignons comestibles et donc une forme de sylviculture spécialisée. En effet, la production naturelle de champignons comestibles représente bien souvent une valeur économique supérieure à celle du bois dans de nombreux massifs forestiers et cela justifie sans doute que les gestionnaires s'interrogent sur la façon de gérer cette ressource fongique. Par la suite, on s'est aperçu que la ressource bois et la ressource champignons pouvaient être gérées en même temps. Nous savons en effet que les champignons comestibles les plus recherchés (cèpes, lactaires délicieux, amanites des césars.) sont plutôt des champignons qui fructifient dans des peuplements en forte croissance et dans des milieux suffisamment ouverts aux pluies.

Autrement dit, ces champignons fructifient le plus abondamment dans des forêts gérées, éclaircies et exploitées.

En nous basant sur ce constat général, nous pouvons considérer que loin de s'opposer, les objectifs de production de bois et de champignons concourent à rentabiliser les travaux liés à la gestion des peuplements. Actuellement, des formes d'organisation sociales se développent pour permettre un respect de la propriété et une valorisation des champignons par les propriétaires privés ou publics des forêts. La démonstration que les champignons sont des produits d'une gestion forestière est un argument important pour les actions locales de sensibilisation destinées à éduquer le public et à modifier les comportements de cueillettes abusives.

La mycosylviculture se fonde sur le fait que «arbre» et «champignons» ne font qu'une seule entité.

La notion de mycosylviculture a récemment évolué, en particulier à travers un programme de coopération européenne associant de nombreux organismes et experts du monde entier.

Les membres du Comité scientifique de ce projet, appelé « Micosylva », se sont attachés à établir une définition plus riche de la mycosylviculture.

L'évolution de la notion de mycosylviculture est ainsi le résultat d'une mise en relation de trois disciplines jusqu'ici trop séparées ou trop spécialisées car «centrées» sur leurs objets d'études principaux :

les sciences et techniques forestières (centrées sur le fonctionnement des arbres et des peuplements d'arbres), la mycologie (centrée sur la détermination et le fonctionnement des champignons, la pédologie (centrée plus sur les aspects physico-chimiques que sur les caractéristiques biologiques des sols).

La nouvelle mycosylviculture se base sur une réalité biologique encore très souvent ignorée : les arbres n'existent pas en forêt en tant que réalités autonomes. Autrement dit, les arbres ne sont pas que des arbres ! Il nous faut expliquer cela : De la même façon que les lichens sont constitués de deux types d'organismes, des algues et des champignons, les arbres sont en fait également constitués de deux types d'organismes : une plante et une communauté de champignons intimement associés aux racines de cette plante. L'arbre et les champignons forment en commun des organes mixtes « mi-racine, mi-champignon » appelés « mycorhizes ». Le concept d'« arbre » a été bien sûr inventé bien avant

que l'on ne puisse observer à l'aide de loupes et microscopes ces mycorhizes et bien avant que l'on ne découvre que l'arbre ne peut absolument pas vivre sans ses partenaires champignons. Pourquoi cette réalité est-elle encore aujourd'hui largement ignorée ? Sans doute parce que nous n'avons pas inventé de mot nouveau, à la place de « arbre », au moment de la découverte du rôle des champignons et des mycorhizes !



Fig. 1 - « Un arbre » : une réalité multiple !
(Aquarelle Jean Rondet)

Comprendre que l' « arbre » est un organisme mixte, « mi plante-mi champignons », favorise une compréhension plus riche de l'écosystème forestier.

La prise en compte simultanée des arbres et des champignons racinaires conduit par évidence à considérer l'écosystème forestier de manière enfin globale, c'est à dire à mieux intégrer l'ensemble des caractéristiques de l'écosystème forestier :

- L'écosystème forestier est constitué de trois éléments, indissociables, comme trois pièces d'un puzzle :

le peuplement d'arbres, le sol et puis entre les deux, une « interface champignons mycorhiziens ».

Cette interface fait le lien entre le sol et les racines des arbres. Gérer une forêt revient donc à gérer ces trois parties d'un même ensemble et non seulement le peuplement d'arbres.

- La forêt n'est pas faite d'arbres séparés car les filaments mycéliens des mêmes champignons relient les arbres entre eux. On découvre aujourd'hui que des informations (sous forme de « signaux moléculaires») sont transmises entre les arbres à travers ces réseaux de mycéliums. La « forêt » est ainsi de ce point de vue un seul et même organisme géant avec des mécanismes de régulation assurés par les champignons.

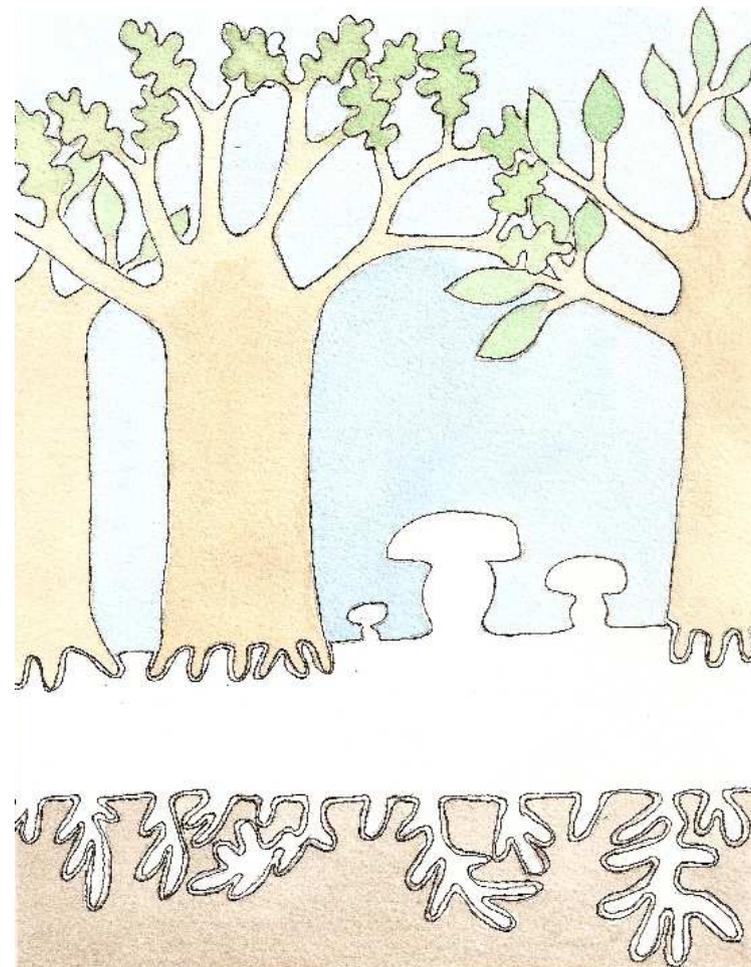


Fig.2 - Dessin symbolisant la place de l' "interface fongique" . En réalité, ce dessin veut avoir une valeur pédagogique en mettant visuellement l'accent sur cette interface fongique de façon à traduire son importance fonctionnelle ! Seules les racinelles sont mycorhizées et entourées de mycélium, et ne sont ainsi pas en contact direct avec la terre. Mais ces racinelles mycorhizées représentent bien le système fonctionnel qui permet la nutrition des arbres.

(Dessin aquarellé Jean Rondet)

- Un bon fonctionnement de la forêt repose sur une diversité importante de champignons ayant chacun des fonctionnements particuliers et complémentaires. Les premiers articles de cet ouvrage montreront comment cette indispensable diversité de champignons est conditionnée par la préservation, à travers une gestion adaptée, des paramètres que sont une diversité d'essences autochtones dans le peuplement, une diversité de classe d'âges, la présence d'arbres morts, des litières riches, une structure verticale complexe.
- Le fonctionnement du sol conditionne directement le fonctionnement des champignons mycohyziens et donc de la nutrition des arbres.

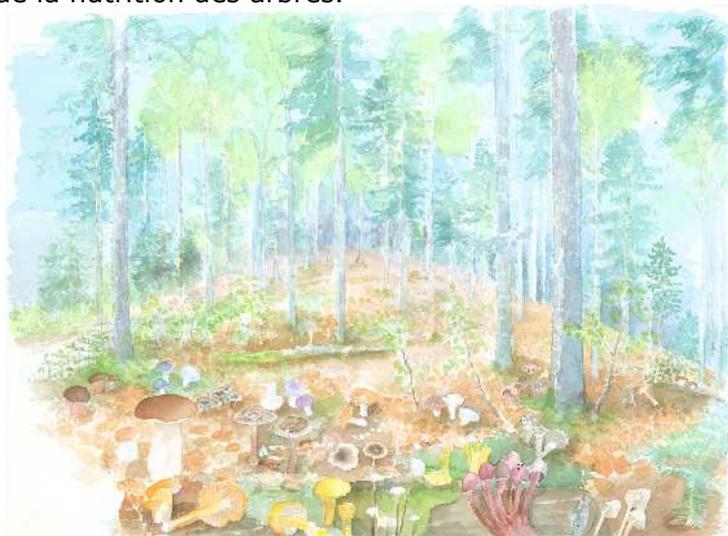


Fig.3 - Hêtraie-sapinière pyrénéenne. Des peuplements encore relativement diversifiés et équilibrés. La mycosylviculture propose de revenir sur la tendance à la régularisation de ces dernières décennies. Les raisons et les méthodes pour cela seront explicités dans les articles suivants de cet ouvrage (*Aquarelle Françoise Boutet et Jean Rondet*)

> **Un nouveau regard sur la gestion forestière :**

Intégrer aujourd'hui cet ensemble d'informations conduit à porter un autre regard sur la gestion forestière. Ce point de vue plus global conduit à intégrer de nouveaux facteurs essentiels de l'écosystème dans les travaux de diagnostic préalables aux décisions d'aménagement et de mieux prendre la mesure de l'importance de notions comme la «biodiversité forestière» ou le «fonctionnement des sols».

Dans ce sens, la mycosylviculture est une sylviculture qui veut compléter les règles classiques de la sylviculture par des règles favorisant la durabilité des écosystèmes forestiers à travers une optimisation des conditions de fonctionnement des communautés fongiques.

Au sein de ces communautés fongiques, certaines espèces comestibles peuvent être favorisées par le choix de certaines modalités parmi les conduites sylvicoles.

Ainsi, la mycosylviculture veut favoriser la préservation et l'amélioration des écosystèmes en même temps qu'une multifonctionnalité source de richesses économique et sociale.

CYCLE DE DEVELOPPEMENT

DES CHAMPIGNONS

Ana de Miguel. Departement de Biologie Végétale-Section de Botanique. Université de Navarre. 3108 Pamplona. (España).
Email : amiguel@unav.es

Avant de commencer l'étude des cycles de développement des champignons supérieurs, nous allons introduire quelques notions générales sur ces organismes. Cela nous permettra de mieux comprendre leurs modes de reproduction.

I- QUE SONT LES CHAMPIGNONS ?

Sous cette dénomination sont réunies plus de 100 000 espèces connues unicellulaires et pluricellulaires. Dépourvus de chlorophylle, hétérotrophes, les champignons nécessitent un apport de matière organique. La source de matière organique peut correspondre à des organismes vivants ou morts. Les champignons saprotrophes utilisent la matière organique morte. Les champignons symbiotiques et parasites utilisent, selon des modes différents donc, la matière organique vivante.

Les champignons réalisent la dégradation de la matière organique à l'extérieur de leurs structures, grâce à la production d'exo-enzymes qui la décomposent en molécules simples, facilement assimilables par les champignons.

Ces caractères (absence de chlorophylle et digestion externe) sont des éléments importants qui conduisent à considérer les champignons comme constituant un groupe différent des plantes, le règne Mycota.

Ni plantes ni animaux, ils ont été longtemps considérés comme des plantes sans chlorophylle du fait de leurs caractères communs avec les plantes. Ils possèdent cependant également des caractères communs avec les animaux.

Ainsi, par exemple les cellules fongiques sont semblables aux cellules végétales en ce sens qu'elles présentent une paroi cellulaire autour de la membrane mais cette paroi est formée de chitine et non de cellulose. La chitine se rencontre dans l'exo-squelette («carapace») des insectes.

Les cellules fongiques accumulent comme substance de réserve le glycogène, molécule caractéristique du Règne animal. L'organisation de ses structures évoquent celle de nombreuses algues (corps filamenteux, colonies et spores reproductrices sont des structures généralisées à la majorité des plantes).

Les champignons sont aujourd'hui étudiés comme des représentants d'un Règne à part, les deux caractères signalés précédemment (hétérotrophie et digestion externe) caractérisant leur évolution et leur diversification.

Rôle dans les cycles biogéochimiques.

Leur capacité à dégrader la matière organique et à la transformer, leur confère, avec les bactéries, un rôle essentiel dans la biosphère : ils contribuent activement à la décomposition de la matière organique et à la restitution des éléments minéraux au milieu naturel.

Ce rôle est une étape essentielle des cycles biogéochimiques du Carbone, de l'Azote, du Soufre et du Phosphore principalement.

Les deux phases de la vie des champignons.

D'une manière générale, nous pouvons distinguer deux étapes de base dans la vie des champignons supérieurs. En premier lieu, un corps végétatif ou mycélium, au moyen duquel il se nourrit et en deuxième lieu un corps reproducteur ou fructifère, d'origine sexuelle.

Quand le corps fructifère est visible, ce qui n'est pas toujours le cas, il reçoit la dénomination commune de « champignon », « truffe », « Bolet », etc. (en espagnol: seta, hongo, trufa, boleto).

Le corps fructifère contient des spores qui vont assurer la propagation de l'espèce.

A côté de la reproduction sexuée, certaines espèces peuvent se reproduire de façon asexuée, à travers la multiplication (en grande quantité habituellement) de spores qui donne à ces espèces la possibilité de se reproduire rapidement. Beaucoup d'espèces recourent à la reproduction asexuée dans une phase d'invasion d'un milieu ou d'infection.



*« Champignon »
: une
dénomination
qui cache des
formes très
diverses.*



La forme végétative des champignons.

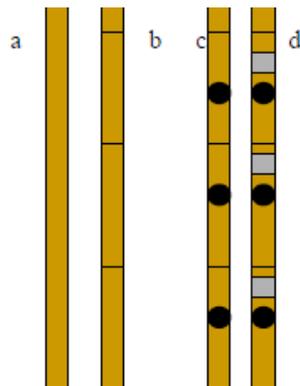
Les structures végétatives des champignons peuvent être unicellulaires, plasmodiales (masses cytoplasmiques contenant de nombreux noyaux) ou filamenteuses.



Le « mycélium » des champignons : des files de cellules allongées qui se ramifient pour former un « tissu » ou « feutrage » souvent blanc.

Quand les structures sont filamenteuses, nous parlons d'hyphes. L'association d'hyphes constitue le mycélium. Ainsi, le mycélium est constitué d'hyphes très fins. Ces filaments cellulaires colonisent le sol ou le substrat à partir desquels ils vont se nourrir.

Certains caractères généraux des hyphes sont intéressants à connaître. Les hyphes peuvent être dépourvus de cloisons et dans ce cas on parle d'hyphes cenocytiques (fig 1 a) ou bien ce sont des filaments cloisonnés (fig. 1 b). D'autre part, les hyphes cloisonnés peuvent présenter un, deux, ou plusieurs noyaux. Les hyphes sont alors monocaryotiques (fig 1c), dicaryotiques (fig 1 d) ou multinucléés.



*Figure 1. Types d'hyphes
a : sans cloison (cenocytique).
b : avec cloisons.
c : monocaryotique (un noyau par cellule).
d : dicaryotique (deux noyaux par cellule).*

Dans certaines occasions, le mycélium s'organise en une colonie facilement reconnaissable au premier regard (fig.2)



Dans de nombreux cas, ce « tissu » mycélien reste attaché au pied des fructifications quand celles-ci sont séparées du sol (fig3)



Durant la phase végétative, comme il a été expliqué précédemment, les champignons se développent sous la forme de mycéliums. Ils satisfont ainsi les fonctions végétatives, basiquement la nutrition et la croissance. Durant cette phase, ils passent inaperçus. Les espèces peuvent perdurer ainsi en phase végétative, invisibles en quelque sorte, durant de nombreuses années, les mycéliums s'étant développés à l'intérieur des substrats. Quand les conditions semblent apparemment défavorables à la présence des champignons, en réalité ceux-ci sont ainsi présents sous forme de mycéliums à l'intérieur des substrats.

Ces mycéliums présentent une grande homogénéité morphologique et une simplicité structurale. De ce fait, on ne les utilise que rarement pour différencier les espèces fongiques.

Les formes reproductrices des champignons.

Comme il vient d'être signalé, les mycéliums de la majorité des champignons en phase végétative sont très uniformes et peu différenciables. La caractérisation et la différenciation des champignons requièrent les caractéristiques des structures reproductrices, les corps fructifères et les spores d'origine sexuelle, dont la variabilité morphologique est grande, en relation avec la diversité des formes de nutrition et de l'infinité de micro-habitats dans lesquels les champignons se sont adaptés à vivre et à se développer.

Quand les conditions sont adéquates, les champignons supérieurs entrent en phase reproductrice, conduisant, dans la plupart des cas, à des formes visibles et différenciables de corps fructifères, masses de mycélium de formes caractéristiques.

La nature donne alors des exemples de son immense potentiel et de la diversité de stratégies, à travers une grande diversité de formes, de tailles, de consistances, de colorations et de durées des corps fructifères.

Ce sont ces structures fructifères qui ont attiré l'homme depuis des temps anciens, celui-ci s'intéressant à leur comestibilité possible, leurs usages médicaux, leurs pouvoirs hallucinogènes, leurs toxicités ou encore s'intéressant au mystère de leur apparition.



Les champignons : Des mycéliums très semblables mais une immense diversité de corps fructifères.



Les
« champignons
existent
également sous
forme de
« spores ».

Les champignons que nous apprécions dans les forêts sont donc les corps fructifères des espèces. Ils contiennent un nombre élevé de spores. Les spores se forment dans des cellules spécialisées dans lesquelles a lieu les processus de fusion des noyaux = la caryogamie (les deux noyaux rencontrés dans l'ensemble des cellules fusionnent dans ces cellules spécialisées). Ensuite, le noyau unique résultant de la fusion se divise une ou plusieurs fois. Lors d'une de ces divisions, les noyaux « fils » ne reçoivent que la moitié des chromosomes du noyau père et c'est un retour à l'état haploïde. Les cellules spécialisées produisent ainsi des spores à n chromosomes.

Selon le type de champignon, les spores sont contenues dans des *asques* et s'appellent alors des *ascospores* ou bien forment des *basidiospores* portées à l'extérieur de *basides* (fig. 5 et fig. 6).

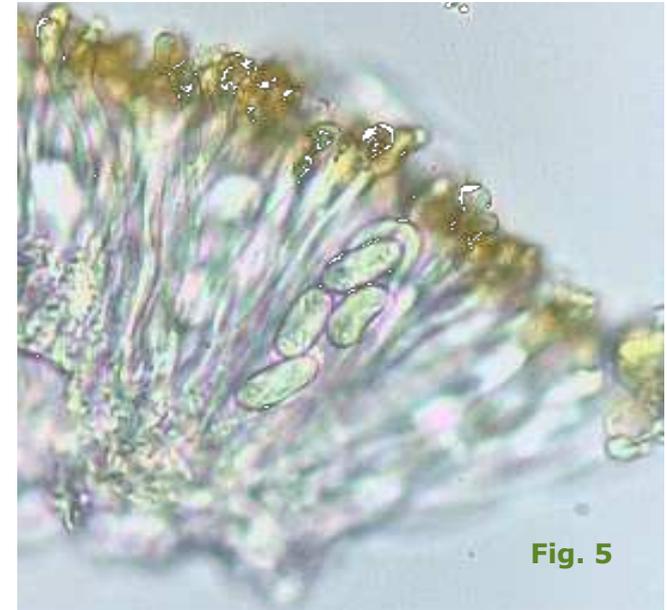


Fig. 5

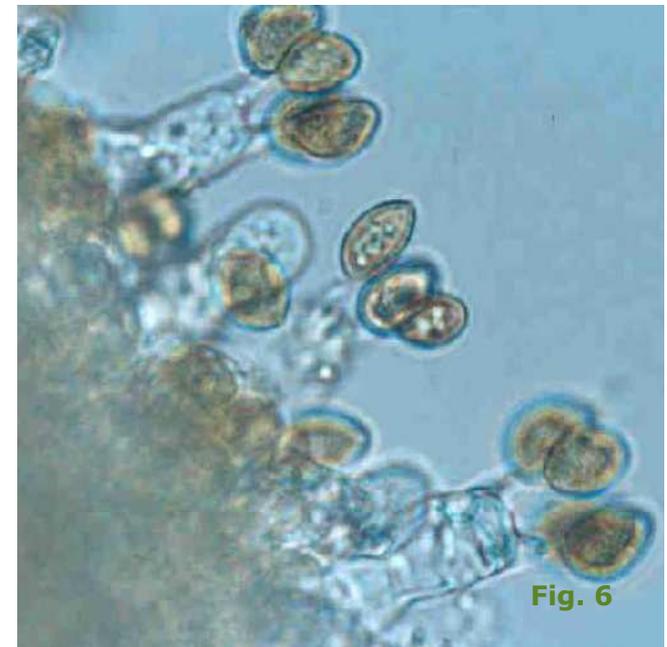


Fig. 6

fig.5 : ascospores à l'intérieur d'un asque

fig.6 : basidiospores portées par des basides

L'identification des espèces nécessite l'observation de
Quelques caractéristiques des corps fructifères.

Per leurs tailles, certains champignons se caractérisent
visuellement au simple regard. D'autres ont des
dimensions microscopiques et on ne sait pas où ils se
trouvent. Leur consistance est molle et ils se
décomposent facilement ou bien ils sont durs et
perdurent durant des années. Le fait qu'un corps
fructifère se développe rapidement et se décompose en
peu de temps est à mettre en relation avec la
dissémination rapide de ses spores (corps fructifère à
développement rapide (fig. 7)

Au contraire, certaines fructifications dures, coriaces,
imputrescibles, qui perdurent à travers les années,
montrent une dissémination lente des spores, années
après années (fig.8)

Fig.7 *Amanita*



Fig.8 *Trametes*

La spécificité des corps fructifères permet une
différentiation des espèces. Mais l'un des critères les
plus importants pour différencier les groupes de
champignons supérieurs est la production de spores
sexuelles. Elles sont produites dans des asques ou des
basides comme il a été signalé plus haut, ce qui permet
de distinguer deux grands groupes de champignons, les
Ascomycètes et les Basidiomycètes. Ce sont les
champignons les plus évolués et les plus connus et qui
comprennent les truffes, bolets, lactaires...



*Champignons
coriaces et
champignons
fragiles.*



*Les
« moisissures » :
un terme
commun pour
désigner de
nombreuses
espèces de
champignons.*

Les champignons peuvent présenter une reproduction asexuée, avec une production de spores asexuées, principalement d'un type conidies. Cette reproduction permet la prolifération rapide du champignon et son expansion rapide dans le milieu. Cette phase reproductive asexuée peut être observée simplement par la formation d'une couche pulvérulente de milliers et milliers de spores en surface du substrat dans lequel le champignon se développe (fig 4).



La reproduction asexuée donne aux champignons un potentiel de reproduction important, en relation avec une aptitude à profiter de conditions favorables du milieu. Pour de nombreux champignons parasites, cette reproduction correspond à la phase d'infection de l'hôte.

Beaucoup de ces caractéristiques reproductrices mentionnées jusqu'à maintenant permettent de séparer les groupes distincts de Champignons, dont nous n'aborderons seulement dans la suite de cet article que les champignons supérieurs : Ascomycètes et Basidiomycètes.

II- LA REPRODUCTION SEXUELLE CHEZ DES CHAMPIGNONS SUPÉRIEURS

Voyons maintenant les processus généraux de reproduction sexuelle chez la majorité des champignons supérieurs des groupes les plus importants, d'Ascomycètes (Phylum Ascomycota) et Basidiomycètes (Phylum Basidiomycota)

Phylum ASCOMYCOTA

Dans ce groupe, la caractéristique commune à toutes les espèces est la production de spores à l'intérieur d'asques. Les espèces ont l'habitude de présenter une phase végétative micélienne, constitué par des hyphes pourvues d'un seul un noyau (hyphes monocaryotiques). Chez les espèces inférieures, la production de spores asexuées de type conidios est fréquente.

Dans le cycle de développement caractéristique du groupe, la germination d'une spore génère un mycélium végétatif haploïde, constitué donc de cellules uninucléées (monocaryotiques), qui se développe dans le substrat (fig.9a). Les processus sexuels, déclenchés souvent par les conditions d'ambiance consistent dans la différenciation en mycéliums végétatifs des organes reproducteurs spécialisés, mâle et femelle. Ce sont les gametanges denommés ascogone et anthéridie (fig.9b)

La proximité et le contact entre les deux permet la fusion et le transfert de noyaux depuis l'anthéridie vers l'ascogone à travers un tube nommé le trichogyne (fig.9 t). Une fois le contenu de l'anthéridie vidé dans l'ascogone, les noyaux "mâles" et "femelles" s'apparient (fig 9 c)

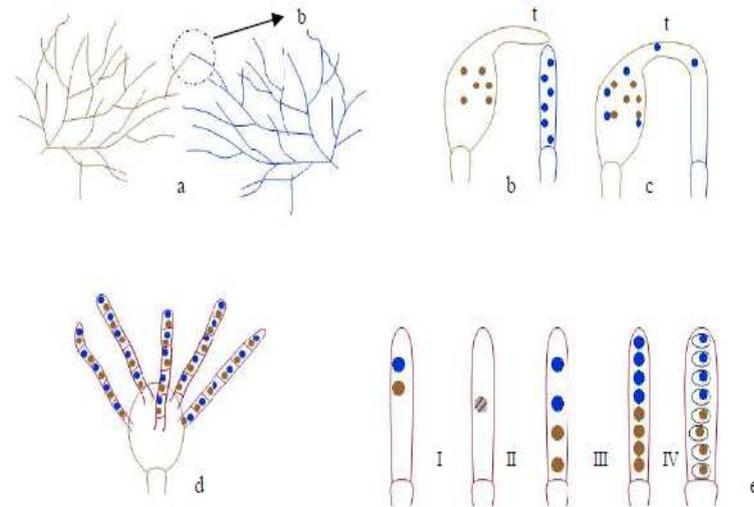


Figure 9. mycéliums végétatifs monocaryotiques. b Gametanges mâle et femelle : ascogone et anthéridie c. Transfert de noyaux à travers le trichogyne (t). d Ascogone avec des hyphes ascogènes dicaryotiques e. Maturation de l'asque; I fusion des noyaux (caryogamie), II division reductrice (méiose). III division des noyaux IV formation des ascospores à l'intérieur des asques.

Chaque paire de noyaux s'isole dans des protubérances indépendantes et ils commencent leurs divisions de façon synchronisée. Le processus doit être bien contrôlé pour assurer que chaque cellule fille hérite de deux noyaux différents. Les cellules se multiplient en filaments, les hyphes formés étant constitués de cellules à deux noyaux (hyphes dicaryotiques) (fig. 9d). Ces hyphes, dans leur partie apicale (= dans la cellule de l'extrémité) forment les asques (fig 9 e). C'est pourquoi ces filaments mycéliens se dénomment les hyphes ascogènes, car ils génèrent les asques. Dans l'asque a lieu la fusion des deux noyaux (fig. 9 e I), puis la méiose (II) qui donnera en résultat 4 noyaux (III). Chacun donnera une spore. Si ces noyaux se multiplient à l'intérieur de l'asque (IV), il pourra y avoir 8 (V), 16 ou 32 ascospores par asque. En même temps que les hyphes ascogènes se développent et produisent les asques, le micélium végétatif poursuit aussi son développement, de façon à ce que l'ensemble des hyphes uninucléés (monocaryotiques) et des hyphes dicaryotiques ascogènes se condensent, s'entrelacent et s'organisent pour constituer finalement les corps fructifères, caractéristiques de chaque espèce (fig. 10 et 11). On pourrait dire que les cellules fertiles productrices des asques (fig. 10 b) se trouvent accompagnées et protégées par des cellules stériles originaires de mycéliums végétatifs (hyphes monocaryotiques végétatifs) (fig. 10 a).

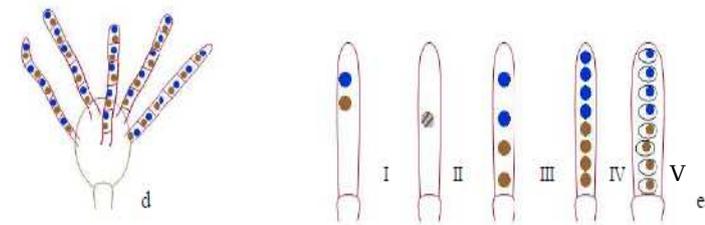


Figure 9 (cf. page précédente)

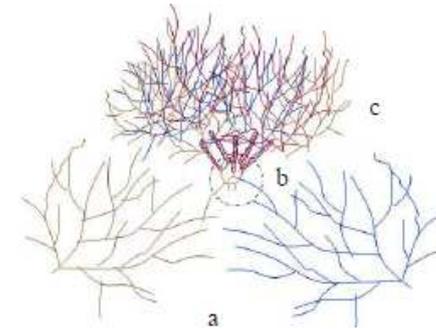


Figure 10. a Représentation schématique de deux mycéliums végétatifs . b Formation des hyphes ascogènes c entrelacement des trois pour former un corps fructifère.

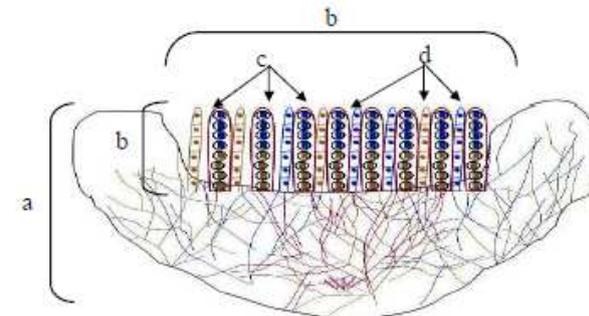


Figure 11. Corps fructifère d'un ascomycètes. . a Apothécie. b Hyménium discoïdal. c Asques. d Paraphyses.

Types d'ascocarpes (= corps fructifères des Ascomycètes)

Comme il a été expliqué, les corps fructifères d'Ascomycètes sont constitués par des hyphes entrelacés associant des hyphes monocaryotiques et dicaryotiques. Dans ces corps fructifères (fig 10a), la partie fertile dans laquelle les asques se disposent est dénommée hymenium (fig. 11b). Les cellules stériles accompagnatrices des asques sont appelées des paraphyses. (fig. 11d). Dans les asques ont lieu les phénomènes de fusion des moyaux (caryogamie) et de méiose qui finalement conduisent à la formation de spores à l'intérieur de ces asques. Une fois mûres, ces spores seront dispersées.

En fonction de la morphologie et de la disposition de l'hymenium, les ascocarpes peuvent être des apothécies, des périthèces ou cléistothèces

L'apothécie est un ascocarpe avec l'hymenium présentant une surface exposée de forme discoïdale ou en dôme.

Le périthèce est un corps fructifère en forme de bouteille, avec la partie fertile ordonnée au fond de celle-ci et un pore par lequel les spores sortiront à l'extérieur.

Le cléistothèce est un corps fructifère fermé avec l'hyménium sans ordre à l'intérieur, sans mécanisme d'ouverture.

Les Ascomycètes se classent selon ces différents types d'ascocarpes ou même leur absence. dans différents groupes. Les espèces les plus connues d'Ascomycetes sont ceux qui possèdent un corps fructifère de type apotecie : une multitude d'espèces saprotrophes, fréquentes sur litières de feuilles mortes, sur bois mort, zones brûlées, excréments, (espèces lignicoles, pirophiles, coprophiles), quelques parasites, beaucoup d'espèces symbiotiques présentes dans les lichens ou d'espèces mycorhiziennes. Parmi ces dernières, les truffes du genre *Tuber* et les "truffes du désert" du genre *Terfezia* représentent des exemples intéressants de corps fructifères se développant sous la surface du sol (corps fructifères hypogés).



*Les « truffes » :
des ascomycètes
« hypogés ».*

Phylum BASIDIOMYCOTA

Dans ce groupe d'espèces, les spores, appelées basidiospores, sont produits à l'extérieur des sporanges de type « basides ». Cela distingue nettement les basidiomycètes des ascomycètes (spores produites à l'intérieur des sporanges = asques).

Dans le cycle biologique général, la phase végétative s'initie avec la germination d'une spore haploïde qui donne un mycélium primaire d'hyphes monocaryotiques. Cependant, ce mycélium a une vie brève puisqu'il fusionne avec d'autres hyphes monocaryotique (fig.12a). Au moyen des processus de fusion simple des cytoplasmas de cellules végétatives de ces micéliums distincts (somatisation), un mycélium secondaire prend naissance, constitué par des hyphes dicaryotiques (fig. 12 b)

Ce mycélium végétatif dicaryotique persiste dans le substrat, parfois durant des décennies, jusqu'à ce que des conditions environnementales précises déterminent son entrée dans une phase reproductrice, avec l'apparition de corps fructifères, propres à chaque espèce et dans lesquels les basides sont réunies en zone fertile ou hymenium (fig. 12c et 12d). Comme chez les Ascomycètes, la baside est le sporange dans lequel ont lieu les processus de fusion des deux noyaux haploïdes (caryogamie) (fig. 13 I), de méiose (II), de maturation des quatre noyaux dans des spores (III), de migration et exposition des spores à l'extérieur des basides (IV).

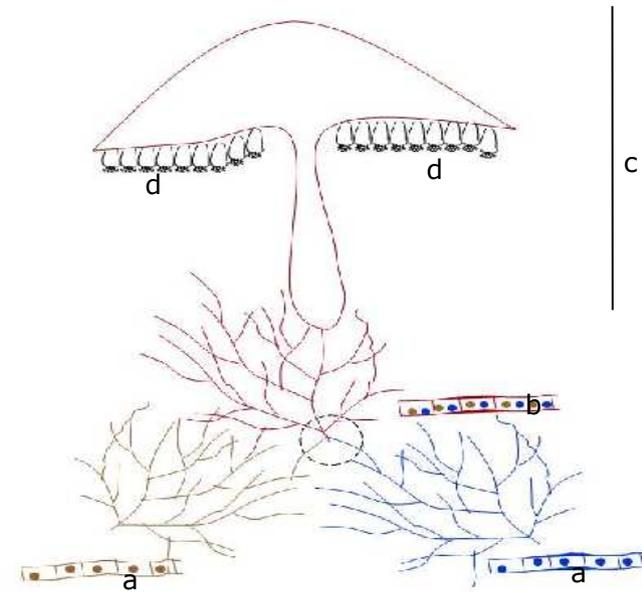


Figure 12 a Mycéliums monocaryotiques végétatifs. **b** mycélium dicaryotique végétatif secondaire, résultant de la fusion de mycéliums primaires. **c** Fructification **d** hymenium tapissé de basides

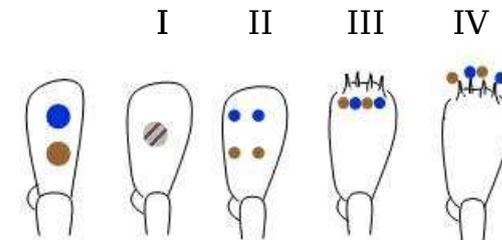


Figure 13. Processus de formation de la baside et de production de basidiospores : I Fusion des deux noyaux (caryogamie), II division reductrice (méiose), III formation de sterigmates, IV spores à l'extérieur

Les cellules fertiles (basides) de l'hymenium peuvent être accompagnées de cellules stériles, appelées cystides chez les basidiomycètes..

Dans le cas des Basidiomycetes, l'ensemble du corps fructifère est constitué par des hyphes dicariotiques.

Types de basidiocarpes.

Le corps fructifère d'un Basidiomycète (basidiocarpe) peut être une structure à développement relativement rapide, à chair molle, putrescible, qui dure quelques jours et disparaît avec rapidité une fois les spores disséminées (l'un des cas les plus représentatifs est celui-là du genre *Coprinus*, des basidiocarpes entrant en déliquescence en quelques heures. (fig. 14). Au contraire, cela peut être une structure à développement lent, résistant, imputrescible qui dure jusqu'à quelques années dans le milieu, avec une libération graduelle de spores dans le temps.

Les espèces de *Fomes* ont ainsi des fructifications coriaces qui mettent des décennies à se développer (fig. 15).

Le basidiocarpe peut ne pas exister chez quelques espèces parasites, comme celles qui causent les rouilles chez les plantes (ex: le genre *Puccinia* fig. 16). Le champignon est identifié comme Basidiomycète car la production de spores se produit dans des basides.



Fig 14
Les basidiocarpes de *Coprin chevelu* sont particulièrement fragiles et se décomposent rapidement.



Fig 15
Les basidiocarpes de *Fomes sp.* se forment durant plusieurs années. Ils sont particulièrement coriaces.



Fig 16
Chez les rouilles, qui parasitent les plantes, les basidiocarpes sont absents mais le champignon produit des basides.



Un autre caractère des corps fructifères est la surface de l'hyménium (Fig.17). L' hyménium peut montrer des lames (17 a), des pores (17b) ou des aiguillons (17c).



Des caractères distinctifs qui ont permis une reconnaissance et une utilisation des champignons par les hommes depuis très longtemps.

Des caractères à bien connaître pour éviter des confusions qui peuvent être mortelles

Si l'hyménium apparaît et reste découvert durant tout le temps du développement du corps fructifère, sans protection, le champignon est dit gymnocarpe (fig. 18a). Il est hémiangiocarpice quand il est initialement protégé (fig. 18b) et angiocarpe quand l' hymenium est protégé durant tout le développement du corps fructifère et de la maturation des cellules reproductrices (fig. 18c). Dans ce dernier cas, il s'ouvre seulement dans la maturité, pour permettre la dispersion des spores, en relation souvent avec les insectes qui sont attirés par les odeurs fortes de ces champignons arrivés à maturité.

Les champignons coriaces du type des genres *Fomes* ou *Trametes* sont des exemple d'espèces avec des corps fructifères dont l'hymenium est toujours découvert (gymnocarpes). Les genres comprenant les espèces le plus souvent récoltées (*Amanites*, *Russules*, *Lactaires*, *Coprins*, *Agarics*, *Bolets*,...) ont un hyménium protégé dans les premières phases du développement du corps fructifère, puis découvert ensuite (hémiangiocarpes). Les espèces du genre *Lycoperdon* ou *Calvatia* possèdent un hyménium qui reste protégé tout au long de leur développement (angiocarpes).



Fig.17 surface de l' hyménium : en lames (a), tubes (b), aiguillons (c)



Fig.18 champignons gymnocarpe (a), hémiangiocarpe (b), angiocarpe (c)



Importance des Champignons

Les champignons ont une grande importance pour l'homme. Par exemple, les espèces saprotrophes qui se développent dans des restes de matière organique ont un grand rôle écologique comme décomposeurs. Leur rôle dans la nature est de recycler la matière organique jusqu'à ses éléments minéraux et de les mettre à nouveau à la disposition des végétaux. Dans ces espèces saprotrophes, on trouve également les champignons responsables des fermentations alcooliques et lactiques, de tant d'intérêt industriel et économique pour l'homme.

Les espèces parasites sont importantes pour d'autres raisons. Elles se développent à l'intérieur ou sur un autre organisme pour y prélever les substances nécessaires à leur développement, en causant ainsi des dommages aux plantes ou animaux. La connaissance des espèces parasites est nécessaire pour pouvoir les traiter et les combattre.

Par ailleurs, de nombreuses espèces saprophytes ont une grande importance du point de vue de leur valeur médicale. Elles produisent en effet des substances comme la pénicilline ou la cyclosporine.

Les espèces symbiotiques s'associent à un autre être vivant pour constituer une unité relationnelle bénéficiant aux deux participants. La symbiose des champignons avec les algues constitue les lichens qui ont un rôle essentiel dans les processus de colonisation des roches et formation des sols.

Grâce à leur sensibilité à la contamination environnementale, ils sont utilisés comme bioindicateurs de la qualité environnementale.

Mais peut-être plus importants encore sont les champignons qui peuvent s'associer aux racines de plantes supérieures et constituer des mycorhizes, structures découvertes à la fin du XIXe siècle par A.B. Frank et qui dans dernières décennies se sont révélés comme étant généralisées à la majorité des espèces végétales. Dans cette symbiose, le champignon obtient de la plante les nutriments organiques nécessaires à son développement. En retour, la plante supérieure bénéficie d'une grande amélioration dans l'absorption d'eau et de nutriments minéraux ainsi que dans la résistance aux maladies. Cette symbiose est en réalité nécessaire à la vie des plantes. Cela est particulièrement évident pour la vie des plantes sous climats peu favorables ou sur des sols particulièrement pauvres.

Une application importante tient à la possibilité de revégétaliser et de reforester des zones dévastées par la sécheresse, les incendies, la salinisation ou par l'avancé de la désertification. Les applications visent également à l'amélioration de l'agriculture dans les milieux défavorisés.



La symbiose mycorhizienne : une réalité généralisée à la majorité des plantes et une source essentielle de progrès pour l'agriculture et la forêt.



Les deux rôles des champignons : d'une part, un rôle écologique majeur et d'autre part un rôle dans les activités humaines

Dans la nature, les associations mycorhiziennes entre mycélium et racelles de plantes, constituent une étape végétative durable et stable dans les sols des forêts ou d'autres formations végétales. Les mycorhizes permettent aux espèces de champignons d'être présents et de résister aux périodes de stress, installés au niveau des racines, de se développer et propager végétativement à proximité des racines, dans l'« attente » de conditions favorables à leur fructification.

Il demeure cependant que cela n'est pas encore bien connu et que pour beaucoup de personnes, l'importance des champignons reste purement gastronomique ou ludique.

Cet aspect est également essentiel bien sûr, la récolte traditionnelle de beaucoup de champignons comestible constitue une activité importante et certains champignons ont une grande valeur marchande (fig 19).



Fig.19 Etalage au marché d' Helsinki : Chanterelles, Cèpes et Pieds de mouton

BIBLIOGRAPHIE

Abbeyes, H., Gausson, H., Chadefaud, M., Grassé, P., Feldmann, J., Prevot, A.R., De Ferré, Y. 1989 *Botánica: vegetales inferiores*. Ed. Reverté. 748pp

Izco, J., E. Barreno, M. Brugués, M. Costa, J. Devesa, F. Fernández, T. Gallardo, X. Llimona, C. Prado, S. Talavera & B. Valdés. 2004. *Botánica*, 2ª Edición. McGraw-Hill-Interamericana de España. Madrid. 906 pp.
Webster, J & weber, R. 2007 -Introduction to Fungi. 3rd ed. Cambridge University Press. 841pp.

FACTEURS DECLANCHEURS DE LA FRUCTIFICATION DES CHAMPIGNONS

Anabela Martins

Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior Agrária. Campus de Santa Apolonia, 5300 - 855 Bragança - PORTUGAL

Introduction

Les champignons ont été longtemps associés au diable et à la sorcellerie. Il y a à peine 200 ans, la croyance populaire attribuait au démon ou aux fées l'apparition soudaine des carpophores. Depuis, une observation plus scientifique a montré l'inanité de ces croyances. Aujourd'hui encore, ils sont parfois considérés comme des organismes néfastes (Lamoureux, 1993) et mystérieux. On ne sait jamais où et quand ils peuvent et vont apparaître.

Les champignons qui poussent et que nous voyons sur le sol d'une prairie ou d'une forêt, ne sont pas les organismes dans leur entier. Ils ne sont que des formations éphémères destinées à la reproduction sexuée, c'est-à-dire à la dissémination et à la survie de l'espèce. En effet, à la base d'un champignon, il y a un réseau de très fins filaments qui fait liaison avec le substrat.

Ces filaments parcourent de très longues distances en se ramifiant abondamment, l'ensemble de filaments constituant le mycélium qui est le véritable organisme fongique. Après la décomposition du champignon, son mycélium reste vivant dans le sol ou un autre substrat, pendant plusieurs années ou même des siècles. En 1992, la revue 'Nature' révéla la découverte au Michigan, Etats-Unis, d'un champignon dont le mycélium occupe plus de quinze hectares, possède un poids qui dépasse dix tonnes et qui vit au même endroit depuis quinze siècles sans avoir subi des changements importants dans son information génétique. C'est donc parmi les champignons qu'on trouve les êtres vivants les plus âgés et les plus grands au monde. (Buyck, 1994).

Fungi et formation de champignons

Quand les conditions internes du sol ou du substrat (humidité, température, milieu nutritif) sont favorables, le mycélium s'agglomère et forme un minuscule nucleus, de quelques millimètres de diamètre, le *primordium* de champignon; une espèce d'embryon du carpophore. Chez les espèces dont le mycélium passe par les deux stades, mycélium primaire et mycélium secondaire, c'est ce dernier qui produit les *primordia*. Mais dans les modèles de développement sans formation de mycélium secondaire, c'est le mycélium primaire qui s'agglomère pour former un nucleus à l'intérieur du substrat et qui produit les *primordia*. Le *primordium* reste en liaison permanente avec les filaments mycéliens dont il est issu et qui vont lui apporter de l'eau, et les éléments nutritifs absorbés dans le substrat. Ces apports lui permettent de grandir en volume et, très tôt de différencier peu à peu ce qui sera le pied, le chapeau, la cuticule, l'anneau, les lames ou les tubes du carpophore adulte (Brunelli & Göpfert, 2003).

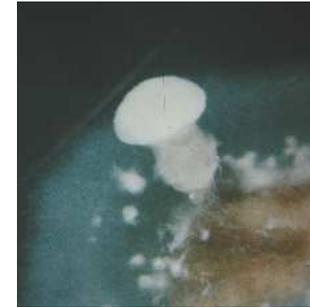


fig.1 Primordia de *Boletus edulis* (le "cèpe de Bordeaux" des français) en liaison avec du mycélium (cultures mycélienne au laboratoire). **fig 2** Primordia plus évolué (3mm de hauteur) en boîte de pétri. **fig3** Primordia de *Boletus sp.* (1,5 mm environ) observé à la loupe binoculaire dans un sol d'une châtaigneraie. Le primordia est relié à un cordon mycélien (un cordon regroupe de nombreux filaments mycéliens). (Photos : J. Guinberteau, J. Rondet)

Ces *primordia* peuvent attendre, pendant une durée assez longue et comme en « sommeil » dans le substrat, des circonstances favorables pour achever leur croissance. Le Tricholome nu (*Lepista nuda*) ou « Pied bleu », par exemple est une espèce tardive d'arrière-automne mais il peut aussi apparaître au printemps. Il est probable que des *primordia* arrêtent leur croissance lorsque la neige et le gel apparaissent en surface; ils restent dans l'humus et se développent au printemps, à partir des nutriments apportée par les filaments mycéliens (Brunelli & Göpfert, 2003).

Les Cèpes trouvés dans l'automne, pourraient avoir ses *primordia* formés dans le terrain dès le printemps, plusieurs mois avant sa croissance. Pour que le jeune carpophage surgisse de terre ou apparaisse sûr un tronc d'arbre, il est nécessaire que les conditions extérieures (humidité et température de l'air, entre autres) soient aussi favorables. Le couple conditions internes - conditions externes est fondamental pour la production de carpophores. Si les facteurs internes sont défavorables, il n'y aura pas de *primordia* et par suite il n'y aura pas de carpophores; si les facteurs externes ne sont pas favorables, les *primordia* bloquent leur développement et là encore, il n'y aura pas de carpophores. Les champignons du genre *Boletus*, mais aussi d'autres présentent certaines périodicités dans l'abondance de production de carpophores, par exemple tous les 4 ans environ (Brunelli & Göpfert, 2003).

Tant que les conditions externes le permettent, le mycélium continue donc à se développer, à la recherche des sucres, acides aminés, vitamines et autres molécules dont il se nourrit.

La source alimentaire disponible détermine dans une large mesure la croissance du mycélium, ainsi que les dimensions et le nombre de champignons que celui-ci pourra former.

Dans le cas des saprophytes, la formation de champignons dépend entièrement des réserves présentes dans le mycélium ou directement accessibles dans la litière/substrat. Le mycélium exploitant une aiguille de sapin ou une seule feuille ne formera que de petits champignons (c'est le cas de la majorité des *Mycena*, *Marasmius* (fig.4), etc...) en comparaison d'un mycélium qui exploite tout un tronc (Buyck, 1994).



fig.4 Marasmius hudsonii : petit champignon saprotrophe spécialisé exclusivement dans la dégradation de la litière de houx
Photo G. Corriol



Fungi et formation de champignons

Un autre facteur qui joue surtout dans le cas des saprophytes, est la longévité des champignons formés par le mycélium. La grande majorité des champignons et, forcément tous les comestibles, ont une chair molle et tendre qui contient généralement entre 80% et 90% d'eau. Au bout de quelques heures à quelques jours ils pourriront. D'autres espèces de champignons sont dures et formés d'une chair coriace résistant plusieurs années à la décomposition. A cette catégorie appartiennent, par exemple, beaucoup de champignons poussant de façon imbriquée sur les troncs d'arbres. Dans ce cas, le mycélium continue à 'nourrir' les champignons en formant chaque année une nouvelle zone périphérique de croissance comparable au phénomène bien connu du bois des arbres. En comptant le nombre de zones de croissance on déduit l'âge du champignon (Buyck, 1994). Les champignons peuvent atteindre de grandes dimensions. Les grands champignons sont à rechercher parmi les symbiotes dont le mycélium exploite directement les ressources énergétiques de leurs partenaires autotrophes. Pour ce faire, les champignons symbiotes associés aux arbres forment des connections intimes au niveau des racines de l'arbre, les ectomycorhizes. Au niveau de celles-ci, le tissu périphérique de la racine est envahi par les hyphes du mycélium à tel point qu'un échange de molécules devient possible entre les partenaires symbiotiques.

Au moment de la formation des champignons, le mycélium exploite directement la photosynthèse de l'arbre: les sucres formés au niveau des feuilles descendent dans le tronc de l'arbre vers les racines, où ils seront déroutés par les ectomycorhizes vers le mycélium. Presque la moitié des sucres produits par la photosynthèse de l'arbre peuvent ainsi être utilisés pour la formation de champignons. En d'autres termes, le mycélium fait travailler l'arbre à mi-temps pour sa propre reproduction. (Buyck, 1994).

Le mycélium, représentant l'essentiel de l'organisme fongique, ne peut pas être comparé à aucune autre structure des différents groupes d'êtres vivants. C'est une structure propre au règne fongique et certainement une des raisons de son succès. (Buyck, 1994).

La production de spores sexuées est la raison d'être des champignons. Tous leurs caractères visent un meilleur rendement du processus sexué (i.e. le processus permettant la recombinaison du matériel génétique entraîne ainsi une meilleure adaptation aux changements du milieu). Ce processus sexué des mycéliums conduit à une productivité énorme. Chez les basidiomycètes une même fusion de gamètes (deux noyaux appartenant à des thalles compatibles) peut produire des millions à des milliards de spores sexuées dont la germination peut conduire à la formation de nouveaux individus.



De manière simplifiée, cette multiplication de spores sexuées est réalisée en quelque sorte en prenant des 'copies' du couple original de gamètes dans chaque cellule nouvellement formée (la dicaryophase). Il s'agit ici encore d'une caractéristique propre au règne des champignons. Dans les basidiomycètes, la dicaryophase existe déjà dès la phase végétative (le mycélium) et continue dans les tissus des champignons (la phase reproductrice). (Buyck, 1994). La production de champignons par le mycélium a lieu chaque année plus ou moins à la même période si les conditions de température, d'humidité, de nutrition et même de lumière sont favorables. Au moment du développement, les jeunes champignons s'orientent vers la lumière pour acquérir une position optimale pour la dispersion des spores et dans quelques cas (*Pleurotus* par exemple), le développement s'arrête en l'absence d'une luminosité suffisante. Lors de la formation du jeune champignon, des millions de cellules terminales contenant des copies du couple original de gamètes vont se grouper dans une seule couche continue, l'hyménium (Buyck, 1994).

Quels sont donc les facteurs déclencheurs de la fructification des champignons?

Un grand nombre de paramètres influencent la fructification des champignons, et les raisons exactes de leur apparition subite ne sont connues qu'en partie. Les facteurs comme la température, l'humidité et la lumière sont considérés entre les plus importants mais d'autres, associés aux sols, comme le pH, la température, l'humidité et l'aération du sol, sont aussi étudiés. Il est certain que la température est un des plus importants de ces facteurs. Les champignons ne peuvent croître à une température située en-dessous du point de congélation ou supérieure à 40° C. Le deuxième paramètre en importance est l'humidité. Les champignons étant constitués à environ 90 % d'eau, il leur faut des conditions d'humidité assez élevées pour bien pousser. C'est pourquoi on en trouve surtout pendant les périodes de pluie (*Lamoureux, 1993*).

Comprendre l'écologie des champignons forestiers comestibles offre de nombreuses perspectives pour améliorer la gestion de leur récolte (Pilz et Molina, 2002). Les patrons de fructification des différentes espèces restent encore largement inconnus. Pour surmonter ces limitations, il est important de décrire et de comprendre la phénologie de fructification des champignons en fonction des caractéristiques régionales (Pinna et al., 2010).



Plusieurs études ont montré que la productivité des espèces épigées de champignons est liée aux conditions climatiques annuelles, telles que les précipitations moyennes mensuelles ou la somme des précipitations ainsi que la température moyenne mensuelle (Eveling et al, 1990; Ohenoja, 1993, 1995; Laganà et al, 2002; Salerni et al, 2002; Martínez de Aragón et al, 2007; Krebs et al, 2008). Quelques études ont également tenté d'expliquer les dates ou la durée de fructification par rapport aux conditions climatiques (Straatsma et al, 2001; Mihail et al, 2007; Gange et al, 2007; Kauserud et al, 2008). Les analyses de la durée de la période de fructification des champignons sur un pas de temps de plus de 50 ans montre que, au cours de ces cinq décennies, la saison a plus que doublé, passant de 33 jours dans les années 1950, à 75 jours dans le nouveau millénaire, avec des fructifications plus précoces en automne et, au moins dans les forêts de feuillus, une fin de saison des pousses plus tardive. Il est également prouvé que le mycélium de certaines espèces d'automne survit l'hiver et fructifie de nouveau au printemps. Ces résultats paraissent corroborer clairement le changement climatique (Gange et al, 2007). Par ailleurs, la rétention d'humidité du sol a plus d'influence sur la productivité des champignons que les précipitations (Wilkins et Patrick, 1940; Laganà et al, 2002.). Par conséquent, il est important de mesurer l'humidité et la température directement dans le

substrat sur lequel les fructifications apparaissent afin de mieux expliquer la phénologie des champignons (Pinna et al., 2010).

La productivité des espèces de champignons est également déterminée par les caractéristiques de l'habitat. En général, les jeunes peuplements forestiers ont une plus grande productivité de champignons épigés que les plus mûres (Vogt et al, 1981; Senn-Irlet et Bieri, 1999; Bonet et al, 2004). Néanmoins, en dehors des observations fortuites, l'effet du type d'habitat sur la phénologie de fructification des espèces fongiques n'a pas été spécifiquement testé. Il est essentiel de considérer à la fois l'habitat et l'emplacement géographique d'une espèce afin de déterminer les effets des facteurs climatiques sur la phénologie de fructification des champignons forestiers comestibles (Ohenoja, 1993, Pinna et al., 2010).



Variation interannuelle de la phénologie des espèces

Les patrons de fructification des champignons varient beaucoup entre les espèces (variation interspécifique) et entre les années au sein des espèces (variation intraspécifique). La variabilité phénologique d'une espèce est exprimée par un nombre et des durées différents de pics d'émergence, en fonction de l'année. D'après les résultats de Pinna et al. (2010) l'effet de l'année explique de manière significative une partie de la variation de la date initiale de la fructification ainsi que de la durée de la période de fructification. Le développement des carpophores dépend de la disponibilité de l'eau de surface et la température du sol (Cooke, 1948; Slankis, 1974; Manachère, 1980). Toutes les espèces ne semblent cependant pas sensibles aux mêmes facteurs limitant. En fait, les conditions de température et humidité du sol, qui varient significativement entre les années, semblent être spécifiquement liées à la phénologie de chaque espèce.

Disponibilité de l'eau du sol et stress

Les précipitations sont particulièrement importantes dans le déclenchement de fructification des champignons (Ohenoja et Metsänheimo, 1982; Mihail et al, 2007.). Les résultats montrent que l'humidité moyenne élevée du sol favorise le début de fructification par exemple de *Boletus edulis* et *Lactarius deterrimus*.

Selon Hall et al. (1998), la fructification de la variété européenne de *B. edulis* peut même être inhibée pendant des étés très secs. La durée de la fructification est également légèrement favorisée par l'humidité moyenne du sol élevée. Toutefois, l'excès d'eau peut stimuler le développement du mycélium au détriment de la fructification des champignons (Manachère, 1980). Les résultats démontrent que, l'excès d'eau peut avoir un effet limitatif sur la phénologie de fructification de certaines espèces. Des niveaux élevés d'humidité moyenne du sol retardent la fructification de certaines espèces (*Cortinarius caperatus* et *Catathelasma ventricosum*) et réduit la durée de la fructification d'autres espèces (*C. caperatus* et *H. repandum*). Un large éventail d'humidité du sol, entraînant un stress hydrique, est également liée à la phénologie des espèces. Le stress hydrique explique en partie la période de fructification raccourcie et est en relation avec un retard des dates de fructification de certaines espèces. En revanche, *Lactarius thyinos* est affecté positivement par le stress hydrique et il semble qu'un large éventail d'humidité du sol stimule la date initiale de fructification. Dans l'ensemble, la disponibilité de l'eau et / ou du stress hydrique dans le sol affecte différemment la phénologie des diverses espèces (Pinna et al., 2010)



La température du sol et l'effet du choc – froid

La phénologie de fructification des espèces fongiques est sensible aux températures élevées. Les températures moyennes du sol élevées retardent la date initiale de fructification de *Catathelasma ventricosum* et *Leccinum piceinum*. En outre, des variations extrêmes de température du sol au cours d'une saison de croissance réduit la durée pendant laquelle *B. aff edulis* et *L. deterrimus* sont présents. Des températures élevées retardent la fructification de certaines espèces de champignons (Straatsma et al, 2001; Mihail et al, 2007; Kauserud et al, 2008.) et selon Straatsma et al. (2001), une augmentation de 1°C coïncide avec un retard d'une semaine à la fructification. Cependant, la température n'est pas un facteur limitant dans la fructification de toutes les espèces. Par exemple, la durée de la fructification de *Hydnum repandum* est positivement corrélée avec la température élevée du sol en moyenne. La hausse des températures vu dans la deuxième moitié du 20e siècle explique les périodes de fructification élargi trouvés au Royaume-Uni (Gange et al., 2007) ainsi que la fructification des espèces retardée trouvés en Norvège (Kauserud et al., 2008). Ainsi, l'effet du taux augmentation de la température sur la fructification des espèces semble dépendant de l'autécologie des espèces, en plus de l'emplacement envisagé.

La productivité des espèces de champignons est également déterminée par les caractéristiques de l'habitat. En général, les jeunes peuplements forestiers ont une plus grande productivité de champignons épigés que les plus mûres (Vogt et al, 1981; Senn-Irlet et Bieri, 1999; Bonet et al, 2004). Néanmoins, en dehors des observations fortuites, l'effet du type d'habitat sur la phénologie de fructification des espèces fongiques n'a pas été spécifiquement testé. Il est essentiel de considérer à la fois l'habitat et l'emplacement géographique d'une espèce afin de déterminer les effets des facteurs climatiques sur la phénologie de fructification des champignons forestiers comestibles (Ohenoja, 1993, Pinna et al., 2010). L'effet de l'année, couplée avec la gamme de température du sol, explique le mieux la fructification des espèces initiales. L'augmentation de la température du sol est le seul facteur apparemment associé à la date initiale de fructification de presque toutes les espèces (Pinna et al., 2010). Une large gamme de températures du sol pendant la saison de croissance ne peut pas être entièrement considérée comme un facteur responsable de la précocité de fructification des champignons. Néanmoins, cela semble comme un facteur crucial dans la phénologie des espèces, agissant comme un stimulus de déclenchement de la fructification des hyphes.



C'est bien entendu à partir d'expériences de laboratoire que l'on sait que l'abaissement de plusieurs degrés, à partir de la température d'incubation des substrats, est nécessaire pour engager la fructification. Ce phénomène est connu sous le nom « choc froid », important pour de nombreuses espèces saprophytes dont *Agaricus bisporus* (San Antonio, 1971), *Coprinus atramentarius* (Stott et Broderick, 1995), *Pleurotus ostreatus* (Penas et al. 1998), *Lentinula edodes* (Pire et al. 2001) et *Grifola frondosa* (Montoya Barreto et al., 2008). Ce phénomène a également été suggéré dans un cadre naturel pour *B. edulis* (Hall et al. 1998), et Straatsma et al. (2001) ont postulé que le pic de fructification automnale est stimulé lorsque les températures moyennes hebdomadaires sont en dessous de 14°C. Les effets directs ou indirects de la variation de la température sur l'initiation de la fructification de nombreuses espèces de champignons ectomycorhiziens appuient fortement l'hypothèse d'un phénomène de choc de froid pour les espèces sylvestres également (Pinna et al., 2010).

Effet du type de peuplement et de l'effet spatial sur la phénologie de la fructification

En plus des variations temporelles, la phénologie de fructification peut varier spatialement au sein de la même saison de croissance. Certains facteurs liés à la température du sol et l'humidité sont corrélés spatialement avec la date initiale de la fructification de certaines espèces, pendant quelques années et, des fois, avec la durée de fructification. Cependant, ces corrélations ne sont pas établies de façon répétée chaque année et plusieurs facteurs du sol qui influencent significativement la phénologie des espèces sur une échelle temporelle (interannuelle) ne sont pas corrélés à une échelle spatiale. Par conséquent lors de l'examen de la phénologie des espèces de champignons comestibles, les facteurs du sol semblent jouer un rôle moins prépondérant à l'échelle régionale spatiale que sur l'échelle temporelle (Pinna et al., 2010).



D'autres caractéristiques des habitats forestiers, tels que la composition, l'âge et l'origine des peuplements peuvent également influencer sur la phénologie des espèces fongiques.

Par exemple, *Amanita muscaria* réagit plus rapidement aux précipitations dans les forêts mûres que dans les jeunes peuplements (Last et al., 1981), et la date de la fructification peut être avancée ou retardée pour *Laccaria laccata*, en fonction de son hôte (Molina, 1982). Selon Wilkins et Harris (1946), le type de forêt n'a aucun effet sur le pic d'abondance des champignons dans la même région. Cela est conforme aux résultats de Pinna et al. (2010) qui montrent que le type de peuplements forestiers en général n'a aucune influence sur la phénologie des espèces de champignons dans la forêt boréale mixte de l'Est du Canada.

Remarques finales

Le pic de production et d'abondance de carpophores est observé pendant la saison des pluies et est réduit en saison sèche, pendant laquelle il n'existe généralement que les espèces tolérantes à la sécheresse (Straatsma et al., 2001, Munguia et al., 2006, Kauserud et al. 2008, Osemwegie and Okhuoya, 2011). L'abondance des espèces a une plus forte corrélation avec les précipitations (pluie) qu'avec la température, la vitesse du vent et l'humidité relative, facteurs également étudiés par Osemwegie et Okhuoya (2011). Le climat local, surtout les précipitations, a un rôle dans la structuration de la diversité des communautés de champignons à travers un réseau complexe de mécanismes de régulation, de stimulation et d'induction qui entraîne la fructification. L'étendue spatiale et temporelle dans laquelle chaque variable climatique influence la phénologie de la fructification des champignons dans la végétation naturelle, semi-naturelle et artificielle est mal comprise et il faudra plus de recherche pour comprendre la dynamique des voies écophysologiques et biochimiques (Osemwegie and Okhuoya, 2011).

Les résultats de Pinna et collaborateurs, (2010) ne montrent aucune influence significative du type de peuplement sur la phénologie des champignons comestibles ectomycorhiziens.



Ni la composition des espèces dominantes, ni l'âge ou l'origine du peuplement (régénération naturelle ou plantation) ne semblent avoir une influence directe sur la phénologie des espèces.

Sur une échelle temporelle, l'effet de l'année, ainsi que la température du sol et de l'humidité, expliquent clairement la date initiale de la fructification, mais ne sont que faiblement liés à la longueur de la fructification. Les conditions du sol influencent la phénologie de toutes les espèces de champignons, mais chaque espèce a une réponse spécifique. Par exemple, l'humidité moyenne du sol peut soit stimuler (par exemple *Boletus aff. edulis* et *Lactarius deterrimus*) ou retarder (*Cortinarius caperatus* et *Catathelasma ventricosum*) la date initiale de fructification. Sur une échelle spatiale, les conditions du sol sont en corrélation avec la phénologie de certaines espèces, mais cette source de variation semble la moins importante de la phénologie de l'ensemble de toutes les espèces (Pinna et al., 2010).

L'effet de l'année, couplée avec la gamme de température du sol (différence entre les températures maximale et minimale au cours de la saison de croissance), montre la plus forte des relations avec la date initiale de fructification dans six des sept espèces étudiées (Pinna et al., 2010). Plus la température du sol est élevée, plus tôt les fructifications apparaissent.

La stimulation de la fructification par une diminution marquée de la température, phénomène connu sous le nom de « choc froid », est bien connu au laboratoire. Selon nos résultats, ce phénomène semble également important pour initier in situ la fructification des champignons comestibles et pourrait aider à optimiser la récolte (Pinna et al., 2010).

Il y a une forte corrélation positive entre l'abondance macrofongiques, la diversité et richesse en espèces, les variables climatiques et l'âge de la végétation. Également, les rôles des variables climatiques et de la litière sur la diversité, la composition et la structure macrofongiques sont fondamentaux pour la conceptualisation de la durabilité, la stabilité et la productivité des systèmes agroforestiers. (Osemwegie and Okhuoya, 2011). Prendre l'humidité du sol et les conditions de température en compte pourrait contribuer au développement de modèles prédictifs de la fructification des champignons afin d'optimiser la gestion de la récolte des champignons forestiers comestibles (Pinna et al., 2010).



Bibliographie

Bonet, J.A., Fischer, C.R., Colinas, C., 2004: The relationship between forest age and aspect on the production of sporocarps of ectomycorrhizal fungi in *Pinus sylvestris* forests of the central Pyrenees. *Forest Ecol. Manage.* 203, 157–175.

Brunelli, François et Heinz Göpfert, 2003: La page du débutant. *Lettres de tonton Marcel*. Vapko: http://www.vapko.ch/fr/questions/debutant_03.php

Buyck, Bart, 1994: Les champignons comestibles de l'Ouest du Burundi - No. 34 AGCD - Coopération Belge, 1994, 123.

Cooke, W.B., 1948. A survey of literature on fungus sociology and ecology. *Ecology* 29, 376–382.

Eveling, D.W., Wilson, R.N., Gillespie, E.S., Bataillé, A., 1990. Environmental effects on sporocarp over fourteen years in a forest area. *Mycol. Res.* 94, 998–1002.

Gange, A.C., Gange, E.G., Sparks, T.H., Boddy, L., 2007. Rapid and recent changes in fungal fruiting patterns. *Science* 316, 71–171.

Hall, I.R., Lyon, A.J.E., Wang, Y., Sinclair, L., 1998. Ectomycorrhizal fungi with edible fruiting bodies 2. *Boletus edulis*. *Econ. Bot.* 52, 44–56.

Kauserud, H., Stige, L.C., Vik, J.O., Okland, R.H., Hoiland, K., Stenseth, N.C., 2008. Mushroom fruiting and climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 105, 3811–3814.

Krebs, C.J., Carrier, P., Boutin, S., Boonstra, R., Hofer, E., 2008. Mushroom crops in relation to weather in the southwestern Yukon. *Can. J. Bot.* 86, 1497–1502.

Laganà, A., Angiolini, C., Salerno, E., Perini, C., Barluzzi, C., De Dominicis, V., 2002. Periodicity, fluctuations and successions of macrofungi in forests (Albies alba Miller) in Tuscany, Italy. *Forest Ecol. Manage.* 169, 187–202.

Lamoureux, Y., 1993. Le monde méconnu des champignons. *Quatre-temps*, 17(3) : 24-26. <http://www.mycomontreal.qc.ca/etude/champi.htm>

Last, F.T., Mason, P.A., Smith, R., Pelham, J., Bhoja Shetty, K.A., Mahmood Hussain, A. M., 1981. Factors affecting the production of fruit bodies of *Amanita muscaria* in plantations of *Pinus patula*. *Proc. Indian Acad. Sci. (PlantSci.)* 90, 91–98.

Manachère, G., 1980. Conditions essential for controlled fruiting of macromycetes—a review. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 75, 255–270.

Martínez de Aragón, J., Bonet, J.A., Fischer, C.R., Colinas, C., 2007. Productivity of ectomycorrhizal and selected edible saprotrophic fungi in pine forests of the pre-Pyrenees mountains. Spain: Predictive equations for forest management of mycological resources. *Forest Ecol. Manage.* 252, 239–256.

Mihail, J.D., Bruhn, J.N., Bonella, P., 2007. Spatial and temporal patterns of morel fruiting. *Mycol. Res.* 3, 339–346.

Molina, R., 1982. Use of the ectomycorrhizal fungus *Laccaria laccata* in forestry. I. Consistency between isolates in effective colonization of containerized conifer seedlings. *Can. J. Forest Res.* 12, 469–473.

Montoya Barreto, S., Varon Lopez, M., Levin, L., 2008. Effect of culture parameters on the production of the edible mushroom *Grifola frondosa* (maitake) in tropical weathers. *World J. Microb. Biot.* 24, 1361–1366.



Munguia, P. et al. 2006. Seasonal community structure of macromycetes in Veracruz, Mexico. *Ecography* 29: 57-65.

Ohenoja, E., 1993. Effects of weather conditions on the larger fungi in different forest sites in northern Finland 1976–1988. *Scientiae Rerum Naturalium* 243. Ph.D. Thesis, University of Oulu, Oulu, Finland.

Ohenoja, E., Metsänheimo, K., 1982. Phenology and fruit body production of macro- fungi in subarctic Finnish Lapland. In: Laursen, G.A., Ammirati, J.F. (Eds.), *Arctic and Alpine Mycology*. UW Press, Seattle, Washington, pp. 390–404.

Ohenoja, E., Metsänheimo, K., 1982. Phenology and fruit body production of macro- fungi in subarctic Finnish Lapland. In: Laursen, G.A., Ammirati, J.F. (Eds.), *Arctic and Alpine Mycology*. UW Press, Seattle, Washington, pp. 390–404.

Osemwegie, O. O. and J. A. Okhuoya, 2011: Diversity and abundance of macrofungi in rubber agroforests in southwestern Nigeria. *Nordic Journal of Botany* 29: 119-128, 2011.

Penas, M.M., Sigridura, S.A., Lasa, I., Culiarez-Macia, F.A., Pisabarro, A.G., Wessels, J.G.H., Ramirez, L., 1998. Identification, characterization, and in situ detection of a fruit-body-specific hydrophobin of *Pleurotus ostreatus*. *Appl. Environ. Microb.* 64, 4028–4034.

Pilz, D., Molina, R., 2002. Commercial harvests of edible mushrooms from the forests of the Pacific Northwest United States: Issues, management, and monitoring for sustainability. *Forest Ecol. Manage.* 155, 3–16.

Pinna S., M. -F. Gévy, M. Côté, L. Sirois, 2010: Factors influencing fructification phenology of edible mushrooms in a boreal mixed forest of Eastern Canada. *Forest Ecology and Management* 260. 294–301.

Pire, D.G., Wright, J.E., Alberto, E., 2001. Cultivation of Shiitake using sawdust from widely available local woods in Argentina. *Micologia Aplicada Inter.* 13, 87–91.

Salerni, E., Laganà, A., Perini, C., Loppi, S., de Dominicis, V., 2002. Effects of temperature and rainfall on fruiting of macrofungi in oak forests of the Mediterranean area. *Isr. J. Plant Sci.* 50, 189–198.

San Antonio, J.P., 1971. A laboratory method to obtain fruit from cased grain spawn of the cultivated mushroom, *Agaricus bisporus*. *Mycologia* 63, 16–21.

Senn-Irlet, B., Bieri, G., 1999. Sporocarp succession of soil-inhabiting macrofungi in an autochthonous subalpine Norway spruce forest of Switzerland. *Forest Ecol. Manage.* 124, 169–175.

Slankis, V., 1974. Soil factors influencing formation of mycorrhizae. *Ann. Rev. Phytopathol.* 12, 437–457.

Stott, K., Broderick, A., 1995. Improved fruiting of *Coprinus atramentarius* using cold- shock treatment during growth. *World J. Microb. Biot.* 11, 693–694.

Straatsma, G., Ayer, A., Egli, S., 2001. Species richness, abundance and phenology of fungal fruit bodies over 21 years in Swiss forest plot. *Mycol. Res.* 105, 515–523.

Vogt, K.A., Edmonds, R.L., Grier, C.C., 1981. Biomass and nutrient concentrations of sporocarps produced by mycorrhizal and decomposer fungi in *Abies amabilis* stands. *Oecologia.* 50, 170–175.

LES CHAMPIGNONS ECTOMYCORHIZIENS ET LA NUTRITION DES ARBRES FORESTIERS

(suivi d' un rappel sur la nutrition des arbres)

Jean GARBAYE-INRA Nancy

I- Pourquoi la prise en compte de la symbiose mycorhizienne est-elle particulièrement importante en sylviculture ?

Comme toutes les plantes, les arbres forestiers dépendent étroitement des conditions environnementales locales pour leur développement et leur croissance. Cela concerne naturellement le climat local (en particulier l'abondance des précipitations) mais aussi la fertilité du sol, c'est-à-dire sa capacité à fournir aux racines, en quantité suffisante et sous des formes solubles et facilement absorbables, les éléments chimiques dont l'arbre a besoin pour assurer son métabolisme. De ce point de vue, le premier facteur limitant sous nos climats est l'azote, suivi par le phosphore et par le calcium dans les sols forestiers acides, puis des éléments indispensables en quantités beaucoup plus faibles comme le potassium ou le fer.

Les forestiers, soucieux d'assurer la pérennité et la productivité des forêts sur des sols naturellement peu fertiles, pratiquent parfois des apports d'engrais comme cela est la règle en agriculture intensive. Cependant, le coût élevé de la fertilisation et le très long délai du retour sur investissement limitent fortement l'application de cette technique. En forêt, les gains de productivité sont donc davantage à chercher dans l'optimisation de la capacité d'exploitation du sol par les arbres eux-mêmes ou par leurs champignons associés que dans l'enrichissement artificiel du sol. C'est pour cela que la connaissance du rôle de la symbiose mycorhizienne — et surtout des ectomycorhizes, très largement dominantes dans les forêts de nos régions tempérées — est particulièrement cruciale en sylviculture.

Dans le cas particulier des plantations réalisées pour augmenter les surfaces forestières ou régénérer artificiellement les peuplements existants, les connaissances sur le rôle des ectomycorhizes dans la nutrition des arbres ont même été à la source d'innovations technologiques et commerciales comme l'inoculation des pépinières avec des souches de champignons sélectionnées pour leurs performances supérieures en termes de stimulation de la croissance des jeunes arbres.

Parmi les applications commerciales dans le monde, c'est par exemple pour la France le cas des plants de Douglas mycorhizés par *Laccaria bicolor* S238N, commercialisés sous le contrôle de l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) par deux pépinières privées. Ces plants symbiotiquement améliorés présentent une croissance initiale plus rapide, ce qui permet d'économiser des opérations de dégagement des jeunes plantations (Figure 1)

Figure 1 — Jeune plantation de Douglas dans le Limousin.

Photo du haut : plateau avec des plants classiques, spontanément mycorhizés par les champignons naturel de la pépinière ; la petite taille des Douglas et l'abondance de la fougère et du genêt font qu'un dégagement est encore nécessaire.

Photo du bas : plateau planté en même temps et dans les mêmes conditions mais avec des plants artificiellement inoculés et mycorhizés en pépinière avec *Laccaria bicolor* S238N selon le procédé développé à l'INRA de Nancy ; les Douglas sont nettement plus grands, le peuplement est fermé et les dégagements ne sont plus nécessaires. Le piquet donne l'échelle : il a la même hauteur dans les deux cas. **Photos INRA**



une croissance améliorée grâce à la mycorhization contrôlée.

II- Comment les champignons ectomycorhiziens facilitent-ils l'absorption d'eau par les arbres ?



Entre l'arbre et le sol : le champignon mycorhizien.

Le mycélium va chercher l'eau à distance pour l'arbre.

La première fonction des racines, et donc des ectomycorhizes qui en constituent les extrémités actives, est d'absorber la solution du sol, c'est-à-dire l'eau qui contient les éléments nutritifs sous forme soluble et assimilable. Mais la situation paraît paradoxale : comment la racine peut-elle accéder aux ressources du sol, alors qu'elle en est séparée par le manteau dense que forme le champignon symbiotique ? C'est simplement que ce dernier assure lui-même le prélèvement de l'eau, qu'il transporte le long de ses filaments, à travers le manteau, puis transfère aux cellules de la racine au niveau du réseau intercellulaire. Le champignon est donc la voie de passage obligée de tous les échanges de matière entre l'arbre et le sol.

De ce fait, les champignons ectomycorhiziens jouent un rôle déterminant dans l'absorption de la solution du sol. D'abord, le mycélium qui émane des racines mycorhizées et qui pénètre le sol à grande distance démultiplie très considérablement (de plusieurs ordres de grandeur) le rayon d'action de l'arbre et sa surface d'échange avec le sol, améliorant ainsi quantitativement l'accès à la ressource hydrique (Figure 2).



Figure 2 — Ectomycorhizes d'*Hebeloma crustuliniforme* (type d'exploration « moyenne distance ») photographiées en place dans le sol. On voit les filaments mycéliens qui assurent la connexion entre le manteau fongique (feutrage blanc à la surface des extrémités racinaires) et les particules de sol. Echelle : le champ de la photo est d'environ 5 mm. **Photo INRA.**

Ensuite, le très petit diamètre de ce mycélium, comparé à celui des racines (de l'ordre du micromètre au lieu du millimètre) lui permet de pénétrer dans des pores très fins du sol, qui contiennent encore de l'eau lorsque le sol se dessèche. Enfin, les champignons sont particulièrement performants, par rapport aux végétaux, pour extraire l'eau à bas potentiel, c'est-à-dire fortement retenue physiquement par les forces capillaires ou osmotiques du sol. Donc, grâce à ces propriétés, les champignons ectomycorhiziens exploitent très efficacement l'eau du sol, la conduisent dans leur réseau mycélien et peuvent ensuite en céder une partie à l'arbre qui les hébergent et les approvisionnent en carbone (Garbaye & Guehl, 1997).

Mais la symbiose contribue aussi indirectement à améliorer l'efficacité absorbante des racines. En effet, la plupart des champignons ectomycorhiziens ont une meilleure capacité que les tissus végétaux à survivre au manque d'eau. Par conséquent, lorsque le sol se dessèche et que les racines fines superficielles commencent à mourir, celles qui sont mycorhizées sont protégées par le manteau fongique et survivent plus longtemps. Lors du retour des pluies, elles sont immédiatement fonctionnelles et reprennent sans délai leur activité d'absorption de la solution du sol, alors que les autres souffrent un retard de plusieurs semaines, le temps de régénérer de nouvelles extrémités actives.

Ceci a en particulier été démontré chez le hêtre pour les ectomycorhizes de *Lactarius subdulcis* (sensibles à la dessiccation) et de *Cenococcum geophilum* (au contraire très résistantes) (Jany et al. 2003; di Pietro et al. 2007, Figure 3).



Figure 3 — ectomycorhizes de hêtre formées par *Cenococcum geophilum* (type d'exploration « courte distance », en haut) et *Lactarius subdulcis* (type d'exploration « par contact », en bas). Photos INRA



Le mycélium très fin est très efficace pour récupérer l'eau dans le sol...

...et la racine mycorhizée survit mieux à la sécheresse.



III- Comment les champignons ectomycorhiziens facilitent-ils la nutrition minérale des arbres ?



Les racines sont très peu efficaces, seules, pour solubiliser les sources de minéraux.

Cette fonction est assurée par les champignons.

La fertilité chimique d'un sol ne peut pas être évaluée en termes de quantité totale des éléments nutritifs (azote, phosphore, etc.) qu'il contient. En effet, seules les formes solubles de ces éléments peuvent être transportées par la solution du sol, absorbées par les ectomycorhizes et assimilées par les racines. Or, les éléments nutritifs sont essentiellement séquestrés dans des composés complexes très peu solubles : résidus végétaux et animaux pour l'azote et le phosphore, minéraux de la roche sous-jacente pour le calcium, le potassium et le fer. La fertilité réelle d'une station forestière dépend donc de la capacité de l'appareil absorbant des arbres, c'est-à-dire les racines fines et les ectomycorhizes, à solubiliser les éléments nutritifs en dégradant les minéraux et les molécules organiques complexes. Les racines elles-mêmes sont très peu efficaces pour cela, et cette fonction est essentiellement assurée par les champignons symbiotiques au niveau des ectomycorhizes (Courty *et al.* 2010, Mousain *et al.* 1997, Plassard *et al.* 1997).

Les champignons mettent en œuvre trois mécanismes, le plus souvent associés, pour altérer les minéraux primaires du sol (micas, feldspaths et autres aluminosilicates) et libérer le calcium, le potassium, le phosphore ou le fer sous des formes solubles et absorbables.

Le premier est l'acidification du milieu par émission d'ions H^+ qui défont le réseau cristallin.

Le deuxième mécanisme est la modification du potentiel d'oxydo-réduction.

Enfin, les champignons produisent des molécules complexantes, c'est-à-dire capables de se fixer spécifiquement sur des atomes de calcium ou de fer et de les solubiliser en les extrayant des réseaux cristallins.

Mais les sols forestiers sont en général très riches en matière organique, surtout en surface au niveau de l'humus, où on rencontre justement la plus forte densité de racines fines. C'est dans cette matière organique que sont séquestrées les plus grandes quantités d'azote, de phosphore ou de soufre, dans des macromolécules d'origine végétale et animale : cellulose, hémicelluloses, sucres, lignine, chitine, acides nucléiques, protéines, lipides, tanins, etc.

Les champignons ectomycorhiziens, tout comme les champignons saprotrophes non symbiotiques et purement décomposeurs, sont particulièrement bien armés pour accéder à ces ressources grâce à une large panoplie de protéines enzymatiques secrétées, par exemple des protéases qui libèrent l'azote des protéines, des phosphatases qui libèrent le phosphore des acides nucléiques ou des phospholipides, ou des chitinases qui libèrent l'azote des résidus d'insectes et de champignons.

Les éléments nutritifs ainsi mobilisés sous formes solubles (ammonium et acides aminés pour l'azote, orthophosphate pour le phosphore, ion Ca^{++} pour le calcium, etc.) sont ensuite absorbés dans la solution du sol par les filaments du champignon ectomycorhizien, transportés à plus ou moins grande distance jusqu'à la mycorhize le long de ces filaments et transférés à la racine au niveau du réseau fongique intercellulaire.





IV- Quelles sont les conséquences de la grande diversité des champignons ectomycorhiziens pour la nutrition des peuplements forestiers ?



Une diversité de champignons qui correspond à une diversité de stratégies d'exploration, de mobilisation et de conduction des ressources du sol.

La description systématique et exhaustive des racines fines des arbres forestiers révèle la très grande diversité morphologique des ectomycorhizes (forme, couleur, texture du manteau, organisation du mycélium externe, etc.). Cette diversité morphologique correspond à la diversité spécifique fongique : c'est le champignon qui détermine l'aspect de la mycorhize. Les méthodes moléculaires basées sur la comparaison des séquences d'ADN permettent d'identifier l'espèce des champignons associés à chaque type morphologique d'ectomycorhize. On rencontre ainsi couramment plus de cinquante espèces différentes, souvent plus de cent, dans une placette forestière de quelques ares seulement.

Deux questions se posent donc : comment une telle diversité peut-elle se maintenir ? Quelle en est la conséquence pour le peuplement forestier ?

Des éléments de réponse sont apportés par deux sortes d'observations. Premièrement, les types morphologiques d'ectomycorhizes diffèrent considérablement dans leur manière d'explorer le sol : le type dit *de contact* a un manteau lisse et est directement appliqué contre un résidu organique d'où il extrait directement les éléments nutritifs grâce aux

enzymes secrétées ; c'est par exemple le cas de beaucoup de russules et lactaires (voir *Lactarius subdulcis* sur la Figure 3). A l'opposé — mais il y a des intermédiaires, comme *Cenococcum geophilum* sur la Figure 3 — le type *longue distance* envoie des cordons mycéliens exploiter les ressources loin de la mycorhize, parfois à plus de 10 cm ; c'est le cas des bolets, rhizopogons et sclérodermes (Figure 4)

Et cette typologie est compliquée par le fait que la surface des hyphes peut être hydrophile ou hydrophobe, ce qui modifie la façon d'absorber et de conduire la solution du sol.



Figure 4
ectomycorhizes du type d'exploration « longue distance », avec des cordons mycéliens colonisant le sol (photo © Jim Deacon).

Deuxièmement, on sait depuis peu que les champignons ectomycorhiziens sont aussi très différents en ce qui concerne leurs capacités à altérer les minéraux, dégrader la matière organique et mobiliser les éléments nutritifs sous forme soluble et assimilable.

Par exemple, dans des conditions environnementales données, certains sont plutôt *spécialistes* de l'utilisation de l'azote des protéines en sécrétant massivement des enzymes protéolytiques appelées protéases (certains *Xerocomus* et des bolets comme les cèpes, certaines tomentelles et *Cenococcum geophilum*) alors que d'autres (comme *Lactarius subdulcis*) sont particulièrement actifs pour altérer les minéraux en sécrétant de l'oxalate, un anion très complexant.

La grande diversité spécifique et morphologique des communautés d'ectomycorhizes va donc de pair avec une grande diversité fonctionnelle. Tous les types d'ectomycorhizes ne sont pas également impliqués dans les mêmes processus pour ce qui concerne la nutrition minérale des arbres. On a ainsi pu mettre en évidence des cas de *redondance fonctionnelle* (plusieurs types assurent la même fonction au sein d'une même communauté d'ectomycorhizes) et de *complémentarité fonctionnelle* (plusieurs types spécialisés se complètent et assurent entre eux un grand nombre de fonctions). Un exemple de complémentarité fonctionnelle entre deux espèces spécialisées est donné par le couple déjà évoqué plus haut à deux reprises : *Cenococcum geophilum* et *Lactarius subdulcis*. Dans les hêtraies lorraines où ces deux types d'ectomycorhizes ont été étudiées (Jany *et al.* 2003, di Pietro *et al.* 2007, Rineau 2009, Figure 3), le premier se distingue par sa résistance à la dessiccation et par sa capacité à

mobiliser l'azote protéique, alors que le second sécrète de grandes quantités d'oxalate (agent complexant favorisant la solubilisation des minéraux) et de phénol oxydase (une enzyme qui contribue à la dégradation des substances humiques et à la libération des éléments nutritifs qu'elles contiennent). Quant aux espèces vraiment généralistes, assurant toutes les fonctions avec une intensité significative, elles semblent être assez rares. Tout cela constitue donc pour le peuplement forestier — et donc pour les champignons, qui dépendent entièrement des arbres pour vivre — une sorte d'assurance : si une perturbation environnementale cause la disparition d'une espèce, d'autres la remplacent (redondance), et la rareté des généralistes évite de perdre beaucoup de fonctions d'un coup (Garbaye 2004). Nous avons donc la réponse à nos deux questions : la diversité se maintient car elle est collectivement favorable au système arbres-champignons, et elle contribue à la *résilience*, c'est-à-dire à la stabilité et à la capacité de l'ensemble de l'écosystème à encaisser les changements de conditions et les périodes difficiles. Au sein de cette grande diversité d'espèce, les champignons d'intérêt commercial jouent leur rôle et ont leurs propres spécialités fonctionnelles. Par exemple, les cèpes (*Boletus edulis*, *B. estivalis*, *B. pinicola* et *B. aereus*), comme beaucoup de bolets, sont particulièrement actifs pour mobiliser l'azote à partir des protéines du sol.



Le mycélium



V- Les réseaux ectomycorhiziens

L'utilisation de traceurs isotopiques stables (^{15}N pour l'azote, ^{32}P pour le phosphore et ^{13}C pour le carbone) a révélé, à l'échelle de la forêt, l'existence d'un vaste réseau mycélien connectant les arbres entre eux, même entre espèces, et assurant dans une certaine mesure la redistribution de l'eau, des éléments minéraux du sol et des composés carbonés issus de la photosynthèse (Simard et Durall, 2004). Un même champignon ectomycorhizien peut ainsi coloniser non seulement des racines éloignées d'un même arbre, mais aussi celles d'arbres voisins. De proche en proche, tous les arbres d'un même peuplement peuvent donc partager une partie des ressources nutritives disponibles à un moment donné. Cela conduit à considérer d'un œil nouveau l'écologie forestière, les relations entre arbres et les fondements mêmes de la sylviculture : la compétition pour les ressources et ses conséquences négatives sur la croissance des arbres sont parfois compensées par des flux au bénéfice d'arbres en conditions temporairement défavorables. C'est par exemple le cas d'une régénération ou d'un sous étage fortement ombré qui ne doit sa survie qu'à un appoint de composés carbonés provenant des arbres dominants via le réseau ectomycorhizien.



Les champignons relie les arbres entre eux dans le sol. Cela conduit à reconsidérer les connaissances sur l'écologie forestière.

Naturellement, les champignons symbiotiques les plus efficaces pour contribuer à ce réseau sont ceux qui forment des cordons mycéliens abondants et de grande longueur, et qui ont une grande diversité d'hôtes potentiels. Les cèpes, qui nous intéressent particulièrement ici, font partie de cette catégorie et contribuent donc à la redistribution des éléments nutritifs au sein de la forêt.

VI- Les champignons ectomycorhiziens peuvent-ils faire défaut, et comment peut-on corriger le problème ?

Tout ce qui précède montre donc qu'il y a intérêt pour les sylviculteurs et pour les gestionnaires de forêts à se préoccuper du maintien de la biodiversité fongique, non seulement pour les champignons décomposeurs saproxyliques en relation avec la gestion du bois mort, mais aussi pour les espèces ectomycorhiziennes qui contribuent pour une grande part à la nutrition minérale des arbres (Garbaye 2004, Egli 2011).

Mais il y a à cela une difficulté pratique : comment évaluer et mesurer cette diversité ? Dans l'idéal, il s'agirait d'échantillonner, de décrire et de quantifier les ectomycorhizes elles-mêmes à partir d'échantillons de racines. Cette approche, mise en œuvre lors de programmes de recherche scientifique, est naturellement beaucoup trop laborieuse et coûteuse pour des opérations de routine, d'autant plus que des analyses moléculaires sont nécessaires pour identifier les espèces. Heureusement, les fructifications de beaucoup de champignons ectomycorhiziens sont relativement faciles à identifier sur des critères morphologiques. Ce sont des témoins précieux de la présence des ectomycorhizes correspondantes.

Il faut cependant garder à l'esprit le fait que les relevés mycologiques classiques sont loin de révéler la totalité du cortège ectomycorhizien d'une station forestière ; en effet, certaines espèces ne fructifient jamais, ou très rarement, ou ne produisent que des fructifications souterraines ou très discrètes. La fréquence des observations est donc nécessaire à la qualité du diagnostic. C'est pourquoi le travail d'inventaire permanent effectué en forêt par les nombreux mycologues amateurs de terrain est si important pour fournir des données quantitatives concernant l'état des communautés fongiques et de la santé générale des peuplements. Les gestionnaires des forêts ont tout intérêt à entretenir des relations étroites (encore une affaire de symbiose !) avec les réseaux de mycologues amateurs et les sociétés mycologiques locales qui peuvent seuls assurer une veille mycologique et un suivi des évolutions à long terme afin de fournir des éléments d'appréciation solides.

Dans le cas où un déséquilibre ou une carence manifeste en symbiotes fongiques seraient détectés — par exemple suite à une pollution, à un événement climatique extrême ou à une erreur de gestion —, il existe des moyens d'intervention plus ou moins directs.



Il y a un intérêt pour les gestionnaires à se préoccuper du maintien de la biodiversité fongique.



S'il s'agit d'un boisement à partir d'un terrain initialement non forestier ou de la régénération artificielle d'un peuplement coupé à blanc, l'utilisation de plants inoculés et artificiellement mycorhizés en pépinière est recommandée (voir l'exemple du Douglas et de *L. bicolor* S238N cité plus haut). Par contre, les tentatives d'introduction directe de champignons symbiotiques dans des peuplements déjà établis n'ont jamais été couronnées de succès, probablement du fait de la complexité du réseau d'interactions compétitives au sein de la communauté résidente qui laisse peu de chance d'installation durable d'un nouveau venu.

Mais le simple fait de conserver et de favoriser, dans le peuplement principal de pinacées (pins, épicéa, sapin, Douglas, mélèze) ou de fagacées (chênes, hêtre) le développement d'un sous étage d'essences secondaires à ectomycorhizes (bouleau, noisetier, charme, tremble, tilleul) est une excellente façon d'entretenir la diversité des champignons ectomycorhiziens par augmentation de la diversité des espèces de plantes hôtes. Le fait de limiter la compétition entre arbres favorise aussi cette diversité et renforce la contribution d'espèces particulièrement actives dans les processus écosystémiques. Ceci a en particulier été montré dans une chênaie déperissante en Vénétie (Mosca *et al.* 2007) et dans une hêtraie sur les plateaux calcaires de la Meuse (Buée *et al.* 2005).

Réduire la compétition ne veut pas forcément dire procéder à des éclaircies très intenses dans un peuplement traité en futaie régulière : beaucoup d'autres pratiques sylvicoles telles que la « futaie jardinée », la « sylviculture d'arbres » ou le « détournement » concourent au même résultat et sont donc favorable à la diversité fongique et à la qualité des services qui en découlent. Ces mêmes pratiques sont d'ailleurs également favorables à la stabilité du peuplement et à la qualité de la production de bois, ainsi qu'à la fructification des cèpes.

Certes, il y a encore beaucoup de recherches à mener avant de prétendre optimiser la diversité fonctionnelle des communautés d'ectomycorhizes et d'en faire un outil de sylviculture fiable au bénéfice de la santé des forêts, de la production de bois et de la récolte de champignons comestibles. Il reste notamment à tirer les conséquences pratiques des toutes nouvelles connaissances sur les réseaux mycéliens que nous avons évoqués plus haut. Cependant, le rôle positif de cette diversité est déjà avéré et, dans un premier temps, nous venons de voir que des mesures simples de gestion tenant compte des acquis dont nous disposons peuvent la favoriser — par exemple en exploitant le lien entre diversité des essences et diversité fongique.

PETIT RAPPEL SUR LA NUTRITION DES ARBRES (ET DES PLANTES EN GENERAL)

Jean GARBAYE

Tous les êtres vivants sont essentiellement composés de carbone. Contrairement aux animaux ou aux champignons qui obtiennent cet élément chimique en *recyclant* (mangeant) les tissus d'autres êtres vivants, les plantes sont des *producteurs primaires* dans l'écosystème Terre, c'est-à-dire qu'elles sont capables de construire elles-mêmes les molécules carbonées indispensables à toute vie (principalement des *sucres* et des *protéines*) directement à partir du carbone contenu dans l'atmosphère sous forme de gaz carbonique, avec la lumière du soleil comme unique source d'énergie. C'est ce processus de *photosynthèse* qui est à la base de toutes les chaînes alimentaires terrestres ou océaniques.

Cependant, pour mener à bien cette opération vitale, les plantes ont besoin de beaucoup d'eau qui doit être combinée au carbone pour assembler les molécules des sucres au niveau des feuilles, siège de la photosynthèse. Cette eau est puisée dans le sol par les racines et c'est la force de pompage créée par l'évaporation à la surface des feuilles qui en assure la circulation, un peu comme dans une mèche. Tous les *éléments nutritifs* autres que le carbone dont la plante a besoin pour se développer (azote, calcium, phosphore, etc.) proviennent du sol et sont absorbés sous forme soluble en même temps que l'eau. Un arbre est donc le siège de deux flux croisés de matière : dans le sens ascendant, par les vaisseaux du bois, l'eau chargée d'éléments nutritifs (la *sève brute*) venant du sol ; dans le sens descendant, par les vaisseaux du *liber* (tissus conducteur situé entre le bois et l'écorce), la *sève élaborée* qui distribue dans tous les organes les molécules carbonées assemblées dans les feuilles. C'est l'équilibre entre ces deux flux qui assure le fonctionnement de l'ensemble et permet la croissance et le développement de l'arbre. Et le sol est un déterminant essentiel de cet équilibre, puisqu'il est la source unique de l'eau et de tous les éléments nutritifs autres que le carbone.



Références bibliographiques

Buée M, Vairelles D, Garbaye J, 2005. Year-round monitoring of diversity and potential metabolic activity of the ectomycorrhizal community in a beech (*Fagus sylvatica*) forest subjected to two thinning regimes. *Mycorrhiza* 15(4), 235-245.

Courty pe, Buée m, Diedhiou ag, Frey-Klett p, Le Tacon F, Rineau F, Turpault MP, Uroz S, Garbaye j. The role of ectomycorrhizal communities in forest ecosystem processes: new perspectives and emerging concepts. *Soil Biology & Biochemistry* 42, 679-698.

di Pietro M, Churin JL, Garbaye J, 2007. Differential ability of ectomycorrhizas to survive drying. *Mycorrhiza* 17(6), 547-550.

Egli S, 2011. Mycorrhizal mushroom diversity and productivity – an indicator of forest health? *Annals of Forest Science* (sous presse).

Fortin JA, Plenchette C, Piché C, 2008. Les Mycorhizes, la nouvelle révolution verte. Editions Multimondes (Québec) et Quae (Versailles), 131 pp.

Garbaye J, 2004. Pourquoi une si grande diversité des champignons associés aux racines des arbres forestiers ?. *Rendez-vous Techniques* (Office National des Forêts) 54-9.,

Garbaye J, Churin JL, 2009. Des champignons auxiliaires du sylviculteur. *Biofutur* 298, 43-46.

Garbaye J, Guehl JM, 1997. Le rôle des ectomycorhizes dans l'utilisation de l'eau par les arbres forestiers. *Revue Forestière Française* 49, 110-120.

Jany JL, Martin F, Garbaye J, 2003. Respiration activity of ectomycorrhizas from *Cenococcum geophilum* and *Lactarius* sp. in relation to soil water potential in five beech forests. *Plant and Soil* 255, 487-494.

Moreau PA, Daillant O, Corriol G, Gueidan C, Courtecuisse R, 2002. Inventaire des champignons supérieurs et des lichens sur 12 placettes du réseau RENECOFOR et dans un site atelier de l'INRA/GIP ECOFOR. Ed. Office National des Forêts, 142 p.

Mosca E, Montecchio L, Scattolin L, Garbaye J, 2007 ; Enzymatic activities of three ectomycorrhizal types of *Quercus robur* ectomycorrhiza in relation to tree decline and thinning. *Soil Biology and Biochemistry* 39, 2897-2904.

Mousain D, Matumoto Pintro P, Quiquampoix H, 1997. Le rôle des ectomycorhizes dans la nutrition phosphatée des arbres forestiers. *Revue Forestière Française* 49, 67-81.

Plassard C, Chalot M, Botton B, Martin F, 1997. Le rôle des ectomycorhizes dans la nutrition azotée des arbres forestiers. *Revue Forestière Française* 49, 82-98.

Rineau F, Garbaye J, 2009. Does forest liming impact the enzymatic profiles of ectomycorrhizal communities through specialized fungal symbionts? *Mycorrhiza* 19, 493-500.

Simard, S.W., Durall, D.M., 2004. Mycorrhizal networks: a review of their extent, function, and importance. *Canadian Journal of Botany* 82, 1140e1165.

DIVERSITE DES CHAMPIGNONS dans les écosystèmes forestiers

Gilles Corriol et Laurent Larrieu

I- Les champignons dans les écosystèmes forestiers : une biodiversité considérable.

Les champignons sont connus du public à travers les quelques dizaines d'espèces habituellement consommées. Cependant, le nombre d'espèces de champignons actuellement recensés en France est évalué à 20 000 (donnée inventaire mycologique national français, *in* Courtecuisse, 2008 ; tableau 1). En Espagne la diversité est potentiellement au moins aussi élevée (35000 espèces d'après F. D. Calonge, comm. pers.). A l'échelle de l'Europe, on estime qu'il pourrait y avoir 65 000 espèces dont 60 % resteraient à décrire (Hawksworth & Muller, 2005). Cette diversité se distribue dans des groupes systématiques d'une immense variété (actuellement 275 familles et plus de 3300 genres d'Ascomycètes, 112 familles et plus de 1000 genres de Basidiomycètes, auxquels il faut ajouter deux autres divisions de moindre importance numérique [Kirk et al.2001]).

Une grande partie de cette diversité se trouve dans les écosystèmes forestiers du fait de la complexité de leurs réseaux trophiques et de la diversité des habitats et microhabitats que la forêt génère. La forêt garantie

également une relative humidité et une grande concentration de matière organique à ces organismes *hétérotrophes*, qui ont besoin de puiser directement dans leur environnement immédiat des substances organiques pour se nourrir. Plus de 80 % des espèces de champignons du monde vivent en forêt (Bobiec *et al.*, 2005).

Tableau 1-Comparaison de la diversité des champignons avec celle d'autres groupes taxonomiques et importance de la forêt pour cette diversité. Exemple de la France métropolitaine (Gosselin & Gosselin, 2008, modifié ; valeurs estimées et arrondies)

	Nombre d'espèces connues	Nombre d'espèces strictement forestières	Nombre d'espèces fréquemment présentes en forêt
<i>Insectes</i>	35200	?	30%
Champignons	20000	60 %	75%
<i>Plantes vasculaires</i>	6000	10%	65%*
<i>Mollusques terrestres</i>	600	?	?
<i>Oiseaux nicheurs</i>	285	20%	40%
<i>Mammifères</i>	120	30%	60%
<i>Reptiles</i>	40	0%	25%
<i>Amphibiens</i>	40	5%	30%

*Avec flore des milieux associés

Alors que leur appareil végétatif, constitué de filaments microscopiques inclus dans un substrat, est peu visible et d'une grande monotonie anatomique, leurs organes reproducteurs (les carpophores = le « champignon » des ramasseurs) recouvrent des types morphologiques aussi différents que des formes *épigés* à lames, à pores, à aiguillons, des formes *gastéroïdes*, *dendroïdes*, labyrinthis, *résupinées*, en coupe, en disque, polyporoïde, gélatineux, à carpophores *hypogés*... ou encore des champignons microscopiques.

Quelques exemples de cette diversité :

Scutellinia crinita : carpophores en forme de petits disques au pourtour velu



*A la surface du substrat
 Dans ces formes, la partie fertile qui produit les spores est entièrement enfermée dans une espèce de sac.
 En forme de petits arbres, à branches ramifiées.
 Entièrement adhérent à la surface du substrat, formant une espèce de croûte.
 Dans le substrat (ex. : les truffes dont les fructifications sont dans le sol, de même que le mycélium).*

Pulcherricium caeruleum : carpophore résupiné, coriace.



Photos Gilles Corriol



Thelephora anthocephala : carpophore ramifié-dendroïde, à ramifications aplaties.



Sparassis nemecii : carpophore « chou-fleur ».



Certaines espèces sont extrêmement spécialisées : *Suillus flavidus*, bolet associé aux pins, est uniquement présent dans les tourbières à sphaignes. D'autres ont une grande plasticité : *Hebeloma mesophaeum* est associé à un grand nombre d'arbres feuillus et résineux et est relativement indifférent aux conditions stationnelles.

En apparence contradiction avec cette diversité, ce groupe d'organismes fait partie de ceux actuellement les moins considérés en matière de biologie de la conservation (Dahlberg et al., 2010). Pourtant, leur implication dans le fonctionnement des écosystèmes, notamment forestiers, est très importante.

II- Plusieurs stratégies de vie pour ces êtres vivants un peu à part.

On observe trois grands types de stratégies nutritives.

a) Stratégie saprotrophique

Les champignons saprotrophes se nourrissent de matière organique morte qu'ils décomposent à l'aide d'un équipement enzymatique approprié. On rencontre parmi eux une grande variété de spécialités. Certains vivent dans le bois mort avec parfois une préférence ou une exclusivité pour une essence donnée, d'autres sur les écorces, des brindilles, des feuilles d'arbres ou de végétaux herbacés, ou sur les parties mortes de bryophytes, d'autres dans les horizons humifères du sol, d'autres dans l'horizon de surface organo-minéral...

Parmi les espèces lignicoles, certaines s'installent rapidement sur le bois mort récemment alors que d'autres ont besoin de bois préalablement dégradés par d'autres espèces. Plusieurs champignons vivent spécifiquement sur du bois entièrement immergé. Certaines espèces se contentent de petits fragments de bois alors que d'autres ont besoin de fragments plus importants qui leur assure une ressource plus importante et des conditions plus stables.

Parmi les espèces humicoles, certains champignons se contentent d'une faible accumulation de matière organique alors que d'autres ont besoin de très importantes accumulations.



*Il existe souvent une **stratégie dominante** cohérente à l'intérieur d'un même groupe taxonomique, en particulier au rang générique. Ex. : le genre *Cortinarius* est essentiellement mycorrhizique.*

*Cet **équipement enzymatique** diffère selon les espèces, ainsi parmi les espèces vivant dans le bois, certaines ont la capacité de dégrader la cellulose (provoquant une pourriture brune) et d'autres la lignine (provoquant une pourriture blanche).*



Certaines ne se développent que dans des sols chimiquement très riches alors que d'autres sont des spécialistes des sols hyperacides ou des sols engorgés d'eau, ou saturés en eau en permanence. Parmi les espèces comestibles on citera les pleurotes (*Pleurotus ostreatus* et *P. cornucopiae*), et agarics (en particulier *Agaricus bisporus*, le champignon de Paris) qui adoptent une telle stratégie.

Marasmius hudsonii : champignon saprotrophe spécialisé exclusivement dans la dégradation de la litière de houx
Mycena pseudocorticola : champignon saprotrophe dit « corticole », spécialisé dans la dégradation de la matière organique superficielle de l'écorce des arbres feuillus.



Auriscalpium vulgare : champignon saprotrophe qui décompose les cônes de pins.



Auricularia auricula-judae : champignon saprotrophe lignicole, venant préférentiellement sur sureau noir (*Sambucus nigra*), mais parfois sur d'autres feuillus.



b) Stratégie symbiotique

Deux types d'associations symbiotiques sont très répandues chez les champignons : celle avec une algue ou une cyanobactérie (cas des lichens) et celle qui nous intéresse plus particulièrement dans le fonctionnement des écosystèmes forestiers : la mycorhization.

Les champignons mycorhiziens se lient aux plantes au niveau de leur racine (formant ainsi des mycorhizes) et y échangent avec la plante hôte des substances organiques et minérales et de l'eau. De nombreuses espèces de *champignons supérieurs* forment des mycorhizes avec les principales espèces d'arbres de nos forêts. Plusieurs espèces comestibles parmi les plus prisées telles les cèpes (*Boletus aereus*, *B. edulis*, *B. aestivalis*, *B. pinophilus*), girolles (ex. : *Cantharellus cibarius*), truffes (ex. : *Tuber melanosporum*) et lactaires (*Lactarius deliciosus*, *L. sanguifluus*), forment des mycorhizes.

Lichenomphalia umbellifera : un champignon à lames, lichénisé, pionnier, s'établissant sur bois pourri acide ou sur tourbe (l'algue s'observe au niveau des petites bulbilles vertes à la base du carpophore).



c) Stratégie parasitique

Les champignons parasites se nourrissent aux dépens d'un hôte encore vivant dans lequel ils puisent leurs substances nutritives. Cet hôte peut être un arbre, une plante herbacée, un animal ou encore un autre champignon. Parfois combattus, les champignons parasites n'en ont pas moins un rôle très important dans les écosystèmes forestiers. Certes, certaines espèces freinent la croissance de l'arbre hôte, réduisant ainsi la production de bois, et même parfois précipitent la mort de l'arbre. Mais cette action favorise la mise en place d'une diversité biologique liée à la fois à l'hôte fragilisé ou dépérissant (par la succession d'organismes liés aux différents états du substrat) et la trouée que cette mort occasionne. Le rôle positif des champignons parasites peut également être illustré par des espèces qui parasitent des insectes « ravageurs » et qui contribuent ainsi à leur régulation. Peu de champignons parasites sont réputés pour leur comestibilité. On peut citer néanmoins les pleurotes (ex : *Pleurotus ostreatus* sur hôte) qui peuvent s'avérer parasites de faiblesse ou encore la fistuline hépatique (*Fistulina hepatica* sur chêne), parfois consommée.

Cordyceps militaris
*parasitant une pupe
de chenille
processionnaire.*



Asterophora parasitica
parasitant une vieille russule.





Arrhenia retiruga
parasitant la mousse
Scleropodium purum

Laricifomes officinalis
parasitant un mélèze



Certaines espèces adoptent deux stratégies différentes soit de façon opportuniste, soit successivement. Par exemple, *Fomes fomentarius* est initialement parasite de faiblesse sur hêtre vivant, puis saprotrophe lignicole après la mort de l'arbre. *Laccaria affinis* peut s'observer en saprotrophe humicole en lande acide mais il est capable de mycorhizer de jeunes semis d'arbres pionniers. Cette double stratégie mycorhizique-saprotrophe est également connue chez le très ubiquiste *Boletus edulis*.

Il y a un groupe fonctionnel de champignons qui mérite particulièrement l'attention. Il s'agit des **espèces « saproxyliques »**, liées directement ou indirectement au bois mort ou mourant. Les espèces de champignons saproxyliques se recrutent parmi les trois catégories ci-dessus, avec une très grande variété de comportements :

- saprotrophes du bois mort ;
 - « corticole », spécialisés dans la dégradation de la matière organique superficielle de l'écorce des arbres ;
 - humicoles d'accumulation, typiquement sur les cônes d'accumulation de débris ligneux à la base de chandelles ;
 - « fongicoles », parasites ou saprotrophes sur champignons du bois ;
 - mycorhiziques se développant sur le bois pourrissant, tomentelles en particulier ;
 - parasites des arbres dépérissants, etc...
- Ces champignons sont particulièrement subordonnés à la diversité et à la quantité de la ressource en arbres morts et en arbres mourants ainsi qu'à la continuité temporelle et spatiale de cette ressource.



.La gestion forestière, en réduisant la diversité et la quantité de bois mort peut avoir un fort impact sur les communautés de champignons saproxyliques.



III- La forêt sans champignons, un écosystème durable ?



Tous les arbres sont liés à des champignons avec lesquels ils forment des mycorhizes. Ils échangent des sucres, des minéraux et de l'eau. Le champignon mycorhizique est aussi un protecteur physique et chimique efficace contre diverses agressions de microbes ou d'autres champignons. Les champignons mycorhiziques permettent ainsi la régénération et la nutrition des arbres dans les écosystèmes forestiers, notamment dans les stations les plus contraignantes (sols très pauvres, litière épaisse à faible libération d'éléments nutritifs, sols carbonatés, sols engorgés en eau ou très secs). Ils contribuent de façon déterminante au bon fonctionnement des écosystèmes forestiers, à leur résistance aux stress et à leur résilience aux perturbations. Les champignons ectomycorhiziques (qui produisent des carpophores visibles), grâce à leur très importante diversité en espèces et en autécologies, sont particulièrement impliqués dans ces capacités d'adaptation des arbres (Baxter & Dighton, 2005). Corrélativement, on a tout intérêt à veiller à préserver en forêt la diversité des essences naturelles afin de garantir une bonne représentation de l'ensemble de leurs cortèges mycorhiziques respectifs.

Les saprotrophes lignicoles participent au recyclage du bois mort, contribuant ainsi à l'élagage naturel des arbres et au retour au sol des minéraux stockés dans le bois (azote, calcium...). Ils interviennent directement ou en facilitant l'action d'autres acteurs du recyclage, comme par exemple des insectes.

Les saprotrophes des humus interviennent dans la dynamique des sols et dans le cycle des éléments nutritifs, par la minéralisation de la matière organique. Ce rôle est particulièrement important dans les cas où l'activité des vers de terre est rendue très difficile pour des raisons stationnelles (forte acidité, climat très froid ou très sec).

Les champignons parasites, en s'attaquant aux arbres affaiblis ou blessés, accélèrent leur fin de vie. Ils contribuent ainsi aux cycles dynamiques internes des habitats forestiers par la création des conditions nécessaires à la régénération des arbres et la mise à disposition des éléments nutritifs. Certains persistent après la mort de leur hôte, devenant alors saprotrophes. Ils peuvent avoir un rôle d'alerte dans le cas d'écosystèmes soumis à des déséquilibres physiques ou biologiques. Par exemple, certaines plantations résineuses monospécifiques créent les conditions idéales d'épidémies pour le parasite racinaire *Heterobasidion annosum*.

Le même mécanisme intervient lors de pullulations de la Chenille processionnaire du Pin : *Cordyceps militaris* détruit massivement les chenilles enterrées. L'épidémie d'un parasite permet de s'interroger sur les causes du dysfonctionnement de l'écosystème forestier. C'est ainsi que plusieurs espèces connues pour leur abondance et leur virulence dans des écosystèmes simplifiés sont également présentes dans des forêts plus naturelles, mais de façon beaucoup plus discrète. Une bonne représentation de la diversité naturelle des essences forestières est le garant d'une bonne diversification des communautés fongiques (en particulier mycorhiziques et lignicoles, mais aussi humicoles), elle même étant un gage de bon fonctionnement de l'écosystème forestier. Une pleine expression des communautés fongiques forestières nécessite en outre une bonne représentation des différentes phases de la vie de la forêt et des microhabitats qui leurs sont associés. La gestion forestière est susceptible de modifier la composition des essences (réduction de la diversité, substitution par des essences exotiques, modification de la dominance), la maturité forestière (réduction de la nécromasse, de l'âge maximum des arbres et du nombre de très gros arbres), la disponibilité en microhabitats (réduction surtout de leur diversité), la nature du sol (atteintes aux horizons supérieurs), les conditions microclimatiques. Elle influe ainsi directement sur les communautés fongiques (Durall et *al.*, 2005).

Ainsi, compte-tenu de l'implication majeure des champignons à tous les niveaux de fonctionnement des écosystèmes forestiers, il est probable que sans champignons, il n'y ait pas de forêt possible.



La gestion forestière influe très directement sur les communautés fongiques forestières en modifiant la composition du peuplement, la maturité forestière, la disponibilité en microhabitats, les microclimats, les sols.

Une pleine expression des communautés fongiques forestières repose sur l'ensemble des phases de vie du peuplement. Cependant, les phases de sénescence sont généralement absentes dans les forêts gérées



IV- Des communautés fongiques comme témoin de l'écosystème.

L'étude des communautés fongiques n'est pas sans difficultés. Tout d'abord, seule une partie de l'immense ensemble des champignons est généralement étudiée, ceux qui présentent des carpophores visibles, et fonction des *compétences taxonomiques mobilisables*. Les champignons formant des croutes adhérant au substrat ainsi que les plus petits ascomycètes sont souvent négligés pour ces raisons. On estime que l'information apportée par les communautés de champignons classiquement étudiés, représentant déjà potentiellement plusieurs milliers d'espèces réparties dans les différents compartiments écologiques que nous avons vus, reste pertinente. Cela n'exclue pas la possibilité de mettre en place des études ciblées sur certains groupes, faisant appel à des spécialistes, en fonction de problématiques particulières (par exemple les Pyrénomycètes et Basidiomycètes lignicoles en forme de croutes, dans le cadre d'études des communautés du bois mort).



La mycologie, une spécialité nécessaire mais trop peu développée

Investigations de terrain et biologie moléculaire.

Nous considérons ici les investigations dites « de terrain » basées sur l'identification des espèces à partir de l'étude de caractères macro- et micro-morphologiques, organoleptiques ou chimiques sur des carpophores, mises en place par des mycologues rompus à la taxonomie des champignons. Nous excluons ici les investigations basées sur le séquençage moléculaire de mycéliums issus d'échantillonnages aléatoires de substrats. Ces dernières techniques demeurent à ce jour, expérimentales. Non plus exhaustives que les investigations basées sur l'observation des carpophores, elles ne permettent généralement pas de décrire la composition des communautés à des niveaux taxonomiques suffisant (rang de l'espèce). Elles nécessitent de toute façon l'intervention de taxonomistes expérimentés pour l'établissement de bases de données de gènes de référence, dûment identifiées.

L'identification des espèces nécessite l'observation de leur carpophores. Ceux-ci étant pour beaucoup d'apparition fugace et limitée dans l'année, parfois hétérogène d'une année sur l'autre, il est nécessaire de prévoir les relevés des placettes pendant les périodes les plus favorables, notamment en fonction des précipitations, et de multiplier les observations, si possible sur plusieurs années. Les surfaces à relever ont tout intérêt à être importantes, tant que l'homogénéité de l'habitat est globalement conservée, afin d'augmenter le nombre d'observation de carpophores et donc potentiellement une meilleure fenêtre d'observation des communautés effectivement présentes. La quantification des espèces dans les relevés ne peut être réalisée comme on le fait habituellement pour les plantes vasculaires, les carpophores n'étant pas représentatifs ni de la répartition spatiale ni de la quantité de mycélium, ni du nombre d'individus présents sur la placette.

L'étude des communautés fongiques nécessite un effort de travail de détermination important, par le grand nombre d'espèces existantes, par la nécessité d'avoir accès à une vaste bibliographie scientifique et par la nécessité d'étudier les microstructures des carpophores au microscope et à l'aide de réactifs appropriés. Ces techniques, certes classiques, n'en restent pas moins très consommatrices en temps.

Même si des tentatives ont été menées depuis la seconde moitié du 20^{ème} siècle, l'étude des communautés fongiques forestières reste une discipline expérimentale assez peu développée, notamment du fait de ces difficultés méthodologiques inhérentes dont on pourra trouver une utile synthèse récente dans Fraiture (2008).

Comme on l'a vu, les champignons sont intimement mêlés aux processus fondamentaux du fonctionnement des écosystèmes forestiers, et cela à travers une immense diversité d'espèces. En cela, la connaissance des communautés fongiques forestières peut probablement nous apporter des informations intéressantes sur l'état dynamique et sanitaire des forêts, informations qui peuvent s'avérer inaccessibles à travers la description des seules communautés végétales. Elle nous fournit en outre un formidable outil d'évaluation de la diversité biologique des forêts (voir par exemple Caillet et Vadam, 2009 ; Christensen et al., 2004). Elle peut également nous apporter des informations complémentaires sur les caractéristiques stationnelles et biogéographiques.



L'étude des communautés fongiques nécessite un effort de détermination important.

Elle apporte cependant des informations très précieuses sur l'état des forêts et sur l'évaluation de la diversité biologique des forêts.



On peut illustrer par quelques études récentes les apports possibles des travaux portant sur les communautés fongiques :

Elles peuvent servir à évaluer un massif forestier sur des bases biogéographiques et patrimoniales (Courtecuisse & Ansart-Chopin, 1997). Menées à l'échelle d'une région entière, elles peuvent préciser la distribution d'espèces rares ou méconnues dans les différentes associations végétales forestières (Corriol, 2003), ou contribuer à la caractérisation des différents habitats forestiers (Bujakiewicz, 1987). Ces études peuvent également aider à caractériser un massif forestier (Adamczyk, 1996 ; Caillet & Simeray, 2003), ou contribuer à évaluer un type d'habitat forestier remarquable (Corriol & Larrieu, 2008), évaluer l'état de conservation d'habitats forestiers au regard d'une perturbation (ex. Chaumeton, 1994, vis-à-vis de l'eutrophisation des sols), comparer un écosystème simplifié à un écosystème naturel (ex. Kost, 1992, qui compare les communautés fongiques de pessières plantées et naturelles), ou encore réaliser un système de classification spécifique des **synusies fongiques intraforestières** (voir Darimont, 1960 et plus récemment Fellner, 1988).

*Les **synusies** sont des communautés présentant une forte homogénéité de conditions de vie (de station, de substrat, d'espace vital, de fonctionnement trophique). Leur typologie permet une analyse fine de l'écosystème forestier à l'échelle de microhabitats (ex. : *Tremellecium mesentericae* Darimont 1960 = communauté lignicole, des strates élevées, des cépées de taillis en forêts caducifoliées).*

On voit parmi ces quelques exemples le potentiel en matière de bio-indication que recèle l'étude des communautés fongiques. Des progrès dans la connaissance sont cependant encore nécessaires afin de produire des outils pratiques d'évaluation (régionaux, nationaux), faisant la synthèse des données sur l'écologie, la dynamique, la chorologie des espèces et des communautés d'espèces. Ces progrès permettront de mieux évaluer la valeur patrimoniale de ces communautés de champignons et ainsi faciliter l'interprétation des données d'étude, notamment pour une large gamme d'utilisateurs non spécialistes.

Remerciements :

*Relecture : Ana de Miguel (Université de Navarre),
Jean Garbaye (INRA Nancy) ...*

Bibliographie (limitée) :

Adamczyk J. 1996. — Les champignons supérieurs des hêtraies du nord du plateau de Czesłochowa (Pologne méridionale). *Lejeunia*, 150 : 1-83.

Baxter W.J. & Dighton J. 2005. — Diversity-functioning relationships in ectomycorrhizal fungal communities. In Dighton J., J.F. White & P. Oudemans ed. The fungal community. Its organization and role in the ecosystem. 3rd edition, Taylor & Francis, p. 383-398.

bobiec a (ed.), gutowski jm, zub k, pawlaczyk p, laudenlayer wf. 2005. — The afterlife of a tree. wwf poland, warszawa-hajnowka

Bujakiewicz A. M. 1987. — Indicative value of Macromycetes in the forest associations of Mt. Babia (S/Poland) in Pacioni G. ed. : Studies on fungal communities. Proceedings of the meeting : Mycosociology or mycocoenology ? Problems and methods. Società Botanica italiana, L'Aquila, p. 44-47.

Caillet M. & Simeray J.. 2003. — Recherches sur la sociologie des macromycètes de la réserve biologique intégrale en forêt domaniales de Chaux (Franche-Comté, France). *Doc. mycol.*, 127-128 : 15-29.

Caillet M. & Vadam J.-C. 2009 (publié 2010). — Macromycètes déterminants et unités phytosociologiques en Franche-Comté (France). Applications aux habitats forestiers et préforestiers. *Bull. Soc. mycol. France*, 125(3-4) : 213-235.



Chaumeton J.P., 1994 - Impact du morcellement du milieu naturel sur la flore fongique ; Thèse de l'université Paul Sabatier à Toulouse, 166 p. + annexes,

Christensen, M., J. Heilmann-Clausen, R. Walley & S. Adamcik. 2004. — Wood-inhabiting Fungi as Indicators of nature value in European beech forests. *In* Marchetti M. (ed.), *Monitoring and indicators of forest biodiversity in Europe – from ideas to operationality*, European Forestry Institut

Courtecuisse R. & Ansart-Chopin S.. 1997. — Les champignons de la forêt de Desvres (Pas-de-Calais). Analyse patrimoniale et conservatoire. *Bull. Soc. mycol. Nord France*, 62 : 7-24.

Corriol, G. 2003 (publié 2004). — Contribution à l'inventaire mycologique et à la connaissance mycocénétique de la région Centre. *Bull. Soc. Bot. Centre-Ouest*, 34, p. 361-416.

Corriol, G. et Larrieu L.. 2008. — Étude mycocœnologique de la hêtraie sèche à *Sesleria caerulea* (*Cephalanthero-Fagion*), des Pyrénées centrales. *Doc. mycol.*, 34 (135-136) : 97-124.

Courtecuisse R. 2008. — Systématique des champignons macromycètes et pratique de la mycologie sur le terrain. *Journal de botanique*, 41 : 21-25.

Dahlberg A., Genney D. R & Heilmann-Clausen J.. 2010. — Developing a comprehensive strategy for fungal conservation in Europe: current status and future needs. *Fungal Ecology*, 3(2) : 50-64.

Darimont, F. 1973. – Recherches mycosociologiques dans les forêts de Haute-Belgique. Essai sur les fondements de la sociologie des champignons supérieurs. Tome 1 : textes et planches, tome 2 : tableaux. Institut royal des sciences naturelles de Belgique, 220 p. + 34 pl. + 68 tab.

Durall, D.M., Jones M.D & Lewis K.J. 2005. — Effects of forest management on fungal communities. *In* Dighton J., J.F. White & P. Oudemans ed. The fungal community. Its organization and role in the ecosystem. 3rd edition, Taylor & Francis, p. 833-855.

Fellner R. 1988. — Notes to mycocoenological syntaxonomy. 2. The survey of the syntaxonomic classification of mycocoenoses taking into account the principle of the unity of the substratum and trophism. *Česká mykologie*, 42(1) : 41-51.

Fraiture R. 2008 (publié 2010). — Mycocoenologie des forêts de Hautes Belgique. I. Fondements et méthodes de la mycocoenologie. *Bull. Soc. mycol. France*, 124(3-4) : 187-261.

Gosselin M. & Gosselin F. 2008. — Indicateurs et suivis de biodiversité forestière ; fiche Sinfotech, Cemagref.

Hawksworth D. I. & Mueller G. M.. 2005. — Fungal communities : their diversity and distribution. *In* Dighton J., J.F. White & P. Oudemans ed. The fungal community. Its organization and role in the ecosystem. 3rd edition, Taylor & Francis, p. 27-37.

Kirk P.M., Cannon P.F., David J.C., Stalpers J.A. 2001. — Dictionary of the fungi, 9th ed., Ed. Cab international, Wallingford, UK, 655 p.

Kost G. 1992. — Macrofungi on soil in coniferous forests. *Handbook of vegetation sciences*, 19(1) : 79-111.

MYCORHIZES ET SANTE

FORESTIERE

Mohamed ABOUROUH

Centre de Recherches Forestières et de Lutte contre la désertification - RABAT

Introduction

Tous les microorganismes du sol ne sont pas, malheureusement, des décomposeurs de matière organique morte ou des « outils d'assistance mutuelle ». Certains, qualifiés de parasites*, s'en prennent directement à la matière vivante et la consomment provoquant, au même titre que les prédateurs (insectes par exemple) et les mauvaises conditions du milieu, des perturbations, des anomalies et des dégâts au niveau des plantes auxquelles ils s'attaquent. Ce type de microorganismes peut s'attaquer à tous les organes - racines, tronc, rameaux, semences, feuilles et aiguilles - et provoquent de nombreux symptômes*.

Principales affections parasitaires des essences forestières

En forêt, les arbres sont soumis en permanence à des agressions de la part de virus, de bactéries, de champignons, de nématodes et d'insectes, agissant simultanément ou successivement. Ils sont de ce fait atteints par de nombreuses maladies, lorsque des conditions particulières, agissant sur la virulence et l'extension du parasite, ainsi que sur la physiologie de l'arbre, se trouvent réunies.

Les champignons sont les principaux agents de maladies chez les arbres forestiers ; les maladies bactériennes et virales sont par contre peu nombreuses. Les désordres qu'ils provoquent peuvent être regroupés dans l'une des grandes catégories suivantes :

- les "fontes de semis": il s'agit de la plupart des maladies sévissant en pépinières forestières et connues sous deux formes : "fonte de préémergence" ou "mauvaise levée" selon les praticiens et "fonte de post-émergence", s'observant sur les semis après l'émergence. Pratiquement, toutes les essences forestières sont susceptibles d'être attaquées, avec cependant des sensibilités variables. Les résineux semblent être plus sensibles que les feuillus. Les Pins, les Epicéas, le Douglas, les Mélèzes et le Tsuga pour le premier groupe et le Hêtre pour le second sont des espèces sensibles.

Les agents de fonte, des *Fusarium*, des *Pythium*, des *Rhizoctonia*, et des *Cylindrocarpon*, sont pour la plupart des espèces polyphages*, banales mais opportunistes, vivant en saprophytes dans le sol et pouvant se transformer en parasites quand les conditions de milieu leur deviennent favorables notamment lorsqu'elles diminuent la résistance des plantes-hôtes : pH élevé, mauvais drainage, basse température, lumière insuffisante, etc. Les *Phytophthora* comptent par contre parmi les plus redoutés et dangereux pathogènes. Les sujets atteints se courbent au niveau du collet* et prennent une teinte brunâtre (Figure 1) ;



Figure 1 : fonte de semis en pépinière

- les "pourridiés" ou "maladies du rond" : on réunit sous ce nom diverses affections des racines, causées par des champignons discrets mais pouvant entraîner, à plus ou moins échéance, la mort des arbres atteints. Elles sont dues essentiellement à des champignons Basidiomycètes* lignivores* très actifs, capables de coloniser des surfaces importantes dans le sol grâce à leurs rhizomorphes*. Les deux plus importants sont le Fomes [*Ungulina annosa* (Fr.) Pat.] et l'Armillaire couleur de miel [*Armillaria mellea* (Fr. ex Vahl.) Qué]. *Phytophthora cinnamomi* Rands, un Phycomycète* très redoutés à travers le monde, est également à l'origine de maladies racinaires conduisant à la mortalité de nombreuses espèces feuillues et résineuses. Les arbres infestés constituent des taches circulaires qui se développent à partir d'un foyer primaire. Le premier symptôme est souvent une perte de vigueur suivie de jaunissement des aiguilles ou des feuilles, de flétrissement, et puis de la mort quand la totalité des racines se nécrosent (Figure 1).

Les symptômes affectant les parties aériennes apparaissent tardivement par rapport aux dommages, invisibles, du système racinaire. Les essences forestières concernées sont : les Epicéas, les Mélèzes, le Douglas, les Pins, le Sapin, et le Hêtre. Les maladies des racines sont aussi fréquentes que les maladies des parties aériennes, mais beaucoup plus graves ;

Des symptômes sur les parties aériennes qui traduisent une atteinte cachée des système racinaires.



Ces deux grandes familles de problèmes d'origine biotique des forêts sont capables d'atteindre parfois un seuil de dégâts inacceptable par le gestionnaire ou le propriétaire forestier, justifiant amplement la nécessité d'intervenir. Elles peuvent, en effet avoir des impacts sylvicoles en terme de leurs effets sur la succession ou la présence de certaines espèces, mais aussi économiques. Habituellement, les traitements dominants consistent en la sélection d'espèces résistantes, la mise en œuvre de pratiques culturales adéquates ou la désinfection des sols contaminés. L'utilisation de fongicides courants dans ce cas s'avère délicat compte tenu de la résistance manifestée par certains pathogènes et des difficultés de traiter en forêt. L'introduction d'auxiliaires pouvant avoir un effet favorable ou l'amélioration de la dynamique et de l'activité de ceux naturellement présents dans le sol ou sur les racines pourraient constituer également une solution. Il s'agit en fait de limiter les effets d'un parasite ou de le détruire en faisant agir un ou plusieurs organismes vivants, dont certains sont des ennemis naturels. Les substrats de pépinière, de même que les sols forestiers, contiennent en effet à la fois des microorganismes néfastes et des microorganismes favorables à la croissance des plantes. Ces procédés, qualifiés de lutte biologique, sont actuellement en voie d'extension.

Mycorhizes et protection des arbres forestiers

Dans le sol, les pathogènes sont soumis à l'influence des composants physico-chimiques et biologiques. Une interaction, conduisant le plus souvent à une diminution des dégâts, existe entre la mycorhization et divers organismes pathogènes. De nombreux travaux et preuves incontestables attestent de la tolérance offerte aux plantes par l'amélioration qualitative et quantitative de leur statut mycorhizien vis-à-vis de facteurs stressants d'ordre biotique et abiotique et de leur prédisposition à réagir rapidement aux attaques de parasites. Ces études ont révélé que globalement les associations mycorhiziennes sont favorables au développement et à la croissance des plantes, mais assurent aussi une protection contre les pathogènes, notamment ceux qui se développent dans les racines et occasionnent d'importants dégâts en pépinière et en forêts. L'augmentation de la croissance et de la santé des plantes mycorhizées se traduit par une vigueur accrue qui leur permet de mieux tolérer les stress environnementaux dont ceux causés par ces nombreuses maladies.

La lutte contre *Phytophthora cinnamomi* utilisant les mycorhizes a été conduite avec succès sur *Pinus patula*, sur *P. taeda* et sur *Eucalyptus* sp., respectivement en Afrique du Sud, en Nouvelle-Zélande et en Australie. On a constaté que *Laccaria laccata*, fréquent en forêt, est capable de protéger les semis de Douglas aussi bien qu'une application de bénomyl. L'action de *Glomus intraradices*, un champignon endomycorizien, sur *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* se traduit par une réduction des attaques des racines et de la population de l'organisme pathogène. Les mycorhizes peuvent constituer un facteur de protection contre les agents d'altération des bois qui pénètrent par des racines non subéreuses, contre des nématodes endoparasites sédentaires et même contre certains insectes brouteurs. Les racines non, mycorhizées sont la proie de champignons qui soit les parasitent soit les transforment en pseudomycorhizes*, ce qui a comme conséquence un ralentissant de leur croissance, une inhibition de leur ramification et un raccourcissement de leur durée de vie.

Certains champignons mycorhiziens ont l'aptitude à réduire le potentiel infectieux* des sols infestés par des agents pathogènes. Celui d'un sol ou d'un substrat infesté par *Pythium* sp. peut être considérablement réduit et maintenu à un niveau très faible grâce à la mycorhization du hêtre par *Hebeloma crustuliniforme*.



illustration...

Mécanismes d'action

Les relations d'antagonisme entre les champignons mycorhiziens et agents phytopathogènes se manifestent au niveau de la mycorhizosphère ou du sol. Un facteur de cause à effet existe certes entre la nutrition améliorée des plantes mycorhizées et leur résistance aux attaques des parasites, mais ne compte que pour une partie seulement de la protection manifestée ; d'autres mécanismes se greffent à cette nutrition améliorée comme facteurs de protection. Ils relèvent de l'environnement physico-chimique du système racinaire, de la microflore mycorhizosphérique, de la production d'antibiotiques et d'inhibiteurs de croissance, d'action mécanique, et de diverses interactions microbiotiques qui s'exercent au niveau de la plante, du parasite et de la microflore du sol.

La protection des racines par les champignons mycorhiziens : plusieurs mécanismes en synergie

L'ensemble de ces mécanismes (Figure 2) agissent de concert et interviennent conjointement ou simultanément sur tout agent pathogène qui tente d'atteindre la racine.

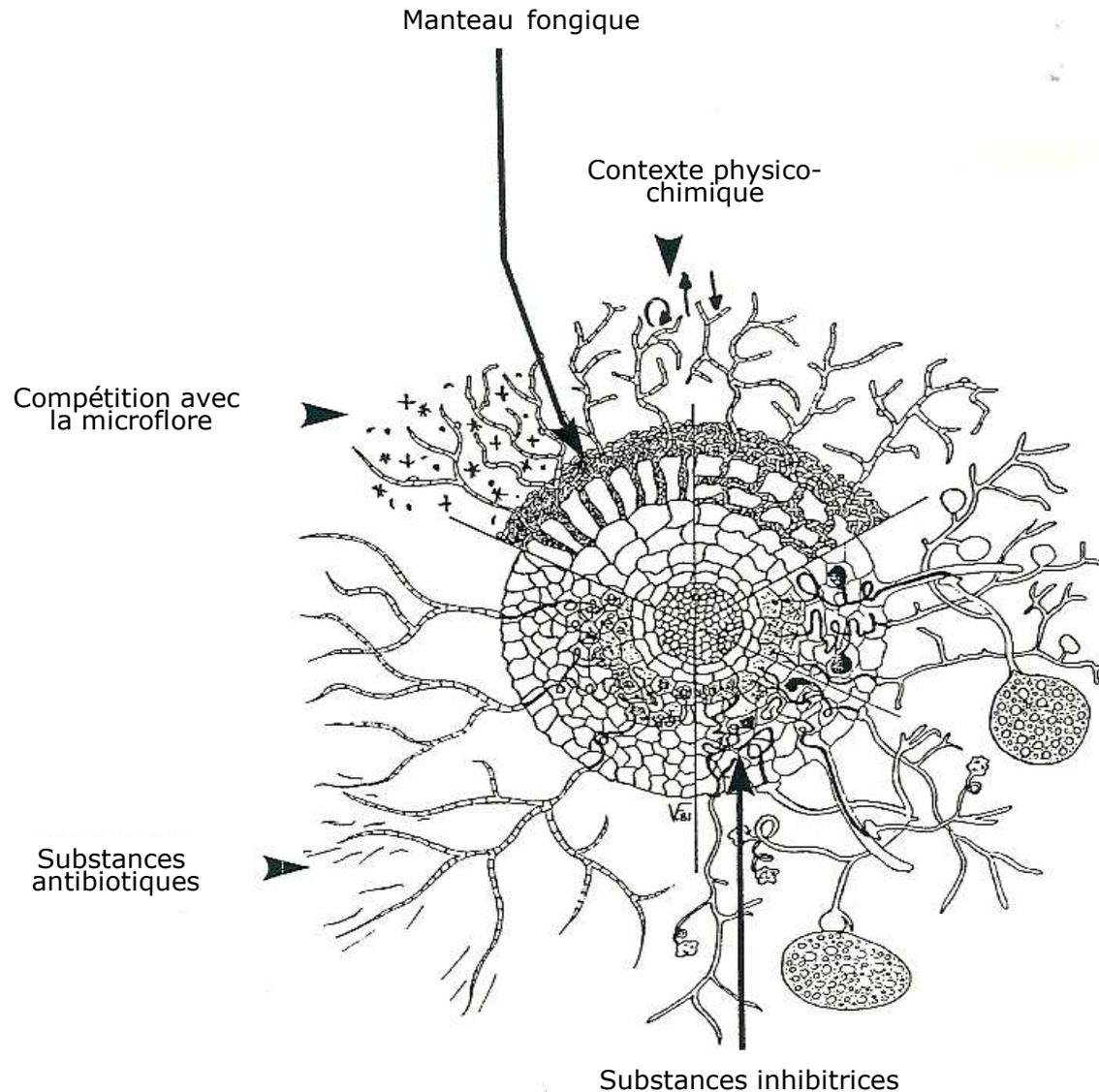


fig. 2 :.les différents mécanismes de résistance des racines mycorhizées aux agents pathogènes du sol (schéma de Furlan ; *in* Perrin, 1991).

Déclenchement d'un système de défense chez la plante-hôte

La plupart des végétaux élaborent des substances inhibitrices en réponse aux attaques des agents pathogènes. La colonisation des racines par les champignons mycorhiziens, entraîne aussi des changements considérables des mécanismes de défense de la plante, ce qui la prédispose à réagir rapidement contre les parasites. Ces changements se traduisent au niveau des cellules corticales par des réactions physiologiques, anatomiques et métaboliques. Chez les résineux, la résistance indirecte des racines mycorhizées aux attaques de certains pathogènes du sol paraît en étroite relation avec l'accumulation de composés terpéniques et phénoliques. Leur concentration est multipliée par 30 ou 40 lorsque les racines de *Pinus echinata* sont ectomycorhizées respectivement avec *Pisolithus tinctorius* et *Cenococcum geophilum*. La mycorhization de pins par *Suillus variegatus* permettrait la production symbiotique et l'accumulation de terpènes à des concentrations particulièrement élevées. La réduction de la nécrose racinaire provoquée par *Fusarium oxysporum* chez l'Epicéa commun et le Douglas mycorhizés avec *Laccaria laccata* a été liée à des niveaux croissants de trois substances terpéniques : le limonène, le myrcène et le terpénolène.

La concentration de coumestrol* de 25 mg/g de racine dans les mycorhizes dépasse les doses qui, *in vitro*, inhibent la mobilité du nématode phytophage : *Pratylenchus* sp..

Ayant des propriétés fongistatiques, les phénols auraient pour double effet delimitier l'associé fongique dans son développement en le cantonnant au niveau du manteau et du réseau de hartig et d'inhiber la croissance végétative des pathogènes potentiels. Certains de ces produits phénoliques une fois émis dans le sol autour des racines mycorhizées, agissent sous forme de vapeurs et défavorisent dans une atmosphère entretenue la croissance des champignons pathogènes. Cette action pourrait constituer le mécanisme principal de l'effet protecteur.

Les plantes mycorhizées produisent aussi davantage d'éthylène et synthétisent assez d'arginine dans leurs racines, signes d'une hausse d'activité métabolique. La dégradation continue des arbuscules* intraracinaires se traduit par une augmentation de l'activité chitinolytique dans les couches profondes des cellules corticales, ce qui peut directement altérer les parois et affecter l'intégrité cellulaire, notamment de certains parasites fongiques. La partie active du manteau des ectomycorhizes dégrade les toxines et les enzymes produites par les pathogènes pour s'attaquer aux tissus des racines et agit ainsi comme barrière physiologique.

Effet de la nutrition des végétaux sur leur sensibilité aux parasites.

On connaît bien l'importance de l'équilibre dans la nutrition des végétaux et son influence sur leur sensibilité aux parasites aériens. Les excès de certains éléments, en particulier le phosphore, peuvent contribuer à rendre les parties aériennes moins résistantes à des agents pathogènes facultatifs ou obligatoires et par conséquent l'aggravation des maladies surtout occasionnées par des virus.

Réduction et modifications des sources nutritives pour les pathogènes

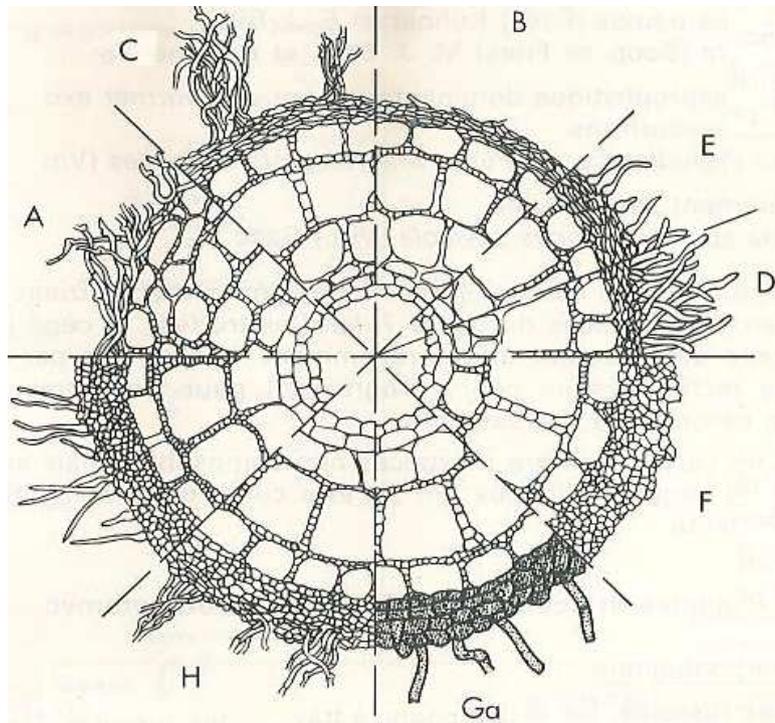
Dans le cas des mycorhizes, la plupart des substances glucidiques exsudées par les racines passent par le réseau de Hartig et le manteau. Lors de ce passage, les champignons mycorhiziens utilisent une bonne partie, réduisant ou modifiant ainsi une source possible de nutriments pour les parasites. Des atténuations dans l'intensité de maladies d'origine tellurique ont été corrélées en effet à des modifications dans l'exsudation racinaire, suite à la mycorhization. Certains chercheurs pensent que les exsudats non utilisés ou les métabolites produits et excrétés par ces symbiotes, rendent la racine moins attractive et pourraient avoir un effet contre les pathogènes en affectant la germination des spores et la pénétration des racines par les parasites.

Les variations importantes de la composition des exsudats racinaires occasionnées par une mycorhize fonctionnelle peut entraîner une légère baisse du pH du sol sans doute suffisante pour retarder la sporulation ou ralentir le métabolisme de plusieurs parasites.

Dans la zone sous son influence, la mycorhize oriente donc l'évolution du contexte physico-chimique, agit sur la physiologie de la plante, régit les relations nutritionnelles, règle l'apport d'énergie fournit par la plante aux microorganismes tellurique et rivalisent avec les parasites pour cette même énergie.

Présence de barrières mécaniques

Le manteau des ectomycorhizes agit comme une réelle barrière mécanique contre les pathogènes qui tenteraient de pénétrer dans la racine, empêchant l'infection. Il agit par son réseau d'hyphes enchevêtrées et agglomérées qui recouvrent aussi bien les zones corticales que les méristèmes apicaux (Figure 3). Les mycorhizes formées par *Laccaria laccata* sur *Pinus taeda*, caractérisées par un manteau complet et un réseau de Hartig très dense, assurent une protection totale contre *Phytophthora cinnamomi*.



Au contraire, celles de *Suillus luteus* et de *Pisolithus tinctorius*, à manteau et réseau de Hartig incomplètement développés, ne protègent que partiellement les plantes-hôtes contre les parasites. Pour les cas des endomycorhizes, les hyphes des espèces à potentiel mycorhizien élevé saturent les sites d'infection disponibles. En rivalisant avec les parasites pour la disponibilité de ces sites, ils limitent leur pénétration dans la racine et ralentissent ou retardent leur développement, ce qui a comme conséquence une diminution de l'incidence des maladies (Figure 3).

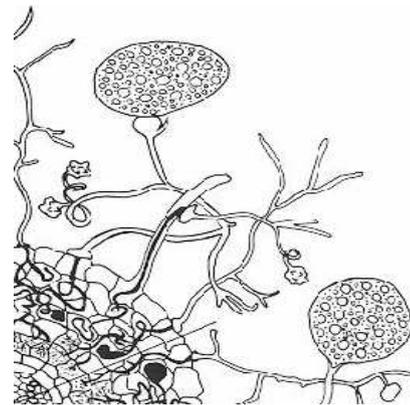


Fig.3 et 4 : divers caractères du manteau des ectomycorhizes (gauche) et saturation des sites d'infection par les champignons endomycorhiziens (droite) (A : manteau constitué d'un feutrage lâche ; B : aspect lisse, peu épais ; C : manteau plus épais constitué d'hyphes entrelacées ; D : manteau poilu ; E : présence de cystides ; F : manteau lisse et dense ; G : manteau pourvu d'hyphes raides ; H : assise entrelacée ; I : présence de poils arrondis, incolores).



On note chez certaines combinaisons "plante - mycorhize" une intensification de la synthèse de la lignine et son incrustation dans les parois cellulaires de l'endoderme et du cylindre central, et un dépôt de callose*. Cette lignification accrue constitue une barrière de protection pour la racine contre la pénétration de parasites et elle est responsable par exemple de la résistance au flétrissement provoqué par *Fusarium*.

Stimulation d'une microflore protectrice

La mycorrhizosphère aurait un effet dissuasif en maintenant les agents pathogènes à distance de la racine. Elle pourrait, à l'aide d'exsudats particuliers, orienter la microflore qui lui est associée vers un état d'équilibre hostile et défavorable aux parasites et stimuler donc le développement d'une population protectrice et dissuasive. Certains scientifiques qualifient cette zone de dernier rempart de défense de la plante-hôte. La mycorhization se traduit généralement par une augmentation de la diversité et de l'abondance des microorganismes, surtout parmi les antagonistes de parasites. Dans cette ambiance, les propagules des champignons pathogènes ne parviennent pas à se multiplier et leur nombre reste toujours relativement faible. Des chercheurs ont démontré que les racines mycorhizées du Bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*) ont une microflore

rhizosphérique très différentes de celle des racines non mycorhizées.

Les *Fusarium*, les *Pythium* et les *Cylindrocarpum* sont moins fréquents autour des premiers qu'autour des seconds, où ils prédominent ; les deux premiers peuvent même manquer totalement sur les racines mycorhizées. Les plantes pourvues de mycorhizes comptent donc au niveau de leurs racines moins d'organismes pathogènes et possèdent plus de microorganismes bénéfiques, fixateurs d'azote et autres, que celles qui en sont dépourvues. La synergie* entre des bactéries solubilisatrices de phosphate et des champignons mycorhiziens par exemple se traduit par une stimulation de la germination des spores, de la colonisation racinaire mycorhizienne et par l'augmentation des populations bactériennes totales. Ces effets représentent autant de possibilités d'inhiber ou au moins de ralentir l'attaque de parasites. Certaines bactéries, comme *Pseudomonas fluorescens*, qui connaissent dans la mycorrhizosphère une augmentation notable, ont un effet protecteur direct contre les pathogènes des racines, comme les *Fusarium*, les *Pythium* et les *Phytophthora*.

La mycorhize constitue donc un élément clé dans la détermination de l'activité biologique au sein de la mycorrhizosphère, en contrôlant les équilibres microbiens où les agents parasitaires luttent pour l'infestation des racines.

Production d'antibiotiques ou antibiose*

Des relations d'antibiose existent entre champignons. Plusieurs espèces mycorhizogènes, appartenant à des genres variés - *Amanita*, *Boletus*, *Laccaria*, *Lactarius*, *Leucopaxillus*, *Pisolithus*, *Scleroderma*, *Suillus*, etc. - produisent et émettent directement dans le sol des substances ayant valeur d'antibiotiques pour les pathogènes ; leur proportion est bien supérieure que parmi les saprophytes. L'effet inhibiteur peut être une conséquence de l'association symbiotique, comme la synthèse par *Paxillus involutus* de l'acide oxalique, toxique pour *Fusarium oxysporum* f. sp. *pini*, , qui est 5 fois plus importante lorsque le symbiote est associé à des racines de Pin qu'en culture pure. Par contre *Hebeloma crustuliniforme* diminue le potentiel infectieux du sol, aussi bien à l'état de mycélium libre que sous forme de mycorhizes avec *Pinus sylvestris*. L'infection mycorhizienne stimule aussi l'exsudation de ces produits par les cellules du cortex racinaire de l'hôte et par les bactéries du sol.

Des effets antagonistes, plus ou moins spécifiques des substances produites sur une gamme large de champignons pathogènes ont été révélés, entre autre une inhibition de leur croissance et des modifications morphologiques de leur mycélium (Figure 4).

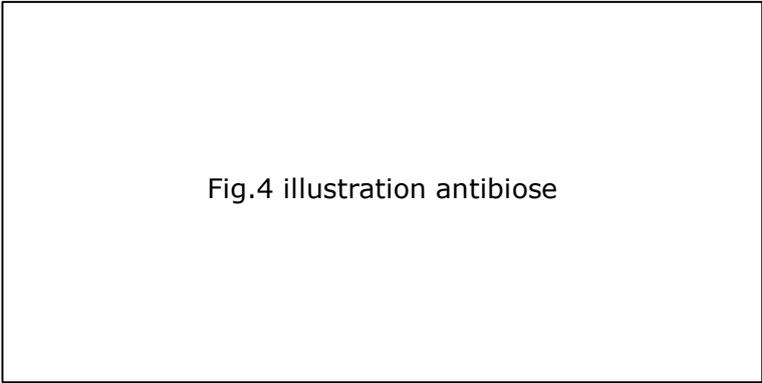


Fig.4 illustration antibiose

Leucopaxillus cerealis var. *piceina* synthétise deux types d'antibiotiques, efficaces contre *Phthorhiza cinnamomi*. *Laccaria laccata* est capable de protéger les conifères des attaques de *Fusarium oxysporum* avant toute formation de mycorhizes, probablement aussi par le biais de substances antibiotiques. *Cenococcum geophilum*, champignon mycorhizien fréquent, serait capable de synthétiser, en association avec les racines, des produits ayant un effet protecteur vis-à-vis des fontes de semis de pins provoquées par *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani* et *Pythium de baryanum*. De même, l'aptitude à stopper la croissance de *Fomes annosus* et d'*Armillaria mellea* est largement répandue parmi les bolets.

L'activité antibiotique décelée chez les champignons mycorhizienne peut être aussi antibactérienne ou antivirale. *Cenococcum geophilum*, en plus de son action sur les champignons, est également actif contre les bactéries phytopathogènes. L'antibiotique actif a été retrouvé jusqu'à dans les feuilles des plantes-hôtes. *Leucopaxillus cerealis* var. *piceina* inhibe plusieurs bactéries en synthétisant un composé à la fois antifongique et antibactérien.

L'intervention des substances antibiotiques s'exerce soit localement, soit en diffusant dans la rhizosphère ou même dans le tissu de la plante-hôte. Les antibiotiques synthétisés par *Leucopaxillus cerealis* var. *piceina* sont en mesure d'assurer la protection des racines mycorhizées et de celles non mycorhizées qui leur sont adjacentes.

Paramètres régissant l'activité protectrice des mycorhizes

L'activité protectrice des mycorhizes contre les pathogènes n'est pas universelle mais connaît des variations importantes en fonction de nombreux facteurs comme, les conditions édaphiques et facteurs de l'environnement, la nature de la plante-hôte et son état nutritionnel, la vitalité des racines, l'identité du symbiote et du parasite, l'efficacité du premier et la virulence du second et les multiples interactions avec les autres microorganismes du sol. La réorganisation de la microflore au sein de la mycorhizosphère par exemple est tributaire des espèces végétales et fongiques en symbiose, de l'âge de la plante, de son degré de mycorhization et des conditions environnementales.

Nature de la plante-hôte

Le potentiel de protection est sous la dépendance de la nature de la plante-hôte et de sa phase de croissance. *Hebeloma crustuliniforme* provoque une diminution du potentiel infectieux d'un sol infesté par *Pythium* sp. lorsqu'il est associé au Hêtre, alors qu'avec le Chêne, son effet est nul. *Pisolitus tinctorius* protège *Pinus clausa* et *Pinus echinata* contre les attaques de *Phytophthora cinnamomi* mais ne modifie pas la sensibilité de *Pinus taeda*.

nature du partenaire mycorhizien

L'aptitude prophylactique n'appartient pas à toutes les espèces mycorhiziennes. L'efficacité de la protection dépend de l'espèce qui constitue la mycorhize, voire même de l'identité de la souche au sein de cette espèce. Les différences peuvent être considérables. Sous les mêmes conditions, certaines espèces mycorhizogènes confèrent à leur hôte une résistance à l'attaque de parasites alors que d'autres demeurent sans effet. *Hebeloma crustuliniforme*, associé au Hêtre, est capable de réduire à néant les attaques de *Pythium* sp., agent de fonte de semis et de nécroses racinaires, alors que *Paxillus involutus* n'exerce aucun effet notable. La réduction du potentiel infectieux du sol infesté par *Pythium* spp. par *H. crustuliniforme* et des attaques de *Fusarium oxysporum* par *Laccaria laccata* varie considérablement en fonction de la souche. Des différences d'efficacité contre des bactéries pathogènes ont été également mises en évidence en fonction des espèces fongiques en présence ; certains inhibent des germes Gram +, d'autres des germes Gram -, d'autres encore sont sans effet. Le degré avec lequel la mycorhization réduit les dommages causés par des nématodes varie aussi avec les espèces de champignons mycorhiziens.

Parfois, lorsque la mycorhization n'est réalisée qu'avec une seule espèce ou souche de champignon mycorhizien, la protection contre les agents pathogènes se limite à un simple délai dans l'apparition des symptômes et la mort des plantes. Elle devient durable quand cette mycorhization est la conséquence de la présence simultanée de plusieurs symbiotes. Cette durabilité résulterait soit d'une mycorhization plus intense, soit d'une plus grande efficacité de certaines espèces de la population mycorhizogène. D'ailleurs, en forêt naturelle, la diversité des espèces mycorhizogènes est plus grande sur les arbres sains que sur les arbres dépérissants et le nombre de carpophores est plus important.

Nature de l'agent pathogène

L'aptitude prophylactique d'un champignon mycorhizien en s'applique pas à tous les pathogènes. *H. crustuliniforme* par exemple manifeste une influence dépressive à l'égard des *Pythium* mais pas à l'encontre de *Rhizoctonia solani* et de *Fusarium moniliformen*. *Paxillus involutus*, sans effet sur les *Pythium*, montre une aptitude protectrice vis-à-vis de *F. oxysporum*.

Le pouvoir protecteur des mycorhizes et son efficacité diminuent proportionnellement à l'augmentation de la virulence du pathogène et à la concentration de ses propagules. Un parasite doté d'un certain degré de saprophytisme serait moins affecté par les mycorhizes qu'un parasite strictement obligatoire.

L'action de protection à l'encontre des champignons pathogènes telluriques a été démontrée pour des cas précis. Dans la plupart des modèles, l'effet inhibiteur est caractéristique du complexe "Plante hôte - Champignon pathogène - Champignon mycorhizien". A titre d'exemple, des inductions des phytoalexines* et des gènes codant des processus de défense varient selon ce complexe.

Effets du milieu

Les conditions de culture, comme la nature et la fertilité du sol, la température ou la sécheresse, susceptibles d'influencer le développement des trois partenaires - Plante, Parasite et Champignon mycorhizien - agissent fortement sur le potentiel prophylactique des mycorhizes.

Les possibilités prophylactiques d'une souche donnée ne s'expriment pas dans tous les sols et substrats. Ces derniers, influencent essentiellement par le taux de P disponible, le degré de mycorhization, la croissance de la plante, le développement de l'organisme pathogène et l'expression de la maladie. Chez *Citrus sinensis*, l'effet de la mycorhization contre *Phytophthora parasitica* est positif quand la quantité de phosphore apportée au sol est faible ; elle est par contre nul quand le substrat est riche en cet élément. L'action dépressive très importante d'*Hebeloma crustuliniforme* en association avec le Hêtre sur la densité d'inoculum de *Pythium* sp. et sur le potentiel infectieux d'un sol ne s'exerce que dans des conditions édaphiques particulières. *Laccaria laccata* exprime son aptitude prophylactique à l'encontre des *Pythium* dans les sols désinfectés alors qu'il est inopérant dans ceux qui en sont infestés.

Modalités d'application

Pour une utilisation rationnelle des mycorhizes en pépinière ou en champ, il est indispensable de connaître non seulement les exigences écologiques des espèces mycorhizogènes, mais aussi les conditions qui gèrent leur vitalité et favorisent l'expression de leur aptitude prophylactique.

Pour une bonne efficacité, la mycorhization doit s'établir avant que les pathogènes ne se manifestent. Les champignons ectomycorhiziens sont donc à introduire avant que les pathogènes aient pu atteindre un niveau de population important et une agressivité élevée. En effet, la diminution de la susceptibilité aux attaques parasitaires n'est généralement efficace que lorsqu'une symbiose fonctionnelle existe préalablement à l'attaque de l'agent parasite. La protection de *Chamaecyparis lawsoniana* contre les attaques de *Phytophthora cinnamomi* demeure subordonnée à l'installation préalable du ou des champignons mycorhizogènes. *Laccaria laccata* serait le seul capable de s'opposer à un agent pathogène dans le sol avant même la formation de mycorhizes. La mycorhization ne détruit que rarement complètement les pathogènes et ne peut à elle seule être employée pour les éradiquer. Il est donc impératif de les utiliser en association avec les autres possibilités de lutte, comme un emploi raisonné et modéré de fongicides ou de les intégrer dans un ensemble plus large de moyens de lutte.

Les champignons mycorhiziens peuvent être favorisés moyennant des pratiques culturales et des interventions sylvicoles appropriées. Par exemple, pour lutter contre les pathogènes du sol en pépinière, il est préférable, si on ne dispose pas d'inoculum mycorhizien, de ne pas appliquer une désinfection totale des sols afin d'éviter la disparition des champignons mycorhiziens naturels.

Conclusion

Le phytopathologiste forestier, déjà limité dans ses moyens d'action contre les multiples agents pathogènes, est obligé de mettre de son côté tous les phénomènes naturels susceptibles de les éradiquer. Les mycorhizes en font partie et peuvent constituer un outil efficace et un allié précieux d'amélioration de la résistance des plantes aux stress biotiques et abiotiques. C'est un moyen envisageable pour promouvoir la lutte biologique contre les pathogènes du sol, en complément et intégration à d'autres interventions et pratiques classiques. Il est donc important de les prendre en considération et de leur accorder l'attention nécessaire lors de la mise en œuvre de certaines opérations forestières.

La restauration du complexe plante - mycorhize dans les sols, soit par inoculation directe, par transplantation de plantes mycorhizées ou par des interventions sylvicoles appropriées, est un moyen de rétablir et surtout de permettre sur le long terme la protection des plantes. Pour les programmes de reboisement par exemple, la lutte contre les champignons parasites du sol sera facilitée par une production préalable en pépinière de plants associés à des champignons mycorhiziens efficaces et écologiquement adaptés aux sites de plantation.

Une manipulation, appropriée de ces organismes peut prévenir sinon contrôler la sévérité d'une attaque après transplantation. Assez de champignons mycorhiziens, bien adaptés aux modes culturels en vigueur dans les pépinières forestières, s'associent rapidement aux racines.

L'emploi des mycorhizes comme agent de lutte biologique aurait l'avantage de ne pas nécessiter plusieurs applications successives, contrairement aux pesticides qui doivent être appliqués à intervalles réguliers, en raison de leur dégradation une fois incorporés dans le sol ; les symbiotes bien adaptés, se maintiennent sur la plante-hôte et colonisent au fur et à mesure des racines nouvellement formées.

Documents consultés

Boullard B. (1990). Guerre et paix dans le règne végétal. Edition Marketing, Paris : 336 pages.

Dalpe Y. (2005). Les mycorhizes : un outil de protection des plantes mais non une panacée. *Phytoprotection*, 86 : 53-59.

Hartman G., Neinhaus F. and Butin H. (1988). Les symptômes de dépérissement des arbres forestiers. Atlas de reconnaissance en couleurs des maladies, insectes et divers. Institut pour le Développement Forestier : 256 pages.

Perrin R. (1991). Mycorhizes et protection phytosanitaire. *In* "Les mycorhizes des arbres et plantes cultivées". (Strullu D.G. Ed.). Technique et Documentation, lavoisier, Paris Cedex 08 : 93-130.

Stenström E., Damm E. et Unestam T. (1997). Le rôle des mycorhizes dans la protection des arbres forestiers contre les agents pathogènes du sol. *revue Forestière Française XLIX (n° spécial)* : 121-128.



SCHEMA DE SYNTHESE 1 :

entre les arbres et le sol, le travail essentiel des champignons.

Champignons mycorhiziens :

- Solubilisation éléments minéraux, protéines, cellulose...
- Absorption d'eau
- Absorption d'azote, de Phosphore,...
- Protection des systèmes racinaires
- Régulation du fonctionnement des peuplements (réseaux mycéliens entre les arbres...)

Champignons saprotrophes et parasites :

Recyclage de la matière organique :

- Décomposition litière, bois morts et humification
- Recyclage des éléments nutritifs
- « Renouvellement » de l'écosystème



SCHÉMA DE SYNTHÈSE 2

Les champignons mycorhiziens

Le système racinaire d'un seul arbre est associé à de nombreux champignons mycorhiziens.

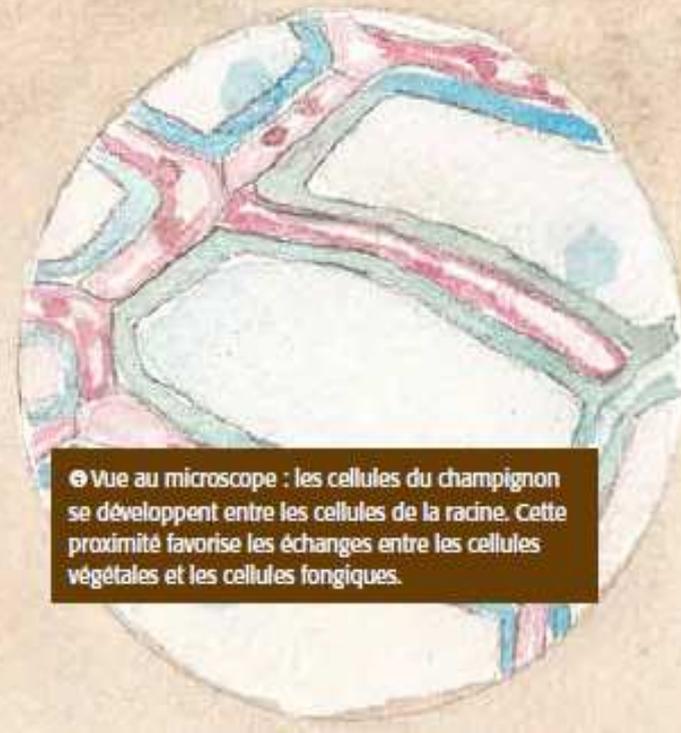
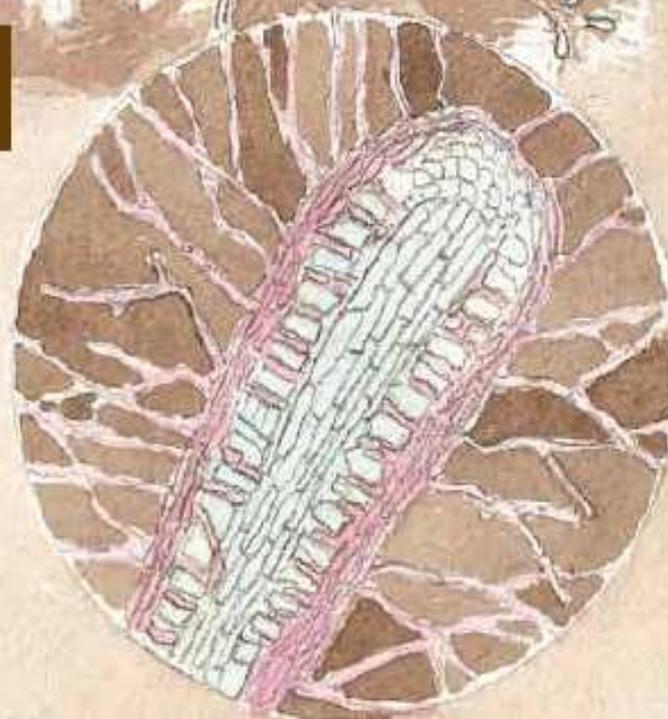
Le mycélium se développe dans le sol à partir des mycorhizes. Sous certaines conditions de « stress » climatique, ce mycélium forme des fructifications.

Les racines fines des arbres portent des chapelets de mycorhizes : petites radicelles de quelques millimètres, entourées par un « manteau » de mycélium.

Coupe longitudinale d'une mycorhize : les cellules de la radicelle sont ici colorées en bleu tandis que les cellules du champignon sont colorées en rose.
Le mycélium se développe de trois façons :

- En formant un manteau de plusieurs couches de cellules,
- En pénétrant entre les cellules de la racine,
- En colonisant le sol autour de la radicelle.

Vue au microscope : les cellules du champignon se développent entre les cellules de la racine. Cette proximité favorise les échanges entre les cellules végétales et les cellules fongiques.



La Mycosylviculture

Chapitre 2 : écologie des champignons sylvestres comestibles

Ce document est réalisé dans le cadre du projet Micosylva. Micosylva est un projet scientifique et technique européen cofinancé par des aides FEDER-INTERREG. L'objectif est de promouvoir en Europe une gestion multifonctionnelle et durable des forêts qui intègre et valorise les fonctions écologiques et socio-économiques des champignons sylvestres comestibles. Afin de réaliser ce projet, sur la base d'une coopération entre 8 partenaires, espagnols, français et portugais, un réseau de 18 zones myco-sylvodémonstratives a été mis en place dans le sudouest de l'Europe (appelé aussi espace SUDOE). Fort de ce réseau de référence, la finalité du projet est de construire durablement dans l'espace SUDOE, une stratégie commune de préservation des écosystèmes forestiers tout en montrant le rôle essentiel des champignons.

Coordination :

Jean Rondet et Fernando Martinez Peña

Auteurs de cette deuxième partie :

Jean Rondet – EPLEFPA Vic, France

Jacques Guinberteau – INRA Bordeaux, France

Nathalie Seegers – Chambre Agriculture Dordogne, France

José Antonio Bonet-Universidad de Lleida/ Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, Espagne

Juan Martínez de Aragón - Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, Espagne

Helena MACHADO - Instituto Nacional de Recursos Biológicos, I.P./I.N.I.A Quinta do Marquês, 2780-159 Oeiras, Portugal

Celeste SANTOS-SILVA -Institute of Mediterranean Agricultural and Environmental Sciences;Biology Department, University of Évora, Apartado 94, 7002-554 ÉVORA, Portugal

Dessins, aquarelles :

Jean Rondet et Françoise Boutet

Sommaire



Chapitre 2 : Ecologie des champignons sylvestres comestibles

ECOPHYSIOLOGIE DES CEPES	4
ECOLOGIE DE <i>LACTARIUS DELICIOSUS</i> COMPLEX ET GESTION FORESTIERE	15
ECOLOGIE DE <i>AMANITA PONDEROSA</i> ET GESTION DES ECOSYSTEMES	12

ECOPHYSIOLOGIE DES CEPES

Jean Rondet – EPLEFPA Vic en Bigorre

Jacques Guinberteau – INRA Nancy

Nathalie Seegers – Chambre d'agriculture de la Dordogne



1 - Les cèpes : définition

L'usage populaire et maintenant commercial du terme « cèpe » est réservé par tradition à seulement un petit nombre d'espèces de Bolets, souvent confondues car elles partagent un certain nombre de caractères morphologiques. Les cèpes appartiennent aux Boletaceae qui regroupe trente genres dont 12 en Europe.

Parmi les 300 espèces connues du genre *Boletus*, la section *Edules* comprend un petit nombre d'espèces : *Boletus edulis* (Le « Cèpe de Bordeaux »), *B. aestivalis* (Le « Cèpe d'été »), *B. aereus* (le « Tête de nègre » ou « Tête noire » ou « Cèpe bronzé »), *B. pinophilus* (le « Cèpe des pins de montagne » ou « Cèpe acajou »), *B. mamorensis* (« Cèpe de la Mamora »), *B. carpinaceus*, *B. betulicola*...

Les Cèpes ont des caractères communs : pores très fins, blancs puis jaunes verdâtres et enfin verts olive à maturité, chair blanc immuable par exposition à l'air, pied obèse et puissant, chapeau ventru, doté d'un réseau ou réticule en relief. Ils se distinguent cependant nettement par certains caractères :

Boletus edulis



- Cuticule visqueuse et revêtements piléique gras au toucher même par temps sec.
- Chapeau brun obscur à brun noisette, fortement décolorant.
- Marge crispée, munie d'une frange ou marginelle discolore blanche très typique et discriminante.

- Pied initialement blanc ou légèrement beige, jamais très coloré.



Boletus aereus

- Cuticule à tendance plus sèche, subveloutée, rarement humide.
- Chapeau lisse.
- Coloration soutenue, souvent obscure, brun marron noirâtre à brun café foncé avec forte tendance à se décolorer par zones en ocre cuivré vers un beige café au lait.
- Pied à coloration typique brun miel, à fauve cuivré (tirant sur le jaune) à réseau limité au sommet du pied, au plus jusqu'au 1/3.
- Chair très ferme, plus dense et consistante, blanc pur.



Boletus aestivalis

- Cuticule et revêtements piléiques veloutés (peau de chamois), feutrés à tendance très sèche, voire craquelée par sécheresse.
- Coloration claire, brun noisette, café au lait à brun beige pâle ou brun châtain (confusion possible avec *B. aereus*) à brun roussâtre (confusion possible avec *B. pinophilus*).
- Marge concolore, jamais discolore blanchâtre.
- Pied très concolore avec le chapeau, souvent muni d'un fort réseau en relief, développé jusqu'à la base (mais pas toujours !).
- Saveur plus douce, savoureuse, sucrée, goûteuse.



Boletus pinophilus

- Cuticule brillante grasse.
- Chapeau non lisse mais un peu rugueux, fripé veiné.
- Coloration typiquement roux-acajou, roux-cuivré.



- Marge pruineuse blanchâtre particulièrement visible dans les plis.
- Pied brun ocracé ou brun roussâtre, à silhouette obèse.
- Pores présentant spécialement une coloration ferrugineuse, plus particulièrement visible en vue tangentielle.

2 - Des espèces à large écologie

Les cèpes sont des espèces très ubiquistes, en particulier *B. edulis*, *B. aestivalis*, *B. pinophilus*.

Les observations révèlent des fructifications de ces espèces associées à une bonne diversité d'arbres-hôtes et d'habitats forestiers.

Arbres-hôtes	Fagaceae (Hêtre, Chênes, Châtaignier)	Pinus (Pin sylvestre)	Abiea (Sapin pectiné, Sapin de Vancouver)	Picea (Épicéa commun,...)	Betula (Bouleau)
<i>Boletus edulis</i>	TC	TC	TC	TC	TC
<i>B. aestivalis</i>	TC	?	?	?	?
<i>B. pinophilus</i>	C	C	C	C	
<i>B. aereus</i>	VC-R				

TC = Très Commun, C = Commun, R = Rare

(Les informations concernant la fréquence d'apparition des cèpes dans les habitats forestiers concernent les fructifications et non une présence sous forme de mycorhizes. Une essence peut être associée à une espèce de cèpe sans permettre sa fructification).

Les fructifications de cèpes sont particulièrement fréquentes et abondantes sous *Epicea commun* (essentiellement *B. edulis*), *Sapin pectiné* (*B. edulis* et *B. pinophilus* dans une moindre mesure), *Pin sylvestre* (*B. pinophilus* en France et *B. edulis* et *B. pinophilus* en Espagne), *Pinus taeda*, *Sapin de Vancouver* (*Abies grandis*) (*B. edulis*), *Châtaignier* (les quatre espèces), *Hêtre* (*B. edulis* et *B. pinophilus*), *Cistus ladanifère*.

Les cèpes sont donc des champignons qui fructifient dans une grande diversité de peuplements forestiers, régulièrement (chaque année en règle générale) et souvent en grandes quantités.

Des enquêtes françaises et espagnoles menées dans des Régions et territoires de cueillette et collecte commerciale de cèpes montrent ainsi l'importance des « productions » de cèpes, le terme production étant mis en italiques pour indiquer qu'il s'agit bien sûr de productions (pour l'instant) non gérées et non programmées. On parle ici de production de champignons « sauvages », bien que des fructifications importantes de ces champignons soient associées essentiellement à des forêts montrant des caractères propres de forêts gérées, comme nous l'expliquerons plus loin.

Le tableau suivant donne pour exemple des données fiables concernant les productions de cèpes dans un territoire de moyenne montagnes françaises du Massif Central. Les jeunes plantations résineuses, installées dans certaines conditions que nous évoqueront plus loin, sont les plus productives. Il s'agit ici des cèpes effectivement commercialisés après récolte à un stade encore jeune « hyménium blanc ».

Futaie, futaie/taillis, Chêne Hêtre, Châtaignier	85.000 ha	10 kg/ha	850 T
Futaie (plantations) épicéa commun et de sapin pectiné	22.500 ha	60 kg/ha	1350 T
Taillis /Futaie Epicea sapin dominants	1.250 ha	30 kg/ha	40 T
Futaie et futaie Taillis Pin sylvestre	7.740 ha	10 kg/ha	80 T

(enquête Creuse, 1990. «Economie et écologie des cèpes en Creuse» - J. Rondet, 1990)

Un autre exemple bien étudié concerne une forêt de 12 000 ha de Pins sylvestres de la province de Soria, en Castille et Léon.

Cette forêt gérée produit une moyenne de 40 Kg/ha/an de cèpes de deux espèces : *B. edulis* et *B. pinophilus*.

En conclusion : des espèces associées à de nombreuses essences différentes, présentes dans des milieux diversifiés, fructifiant souvent abondamment «des espèces intéressantes pour la gestion myco-sylvicole».

3 - Cycle de développement des cèpes

Pour faire l'état des lieux des connaissances et des hypothèses sur l'écophysiologie des cèpes, il semble utile d'organiser les informations en les rattachant à quatre phases d'un cycle de développement. Ce cycle est représenté sur le schéma suivant, qui met en évidence les facteurs de l'écosystème qui sont en relation avec ce cycle : l'atmosphère et le climat, le peuplement forestier et plus généralement l'ensemble des plantes (= la phytocénose), le sol.



La fructification dépend des phases précédentes. C'est pourquoi l'importance d'une récolte ne peut s'expliquer qu'en tenant compte de l'ensemble des phases de développement précédentes et des conditions qui entourent chacune d'entre elles.

3.1 - L'installation des mycorhizes

On pense que le cèpe se transmet d'un arbre à l'autre (en particulier d'un arbre déjà mycorhizé par le cèpe à un jeune arbre voisin non encore mycorhizé) par le biais du mycélium. Le mycélium déjà installé sur des racines peut se développer dans le sol, rencontrer de nouvelles racelles et s'y installer pour former de nouvelles mycorhizes.

Cependant, il est probable que les spores peuvent être impliquées dans la mycorhization d'arbres s'installant en premier sur une parcelle dépourvue d'arbres auparavant : prairies, landes. On imagine ainsi que les essences pionnières (qui s'installent donc en premier) comme le bouleau (*Betula pendula*) et le Pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) se mycorhizent facilement grâce aux spores de cèpes présentes dans le sol et qui germent au contact des racelles. Une fois la mycorhization installée sur ces essences, le mycélium peut se propager sur des systèmes racinaires voisins. Le dessin ci-dessous résume ces modes possibles de propagation.



Les conséquences sont nombreuses en terme de reboisement. Il semble intéressant de favoriser une mycorhization naturelle

des essences de reboisement en prévoyant dans les mélanges des essences pionnières. Une fois mycorhizées, ces essences deviennent des essences « vectrices » de mycélium. Les cèpes étant très ubiquistes comme nous l'avons vu, des mélanges très divers peuvent être utilisés.

Ces hypothèses peuvent expliquer les observations comparatives faites dans le Massif Central dans des jeunes plantations résineuses réalisées d'une part sur terrains nus (prairie, terre agricole) et d'autre part sur lande arborée issue d'une recolonisation spontanée de prairies ou terres abandonnées par l'agriculture. La production de cèpes sous jeunes résineux (*Epicéa commun* en particulier) est abondante quand la plantation a été réalisée sur un précédent « landes arborées » et anecdotique quand la plantation a eu lieu directement sur terre agricole ou prairie.

Importance de la strate herbacée pour la mycorhization par les cèpes



Les strates à éricacées (à *Calluna vulgaris* en particulier) d'une part et à *Molinia cerulae* sont très favorables aux cèpes. Une hypothèse suggère des effets allélopathiques exercés par ces plantes vis à vis d'autres mycorhiziens, favorisant ainsi indirectement les cèpes.



Importance de la nature des sols sur la mycorhization par les cèpes.

D'une manière générale, une corrélation inverse existe entre fertilité du sol et nombre de mycorhizes. Les champignons mycorhiziens ayant pour les arbres-hôtes la fonction de les aider dans leurs fonctions nutritionnelles (en minéraux, azote et eau), leur activité sera d'autant plus nécessaire dans les stations peu fertiles et sans doute dans les situations de concurrence forte entre les arbres. Toutefois, dans le cas des cèpes, il n'existe pas nécessairement de corrélation étroite entre le nombre de mycorhizes de cèpes et sa présence active dans les sols. L'« activité biologique » des cèpes est peut-être plus liée à un développement mycélien important qu'à une multiplication du nombre des mycorhizes. Cette hypothèse est posée par un certain nombre des participants du programme Micosylva (J. Garbaye, A. Fortin, J. Guinberteau, F.M. Peña, J. Rondet notamment).

Dans les sols du réseau de parcelles Micosylva, la situation des racines fines mycorhizées dans les différents horizons du sol montre bien une relation avec la nature des sols. D'une manière générale,

① Schématisation d'une mycorhization d'un jeune chêne à partir de mycélium provenant des racines d'un bouleau. La présence de callune favoriserait une prédominance du cèpe par rapport à des champignons concurrents.

② Callune, Molinie, Fougère aigle : trois plantes qui favorisent le développement des cèpes.





les racines mycorhizées se situent essentiellement dans les premiers centimètres de sol (0 à 5 cm pour certains sols et jusqu'à 0 à 20 cm pour d'autres sols).

Toutefois, la densité et la répartition des mycorhizes de cèpes ne pourront être efficacement étudiées en relation avec les sols qu'à l'aide des outils de la biologie moléculaire. Les équipes espagnoles du programme Micosylva ont entrepris ces études.

3.2 - La croissance mycélienne

Des recherches restent à faire pour confirmer les hypothèses que nous formulons ici.

Hypothèse 1 :

Les cèpes poussant très rapidement après l'initiation fructifère liée à la pluie (de l'ordre de la dizaine de jours), cette fructification abondante pourrait s'expliquer par une redistribution rapide de réserves préalablement stockées sur une période longue (de l'ordre de plusieurs mois) dans le mycélium. Un développement important de mycélium dans le sol serait un préalable à une bonne fructification. Par ailleurs, un réseau important de mycélium semble nécessaire pour pouvoir capter rapidement l'importante quantité d'eau nécessaire aux fructifications en croissance.

Hypothèse 2 :

Le type de fonctionnement précédent évoque le fonctionnement d'un champignon saprotrophe de litière. Dans ces cas là, bien étudiés dans le cadre des cultures de champignons saprotrophes (pieds bleus, pleurotes...), l'importance de la fructification est étroitement corrélée avec la densité mycélienne dans le substrat. L'hypothèse

2 propose que les cèpes aient un fonctionnement mixotrophique, c'est à dire pour une part symbiotique mais aussi pour une part saprotrophe. La balance entre les deux types de fonctionnement pouvant peut-être varier d'ailleurs selon les types d'habitats forestiers et peut-être les saisons de fructification.

Hypothèses sur les conditions climatiques favorables à la croissance mycélienne de cèpes dans les sols :

S'il n'a pas été possible jusqu'ici de suivre la croissance mycélienne dans un sol naturel, on a pu cultiver au laboratoire des « souches » mycéliennes issues de « bouturage » (ou « clonage ») de fragments de fructifications (= « sporophores ») récoltées dans différents écosystèmes.

Les mycéliums sont cultivés en boîtes de pétri, qui peuvent être placées dans des enceintes à différentes températures. Il est ainsi possible de comparer la croissance de « colonies mycéliennes » (issues donc de la même « souche »). Les résultats sont intéressants pour deux raisons. a) Les gammes de températures permettant une bonne croissance sont assez étroites. Les croissances sont bonnes aux alentours de 18°C et jusqu'à 25°C environ. En deçà et au-delà les vitesses de croissance chutent rapidement. b) Il existe des différences entre les optimums de croissance des différentes souches et ces différences apparaissent en relation avec la provenance des fructifications. Des cèpes récoltés dans des habitats de régions plus chaudes donnent des mycéliums dont l'optimum de croissance est élevé (22 à 25°C par exemple) alors que des fructifications récoltées dans des habitats de Régions plus froides donnent des mycéliums ayant un optimum de croissance aux alentours de 18-20°C.



Conséquences en terme de gestion forestière :

L'ouverture des milieux forestiers (par éclaircies) favorise le réchauffement des sols des sous-bois du fait d'un ensoleillement direct. Les mesures de température effectuées en sous-bois montrent en effet qu'un peuplement fermé permet rarement aux sols de parvenir à une température nécessaire à une forte croissance mycélienne (20°C) alors que l'ouverture du milieu permet habituellement de gagner en moyenne quelques degrés. L'élévation moyenne de 5°C constatée permettrait ainsi aux sols d'être beaucoup plus longtemps à une température favorable à la croissance du mycélium de cèpes. Cela apparaît évident quand nous comparons des «sommes de température» comme on le fait pour des cultures de plantes au champ (par exemple le maïs).

Conséquences sur la variabilité des productions annuelles :

Il est possible que les conditions de températures annuelles aient une influence importante sur les fructifications de cèpes, par le biais d'une influence sur l'élaboration d'un potentiel mycélien dans les sols. L'importance des fructifications annuelles repose sans doute sur une addition de conditions complémentaires et pas simplement sur les événements qui président aux dernières phases de développement (initiation fructifère et fructification).

Par exemple, la comparaison des sommes de température d'un territoire du Département de la Dordogne en France (territoire où les récoltes de cèpes sont importantes mais varient beaucoup d'une année à l'autre) révèle des différences importantes d'une année à l'autre.

Cependant, il est possible qu'il y ait deux modèles de développement des cèpes : un modèle annuel pour les cèpes fructifiant en automne (productions principales de *B. edulis* et *B. pinophilus*) et un modèle bisannuel pour les cèpes poussant tôt en été (productions principales de *B. aestivalis* et *B. aereus*). Les cèpes d'automne pourraient se développer à partir de mycélium formé la même année tandis que les cèpes d'été pourraient se développer à partir de mycélium formé l'année précédente. D'autre part, il est nécessaire de tenir compte des conditions de pluviométrie qui influent sur l'humidité des sols et par ce biais sur les conditions de croissance mycélienne. Les pistes d'études sont donc intéressantes mais complexes.

Hypothèses sur les conditions nutritionnelles favorables à la croissance mycélienne de cèpes dans les sols :

A l'évidence, certaines litières forestières semblent très favorables aux productions de cèpes. Les litières formées par des aiguilles de pins (*Pinus sylvestris*), d'épicéas (*Picea abies*), des mélanges d'aiguilles ou de feuilles et d'éricacées mortes (Litière formée par *Calluna vulgaris* par exemple), la litière formée par la Molinie (*Molinia cerulae*) sont particulièrement intéressantes. Par ailleurs, des observations visuelles semblent montrer une dégradation de ces litières par le mycélium que l'on attribue au cèpe par évidence d'une proximité avec des jeunes sporophores par exemple, mais sans la certitude encore aujourd'hui que pourraient donner les outils de la biologie moléculaire.



Cultures mycéliennes en boîte de pétri de différentes espèces de cèpes.
(Photo: J. Guibertau)

3.3 - L'initiation fructifère

Il est maintenant démontré que la pluie est un facteur essentiel initiant le processus de fructification. Dans le cas des espèces fructifiant en automne, un abaissement de la température (abaissement de 5°C des températures moyennes, pendant quelques jours en général) est de plus nécessaire, avant ou pendant l'épisode pluvieux.

Pour vérifier l'hypothèse d'une induction des pousses par les pluies, une approche intéressante a consisté en particulier à étudier la relation entre d'une part le délai (y sur le schéma ci-contre) entre la pluie et le début de la fructification (premiers sporophores récoltés) et d'autre part la température moyenne (x sur le schéma) du sol pendant cette période.

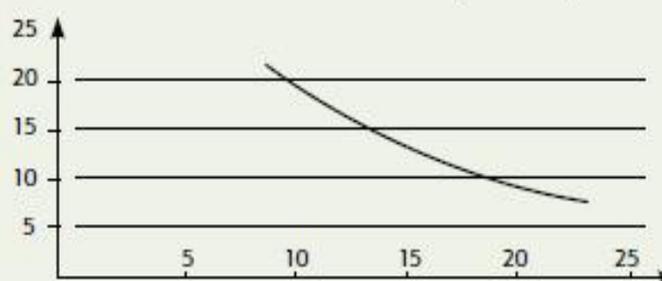
Un réseau de placettes forestières (dans le Sud-Ouest de la France et en Dordogne en particulier) a eu pendant quelques années comme l'un des objectifs principaux d'observer les effets des pluies sur les fructifications, en notant parallèlement les températures (air et sol) et les variations d'humidité du sol à l'aide de tensiomètres. Sur ces placettes, la pluie a pu être remplacée efficacement par une irrigation.

Une relation statistique existe bien entre ces deux facteurs : nombre de jours entre le délai Pluie→Pousse («D») et «T moy» dans le sol. Plus il fait froid et plus le délai est long. Cela signifie que les phénomènes biologiques correspondant au passage du stade de croissance mycélienne au stade de fructification sont plus lents sous des températures froides. Au contraire, si il fait chaud (20°C et plus), le processus est rapide : 8 jours après la pluie, les premiers cèpes sont prêts à cueillir.

La relation statistique entre D et T moy implique qu'il y a également une relation statistique entre Pluie et fructification.

Quand le sol est froid (9°C), il faut environ 20 jours pour que les cèpes apparaissent (au stade cueillette). Quand il fait chaud (20°C), le délai est voisin de 10 jours.

NOMBRE DE JOURS ENTRE LA PLUIE ET LA POUSSE (début récolte).

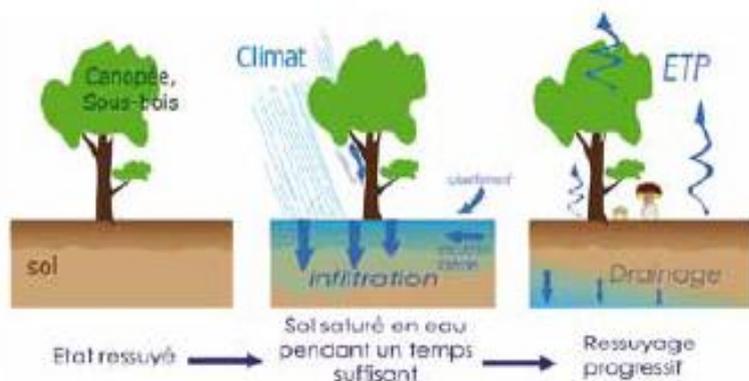


Temp. Moy. du Sol durant le délai entre Pluie et Pousse.

L'initiation fructifère correspond à une modification brusque du fonctionnement du mycélium. Jusqu'à cette pluie, le mycélium est dans une phase de croissance. La pluie interrompt cette croissance pour orienter différemment le fonctionnement du mycélium. Celui-ci interrompt sa croissance « centrifuge » pour « réagir » en s'agrégeant pour former des petites masses sphériques appelées « primordia ». Comment agissent les pluies sur le mycélium pour modifier ainsi son fonctionnement ? Plusieurs hypothèses sont envisageables (asphyxie, modification brutale de la composition gazeuse de l'atmosphère du sol, lessivage brusque des substances nutritives solubles du sol) mais il est certain que la pluie doit être suffisante pour bien hydrater le sol. Il semble même que le mycélium doive être provisoirement noyé.

Selon les sols, la quantité d'eau nécessaire peut être très différente, de très faible (quelques mm) à très importante (de l'ordre de 100 mm). Un horizon assez imperméable du sol peut ralentir le drainage de l'eau en profondeur et favoriser son accumulation au-dessus. Si cet horizon est peu profond, le sol situé au-dessus peut se saturer

avec une faible pluie. Il s'agira alors d'un sol bien sûr très favorable à des initiations fructifères répétées ne demandant pas de pluies importantes.



a) Schéma résumant les facteurs hydriques liés à l'initiation fructifère



b) Installation d'une station météo sur une «parcelle Micosylva» des Hautes-Pyrénées



c) Repérage spatial (piquetage) + date + poids moyen sur une parcelle de Dordogne (*Castanea sativa*, verger à fruits)

3.4 - La fructification

Le début de la fructification se passe dans les premiers cm du sol. Les dernières phases se déroulent pour une part en dehors du sol.



Primordia de cèpe (1mm environ) dans le sol et fructification de *Boletus pinophilus* dans une Châtaigneraie de Dordogne.

Le processus est encore mal connu et il est nécessaire de multiplier les observations in situ pour mieux en décrire les étapes.

Les données dont nous disposons correspondent aux valeurs de

températures et de l'humidité du sol (données tensiométriques), mesurées pendant les fructifications

Températures :

Dans les conditions du Sud-Ouest français, la fructification des cèpes demande des températures $> 7^{\circ}\text{C}$ pour *B.edulis* ou 10°C pour les espèces plus thermophiles. Par ailleurs, il semble que des températures $> 25^{\circ}\text{C}$ environ limitent la fructification. Il s'agit ici des températures mesurées dans les premiers cm du sol. Pour les seuils minima, il faut considérer les moyennes de température. Pour les maxima, il semble que quelques heures à des températures excessives puissent être limitantes. Il faut donc considérer plutôt les températures maxi quotidiennes. C'est un facteur limitant sans doute très important en année très chaude.



$10^{\circ}\text{C} < \text{Fructification} > 27^{\circ}\text{C}$
Boletus aereus
B.aestivalis

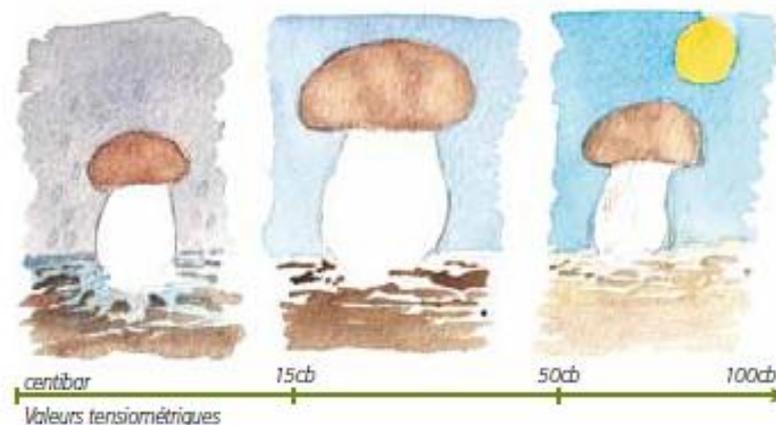


$7^{\circ}\text{C} < \text{Fructification} > 25^{\circ}\text{C}$
Boletus edulis

Humidité du sol :

Dans le Sud-Ouest français, une humidité optimale pour la fructification de deux espèces de cèpes (*B.aereus* et *B.aestivalis*) a été bien évaluée à l'aide de tensiomètres.

Une humidité optimale permet une croissance jusqu'à un poids moyen/cèpe de 200 g.



Ces données sur le climat du sol sont très importantes d'une part pour mieux comprendre les facteurs qui limitent certaines années la fructification mais aussi pour orienter la gestion mycosylvicole afin d'influencer favorablement ce climat du sol.

4 - Synthèse

Le développement des cèpes est conditionné par de nombreux facteurs de l'écosystème. Certaines relations sont bien observées tandis que d'autres sont encore hypothétiques.

La **mycorhization** par les cèpes suppose des essences-hôtes favorables, des essences vectrices de mycélium et certaines plantes associées de la strate herbacée sont favorables.

Une **bonne croissance mycélienne** est supposée être un facteur nécessaire à une future bonne fructification mais cela demande à être vérifié par des recherches précises, basées sur des observations et sur les techniques de caractérisation des mycéliums par les techniques de la biologie moléculaire.

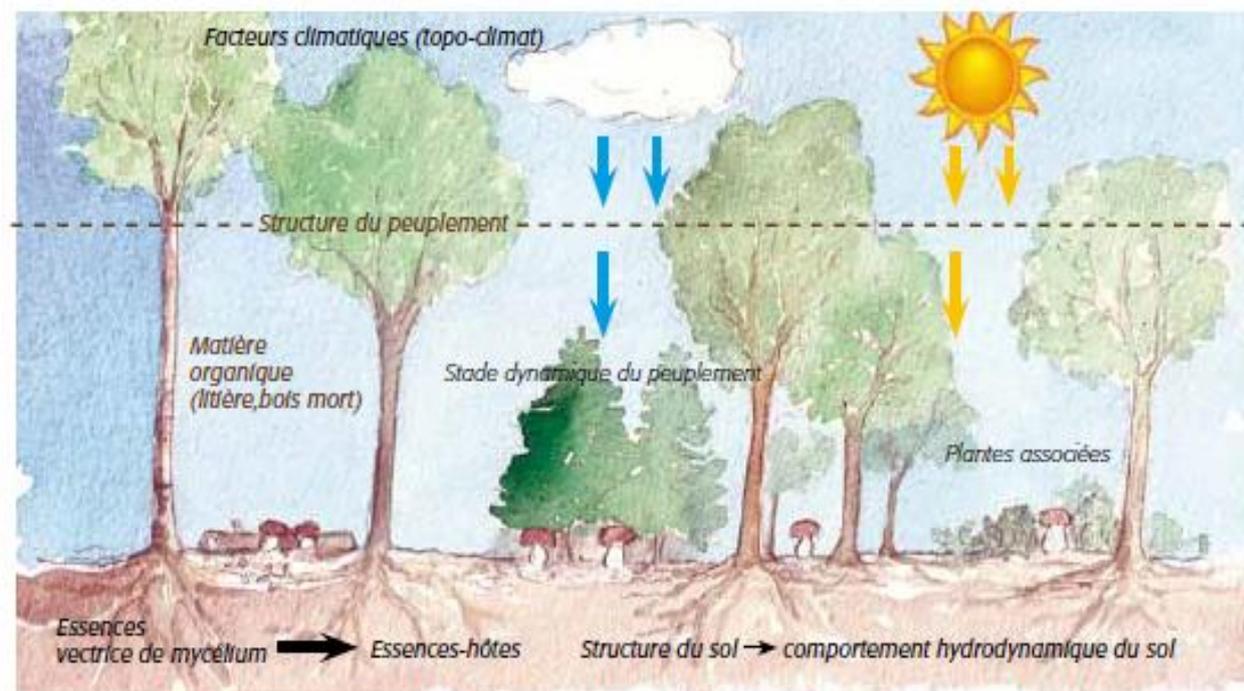
Le mycélium est supposé pouvoir dégrader efficacement certaines matières organiques difficilement utilisables par d'autres organismes (litières résineuses par exemple, riches en composés aromatiques, en polyphénols. Litières riches en tanins, ...). Si cela était vérifié, cela confirmerait l'un des rôles écologiques majeurs des cèpes, en tant qu'organismes essentiels dans le recyclage des éléments nutritionnels de ces matières organiques. Cela pourrait expliquer aussi les fortes productions de cèpes dans des écosystèmes riches en ces types de litières (peuplements résineux en particulier). Enfin, cela mettrait

ainsi l'accent sur l'importance de la gestion des litières forestières dans la production de cèpes.

L'initiation fructifère dépend des variations de température (pour les cèpes fructifiant en automne) et de variations importantes de l'humidité des sols (pour toutes les espèces). Le programme Micosylva, par une comparaison de différents «sols cèpiers», a permis de préciser les relations entre nature des sols et initiation fructifère.

La **fructification** ou croissance des sporophores est une phase très sensible également au climat. Des seuils de température et d'humidité du sol existent. Ces seuils doivent être sans doute précisés dans les différents écosystèmes forestiers par des observations simples de données du climat du sol. En effet, il existe peut-être une certaine diversité intraspécifique

(au sein de chaque espèce de cèpe) du point de vue de ces exigences climatiques. La structure du peuplement doit être étudiée pour réduire les variations climatiques en sous-bois et dans le sol. Dans une réflexion à long terme sur les objectifs de gestion d'un massif forestier, une production fongique pourra être particulièrement recherchée dans des parcelles ayant une situation favorable du point de sa localisation topographique.



Le schéma ci-contre rappelle les éléments essentiels conditionnant le développement des cèpes.

ECOLOGIE DE *LACTARIUS* *DELICIOSUS* COMPLEX ET GESTION FORESTIERE

José Antonio Bonet^{a,b}; Juan Martínez de Aragón^b;

Universidad de Lleida. Dep. de Producción Vegetal i
Ciència Forestal. Avda. Rovira Roure, 177. E-25198.
Lleida

Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. Àrea Defensa
del Bosc. Ctra. St. Llorenç de Morunys, km. 2. E-25280
Solsona

1. Taxonomie de *Lactarius deliciosus* complex

Les *lactarius* du groupe *deliciosus* se réfèrent à des champignons qui sont parmi les plus populaires, les plus connus et les plus récoltés. Ils regroupent un complexe d'espèces appartenant à la section *Dapetes*, caractérisés par des canaux laticifères qui exude à la cassure un latex de couleur orange à rougeâtre (Moser, 1983; Heilmann-Clausen *et al.*, 1998) (Fotos 1 y 2) qui se ressemblent entre eux à tel point qu'ils sont souvent commercialisés ensemble (Garcia, 2007), sous des appellations différentes (Bosch *et al.*, 1999; Sánchez y García, 2005; Bon, 2005; Phillips, 1994):

Catalán: Pinetell, rovelló

Castellano: nízcalo, niscalo, rebollón, mízcalo, nícalo

Euskadi: Esnegorría, piñutela

Gallego: Fungo dos piñeiros, fungo da muña

Francés: Lactaire délicieux

Italiano: Lepacendro buono

Inglés: Milky agaric, saffron milk-cap

Alemán: echter Reizker, Kiefern-Blutreizker



Fig. 1 : Carpophore de *L. deliciosus* (Juan Martínez de Aragón)

Classification taxonomique du genre (Sánchez y

García, 2005):

Règne : Fungi

Division: Amasgtigomycota (Macromicetos)

Subdivision: Basidiomycotina

Classe: Homobasidiomycetes

Sous-classe: Agarycometideae

Ordre : Russulales

Famille: Russulacea

Genre : *Lactarius*

2. Description du lactaire délicieux.

Le sporophore du "Nizcalo" présente de petites différences en relation avec les différents habitats et les plantes hôtes mais les caractères généraux sont les suivants (Bosch et al., 1999; Sánchez y García, 2005) (fig 1):

Chapeau de 6 a 10 cm de diamètre, mais allant couramment jusqu'à 15 cm et plus. Initialement convexe avec un centre un peu umbilicado, il prend ensuite un aspect de coupe (ciatiforme).

Cuticule lisse, glabre, de couleur orange à rouge, avec des zones concentriques plus sombres et la surface onctueuse à l'humidité.

Lames decurrentes, avec des lamellules, souvent bifurquées, denses, de couleur orange vif, verte à rouge.

Pied court, de 3 à 7 cm. De 1 à 3 cm de diamètre, de couleur plus claire que le chapeau, pruneux, souvent avec des taches de couleur orangée bien délimitée, verdissant avec le temps, initialement plein puis devenant creux.

Latex abondant dans les exemplaires frais, de couleur orange "carotte", virant lentement vers le marron-pourpre et prenant des tons verdâtres au bout de 24 h, de saveur douce.

Chair consistante, fragile (cassante), blanchâtre à la coupure puis prenant les teintes du latex. Odeur agréable, goût un peu acide.

Spores ovoïdes, de 8-9 x 6-7 μm , réticulées, de couleur ocre pâle.





L'espèce est parasitée parfois par *Peckiella lateritia* ce qui provoque la disparition des lames, des malformations et une stérilité, sans porter préjudice à la comestibilité. Il est alors connu comme la "mère du rovellón" ou "rovellona".

Lactarius deliciosus peut être confondu avec certaines espèces de la section, en particulier *L. salmonicolor* Heim. et Lecl. au latex cependant d'une couleur plus claire et vive, couleur de saumon et inféodé aux genre *Abies* (Bosch et à., 1999; Bon, 2005). Il est également souvent confondu avec *L. deterrimus*. Ce dernier a cependant une chaire claire qui vire au pourpre après dix minutes et il est inféodé au genre *Picea* (Sanchez et García, 2005- Guinberteau). Phillips (1994) le décrit cependant sous Pins.

L. sanguifluus (Paul.) Fr. est plus petit et le latex prend une coloration rouge très marquée (Sanchez et García, 2005). Cette espèce est inféodée, comme *L. quieticolor* aux pins.

L. semisanguifluus Heim et Leclair a un chapeau de couleur verte uniforme et sa chair, d'une couleur carotte devient vineuse au fil du temps qui suit la coupure (Sanchez et García, 2005). Cette espèce se développe préférentiellement dans des sols calcaires ou basaltiques (Bon, 2005).

La confusion est plus difficile avec *L. chrysorrheus* dont le latex n'est pas orange.



L. quieticolor

Les LACTAIRES de la Section des DAPETES ou

DELICIOSI sont des espèces d'écologie différente, souvent liées spécifiquement à une essence-hôte des genres *Pinus*, *Abies*, *Picea*, *Larix*

lait orangé ou rougissant, immuable : DELICIOSINI



Photos Jacques Guinberteau, INRA Bordeaux



***L. salmonicolor* /
Abies spp.**



***L. semisanguifluus* /
Pinus spp.**



***L. deliciosus* / *Pinus* spp.**

lait vineux ou +/- bleu d'entrée : SANGUIFLUINI



***L. sanguifluus* / *Pinus* spp.**



L. cyanopus* / *P. halepensis



***L. vinosus* / *Pinus* spp.**



La commercialisation des lactaires



***Lactarius deliciosus* complex : un groupe d'espèces qui fait l'objet d'une importante commercialisation**

Dans le Monde, il y a près de 1.144 espèces fongiques considérées comme alimentaires et(ou) médicinales (Boa, 2004). En ajoutant les espèces avec d'autres usages tels que la cosmétique, l'amadou, les propriétés hallucinogènes, etc., ce nombre augmente jusqu'à 2 800 espèces utilisées dans plus de 85 pays, tels que l'Afghanistan, l'Argentine, le Bénin, la Bolivie, le Botswana, le Canada, la Chine, la Costa Rica, l'Espagne, le Ghana, l'Inde, le Kirguistán, le Maroc, le Mexique, etc.

Le développement du nombre d'espèces reconnues comme comestibles s'accompagne d'une augmentation du marché des champignons comestibles (De Romain et Boa, 2006), bien que la connaissance des champignons reste encore restreinte à un niveau local (Boa, 2004). Finalement, les espèces commercialisées à une échelle importante sont peu nombreuses.

Ainsi, par exemple, De Romain et Boa (2004) indiquent qu'en Espagne 61 espèces de champignons comestibles sont récoltées, bien que cette donnée varie énormément en fonction des régions. Parmi ces espèces, seules un petit nombre sont commercialisées, dont *Lactarius deliciosus*, *L. sanguifluus*, *L. Semisanguifluus*, *L. salmonicolor* ou *L. vinosus*, commercialisées toutes avec le nom de "robellón," "rovellón" ou "nízcalo" en Espagne (De Romain et Boa, 2006). Les nízcalos ont des marchés consolidés en Europe, Asie et le nord de l'Afrique. L'Espagne fait partie des pays qui connaissent le plus grand volume de marché pour ce groupe d'espèces. Par exemple, sur le plus grand marché central de Barcelone, les volumes varient entre 75 et plus de 500 tonnes/an, les lactaires provenant majoritairement d'Espagne. Seuls, 8,2 % seraient importés (Voces et al., 2008; Cervera et Colinas, 1997).



Le prix moyen payé aux récolteurs est très variable, oscillant entre les 2€/kg (avec des variations moyennes entre 1 et 5€/ kg) dans le Nord-ouest de l'Espagne (De Romain et Boa, 2006), et 3,5€/ kg (avec des variations moyennes entre 2 et 7 €/kg) au Nord-est de l'Espagne (Martínez de 'Aragon et al., 2011). Cependant, le prix peut atteindre plus de 25 €/ kg si la vente se fait directement au consommateur final, comme c'est le cas pour la vente en bord de route ou souvent la vente directe aux restaurateurs.

Sur les grands marchés, une classification du nízcalo a l'habitude d'exister en fonction de qualités qui les destinent au petit commerce et les restaurants, avec des prix qui varient entre 13 et 16 €/ kg pour la première catégorie, 6 et 11 €/ kg pour la deuxième et entre 3 et 6 €/ kg pour la troisième qualité (De Romain et Boa, 2004).

La commercialisation la plus fréquente est réalisée cependant par des intermédiaires, professionnels en profession libérale ou bien associés à de grandes entreprises. Ils acquièrent le produit directement auprès des récolteurs et ils le vendent aux entreprises ou au grands marchés qui l'acquièrent à un prix qui varie entre 3,6 et 7,2 €/ kg (Cervera et Colinas, 1997). Ces fluctuations dans les prix annuels et hebdomadaires des rovellones, sont provoquées en partie par la loi de l'offre et de la demande. Cependant, cette relation n'est pas exactement linéaire, puisqu'il semble exister des prix plancher maximaux non dépendants de l'offre de champignons. Ainsi, des variations importantes constatées entre des campagnes, avec par exemple une quantité commercialisée supérieure de 78%, d'une campagne à l'autre, n'entraîne qu'une descente de 9 % du prix (Voces et al., 2008).

3. Ecologie de l'espèce et facteurs qui influencent sa présence.

Le nízcalo est une espèce (un groupe en fait) assez universelle, présente en Europe, Amérique, Afrique, Océanie. C'est une espèce grégaire, mycorhizant exclusivement les conifères, majoritairement les pinèdes. Malgré son amplitude de distribution, il présente une spécificité très stricte d'habitat, la plupart des espèces étant inféodées à des hôtes spécifiques (Guinberteau et al, Xxx).

C'est une espèce de caractère plutôt héliophile, associée aux peuplements non excessivement fermés. Comme dans le cas de la majorité des espèces fongiques, ses productions sont très variables (Fig. 6).

Cette variabilité est à rattacher aux facteurs stationnels (altitude, topographie, caractéristiques du peuplement, sols et surtout facteurs climatiques.4.1. Des facteurs climatiques

Les connaissances empiriques de tous les récolteurs se rejoignent pour indiquer que les meilleures conditions pour initier les fructifications correspondent aux pluies d'orages et aux pluies abondantes septembre et en octobre. La température ne doit pas descendre au-dessous de zéro et si cela se produit, ces gelées ne doivent pas dépasser les 5-7 jours consécutifs (De Romain et Boa, 2006).

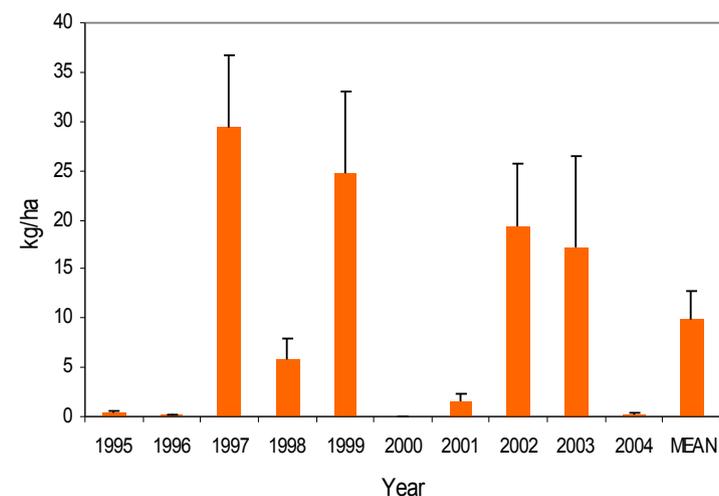


Figure 1 .Producción media estratificada (PE) de *Lactarius deliciosus* (kg ha^{-1}), en bosques de *P. sylvestris* en las cañadas de Pinar Grande, Soria, España. Las barras de error representan la desviación típica de la media estratificada (S_{PE}). Extraído de Martínez-Peña (2009).

Les observations scientifiques basées sur le suivi continu de parcelles permanentes, montrent également que les productions maximales de nízcals correspondent aux stations pluvieuses et chaudes. Martínez de Aragon et al. (2007) obtiennent une relation positive entre la production du champignon et la précipitation d'octobre :

Sur le site de démonstration mycosylvicole de *P. pinaster* associé au projet Micosylva, Bonet et al. obtiennent des productions maximales de *Lactarius* complex avec des précipitations d'août et de septembre supérieures aux 100 mms (Fig. 1)

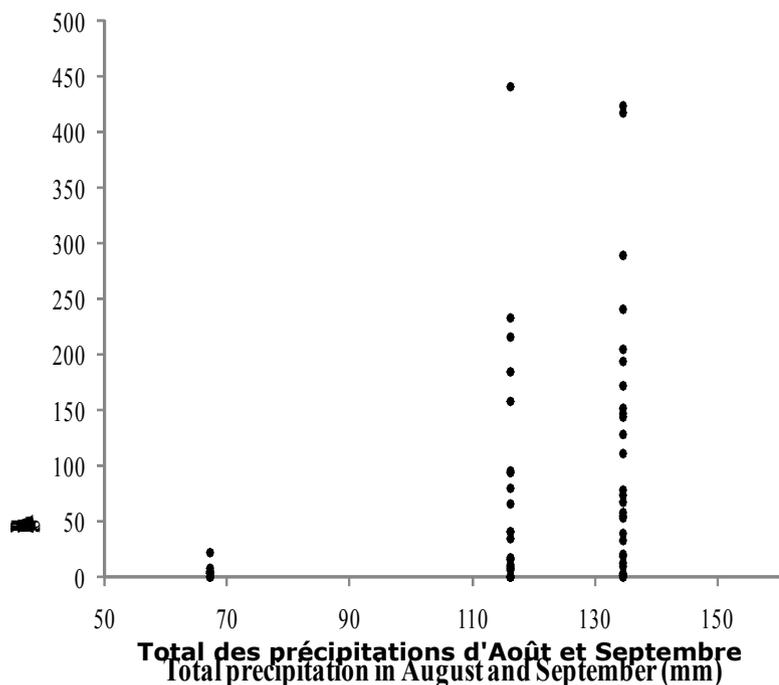


Figure 1. Relation entre la production annuelle de *Lactarius* complex (récolte annuelle) et la somme des précipitations des mois d'Août et Septembre, dans des parcelles de *Pinus pinaster*. Chaque point du graphique coorespond à une parcelle (Bonet et al, inédit)

Dans la même étude on a observé que l'effet combiné de conditions météorologiques favorables avec une gestion sylvicole appropriée permet d'obtenir des productions maximales supérieures à 200 kgs/ha (Fig.2).

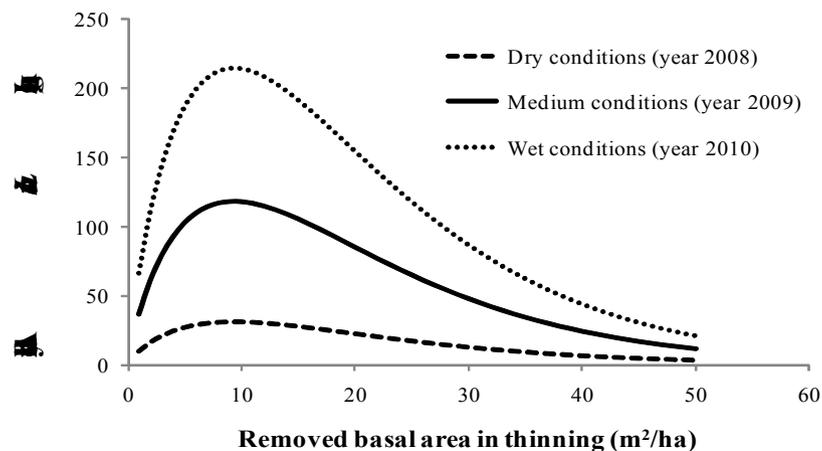


Figure 2. Relationn entre la production annuelle de *Lactarius complex* (Annual yield of *Lactarius*) et la diminution de la surface terrière lors des opérations d'éclaircies (voir aussi la figure 8). Les courbes décrivent les productions modélisées pendant une année sèche, (Dry conditions), en conditions moyennes, et en année humide (Wet conditions) (Bonet et al., manuscrit inédit).

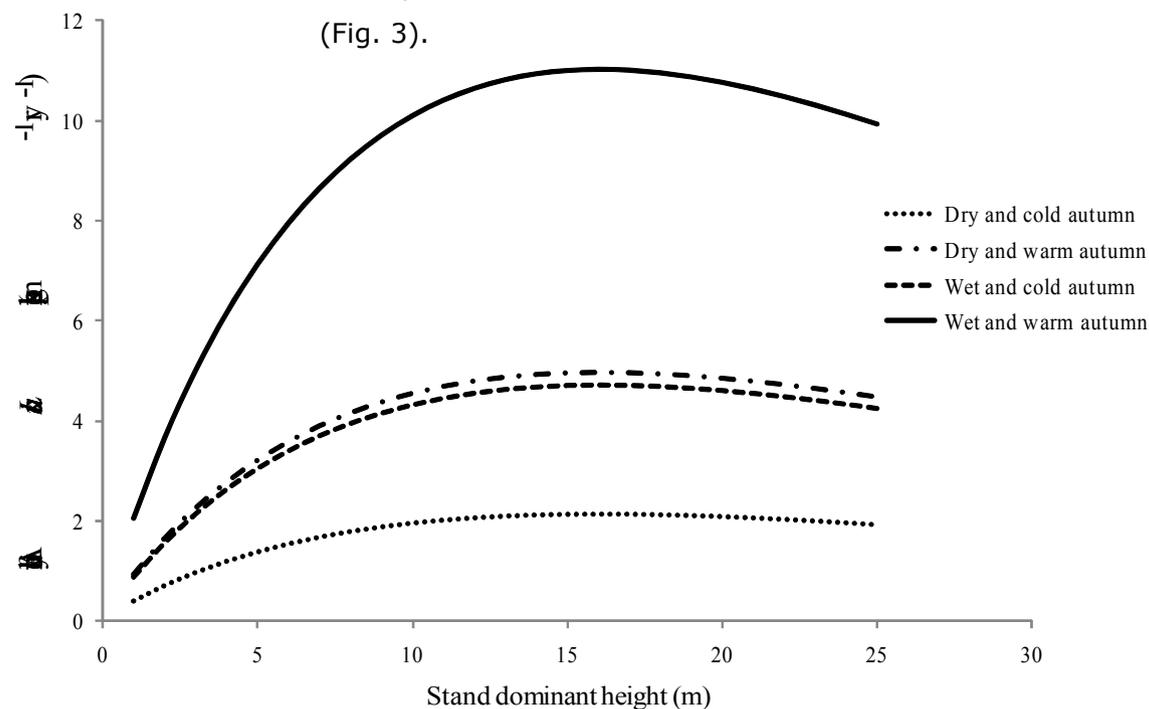


Une fructification importante des lactaires est liée à la gestion forestière et aux conditions climatiques.



Ce résultat coïncide aussi avec celui qu'ont obtenu Zamora-Martínez et Nieto de Pascual (1995) qui dans une station de *Pinus montezumae* au Mexique observe que les carpophores de *Lactarius deliciosus* apparaissent quand les précipitations dépassent 100 mms. Les précipitations doivent- être associées à des températures clémentes, en particulier dans les stations d'altitude. Ainsi Martínez-Peña *et al.* (inédit) dans des parcelles de *Pinus sylvestris* à Soria, en Espagne, obtiennent un modèle prédictif qui relie la production du champignon à la précipitation totale d'août, de septembre et d'octobre et à la moyenne de la température d'automne (septembre, octobre novembre), en relation avec des variables liées au peuplement forestier :

Figure 3. Relation entre la production annuelle de *Lactarius* complex et la hauteur dominante de *P. sylvestris* (Stand dominant height) dans la Pinède de Pinar grande, Soria, et différentes conditions climatiques (automne sec et froid; automne sec et chaud; automne humide et froid; automne humide et chaud (Martínez Peña et à., non publié)



$$Lactarius = \exp(-3.931 + 0.008 P_{\text{automne}} + 0.106 T_{\text{automne}} + 0.912 \ln(H_{\text{dom}}) - 0.021 AB)$$

où **Lactarius** est la production annuelle de *Lactarius* complex (kg / year), **Pautomne** est la somme de la précipitation totale en août, septembre et octobre, **Tautomne** est la somme de la température moyenne en septembre, octobre et novembre, **Hdom** est la hauteur dominante du peuplement et **AB** est la surface terrière. Le modèle nous montre que les années les moins productives coïncident avec des automnes secs et froids sec que les années les plus productives (productions multipliées jusqu'à cinq fois) correspondent aux années humides et chaudes (Fig. 3).

Les sols

Malgré l'importance du sol dans le développement fongique, les travaux scientifiques sur les relations entre le sol et l'écologie de ces espèces sont peu nombreux. L'espèce *Lactarius deliciosus* semble se développer dans une gamme large de sols, plutôt formés sur matériaux siliceux et acide (García, 2007). *Lactarius sanguifluus* se développe sur terrains calcicoles.

Martínez-Peña *et al.* (non publié) observent sous des bois de *P. sylvestris* une corrélation négative entre la teneur en sable et la production de *Lactarius*, alors que la corrélation est positive avec la teneur en argile et en limon et avec la CRA (Capacité de rétention d'eau disponible). Ce résultat semble indiquer l'importance du comportement hydrodynamique du sol et la nécessité pour l'espèce de bénéficier d'une quantité d'eau suffisante dans le sol pour pouvoir fructifier.

Succession fongique.

Les espèces du complexe correspondant au niscalos *deliciosus* semblent associées aux jeunes peuplements, comme espèces typiques associées à de jeunes étapes de succession. Les fructifications sont plus abondantes dans de jeunes peuplements et à fort accroissement de biomasse (Ortega *et al.*, 2010). Smith *et al.* (2002) n'observent pas de *Lactarius deliciosus* dans des peuplements âgés (>400 ans) de *Pseudotsuga menzesii* des États-Unis, observant les plus grandes productions dans de jeunes peuplements (30-50 ans). La relation entre des productions de niscalos et les jeunes âges des

peuplements n'est pas stricte (ou pas pour l'ensemble des espèces du groupe). Bonet *et al.* (2004) observent sous *Pinus sylvestris* des productions de *Lactarius* complexe dans tous les âges, en obtenant un maximum de productions de *L.semisanguifluus* dans des bois de 75 ans. Dans le même type de peuplements, Martínez-Peña (2009) observe également des productions dans toutes les classe d'âges bien que le maximum corresponde à la classe 15 - 30 ans et dans les peuplements de 70 ans (Fig. 4).



Une production différente selon les classes d'âges du peuplement.

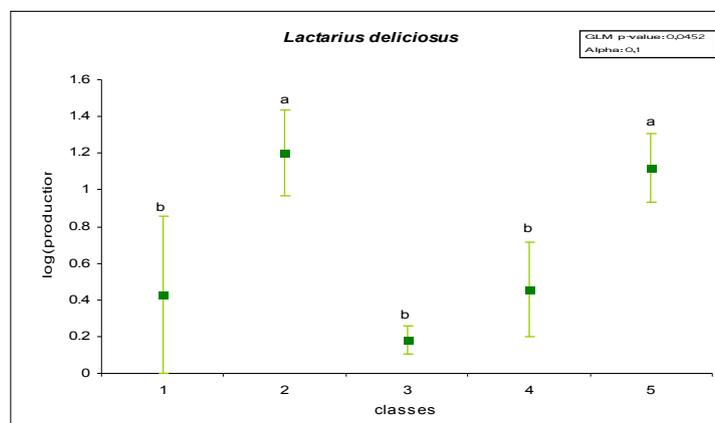


Figure 4. Productions moyennes de carpophores de *Lactarius deliciosus* dans les différentes classe âge de *P. sylvestris* à Pinar Grande, Soria, Espagne. En ordonnées : production P de carpophores en kg de poids frais (log (production+1)). Les barres indiquent l'ordre de grandeur de l'erreur type par rapport à la moyenne(bas) (SP). En abscisses : classes d'âges (1 : =15 ans, 2 : 16-30 ans, 3 : 31-50 ans, 4 : 51-70 ans, 5 :> 70 ans). Ces moyennes indiquent des différences significatives. Les productions par classe d' âges ont été respectivement de 5,45; 18,44; 0,51; 2,81 et 16,27 kg/ha



Dans des bois de *P. pinaster*, Agressé et Fernández-Toirán (2008) et Fernández-Toirán et al. (2006) observent également aussi la production maximale dans les premières et dernières classes d'âges.

Larrieu (2010, communication Micosylva) remarque que l'ensemble des classes d'âges de ces peuplements traités en futaie régulière correspondent en fait à des arbres assez jeunes, y compris à l'âge dit d'exploitation.



Photos Jacques Guinberteau
INRA Bordeaux

Photos 1 et 2 :
chapelets de
mycorhizes de
L.deliciosus sur
Pin.

Photos 3 et 4 :
Fructifications
en containers
de plants
mycorhizés



Par ailleurs, ces travaux aboutissent à des productions abondantes de carpophores sous des peuplements très jeunes de ces arbres initialement mycorhizés en *L.deliciosus* et *L. sanguifluus*.en pépinière.

La production de carpophores a même souvent lieu dans les containers de la pépinière (Photos 3 et 4).

Cela confirme la caractère pionnier d'au moins deux des espèces du groupe et qui ont fait l'objet de ces travaux.

Facteurs liés à la station forestière

Dans une étude récente, Bonet et al (2008) obtiennent dans des forêts de *P. sylvestris* une relation négative entre la pente du bois et la production de nízcalos, en observant également des relations avec l'orientation des parcelles et la surface terrière du peuplement :

$$\ln(y_{ij}) = -0.192 + 1.016 \ln(AB) - 0.106 AB + 1.489 \cos(\text{Ori}) - 0.0151 \text{Pend} + 1.5 + u_i + u_j + e_{ij}$$

Dans cette formule, y_{ij} est la production de Lactaires dans la parcelle i dans l'année j , AB est l'la surface terrière (m^2 y a 1), Ori est l'orientation (rad), Pend est la pente (en %) , u_i c'est un facteur aléatoire associé à la parcelle, u_j 'est un facteur aléatoire associé à l'année, et e_{ij} est une valeur résiduelle. La figure 5 représente les productions de différentes espèces de champignons, incluant les lactaires, en fonction de la surface terrière et pour des valeurs définies d'altitude, pente et orientation. La modélisation des séries de données de *P. sylvestris* à Pinar Grande, Soria a permis de voir que la production annuelle de *Lactarius* complex dépend principalement des variables climatiques associées aux variables liées à la station forestière comme la hauteur dominante de la masse forestière (Fig. 3).

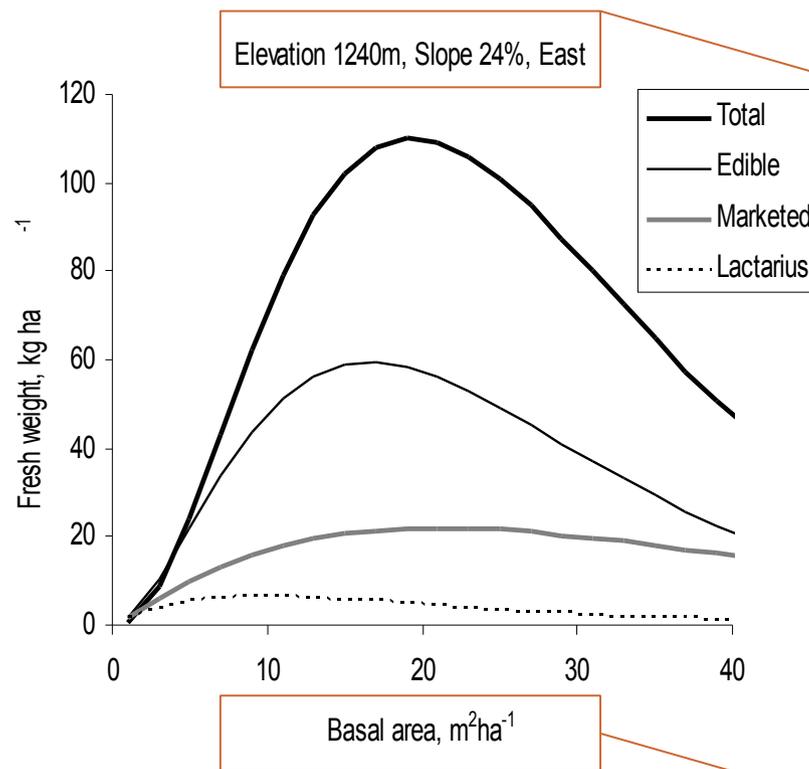


Figure 5. Production fongique totale (Totale), comestible (Edible), commercialisable (Marketed) et de *Lactarius* complex, données en poids frais (Fresh weight, en kg) en fonction de la surface terrière (Basale aire) conformément aux modèles établis par Bonet et al. (2008). L'altitude, la pente et l'orientation sont des valeurs fixées dans ce modèle.



Des facteurs importants pour la production : l'orientation des parcelles, la pente et l'altitude (qui jouent sur les conditions climatiques).

La surface terrière est un descripteur pratique qui intègre plusieurs facteurs liés à la gestion : degré d'ouverture du peuplement et « intensité de gestion », âge,

... Une surface terrière de 20 indique un peuplement bien éclairci, sensible donc aux effets du climat. Cela signale aussi des arbres ayant une bonne croissance.

4. Productions de *Lactarius complex*

Les productions sont très variables selon les années, cette variabilité étant liée au climat et aux caractéristiques de l'espèce. Cette variabilité apparaît bien dans la figure 1 qui montre la variabilité sur dix ans des productions de nízcalo dans des parcelles de pin sylvestres à Soria en Castille et Leon.

En Espagne, les productions débutent habituellement en septembre pour s'arrêter à la fin de novembre.

Martínez-Peña (2009) observe que dans 90 % des années la production démarre en septembre et que le mois le plus productif est le mois d'octobre. Septembre correspond à 18 % de la production, contre 63 % pour octobre et 19 % pour Novembre. Le même auteur observe que c'est une espèce de fructification fréquente puisque qu'elle fructifie dans plus de 60 % des années. Dans ces peuplements de Pin Sylvestre, les productions moyennes sont de 9,9 +/-3,5 kgs / ha/an, oscillant entre et 29,4 kgs /ha/an.

Dans le même type de bois, de Bonet et al. (2004) obtiennent des productions de 1,79 kg/ha/an tandis que Martínez de Aragon et al. (2007), sous différents peuplements de pins, observe des productions de 0,5 kg /ha/an. Au moyen d'inventaires suivis dans des parcelles de pinède, des chiffres plus importants ont été observés, en différenciant les productions dans les peuplements de *Pinus pinaster* (Fig. 7).



De fortes productions automnales, sous peuplements de Pinus sylvestris à Soria et sous peuplements de Pinus pinaster dans le Nord-Est de l'Espagne.

Dans les deux cas, les plus fortes productions se manifestent sous des peuplements régulièrement éclaircis.

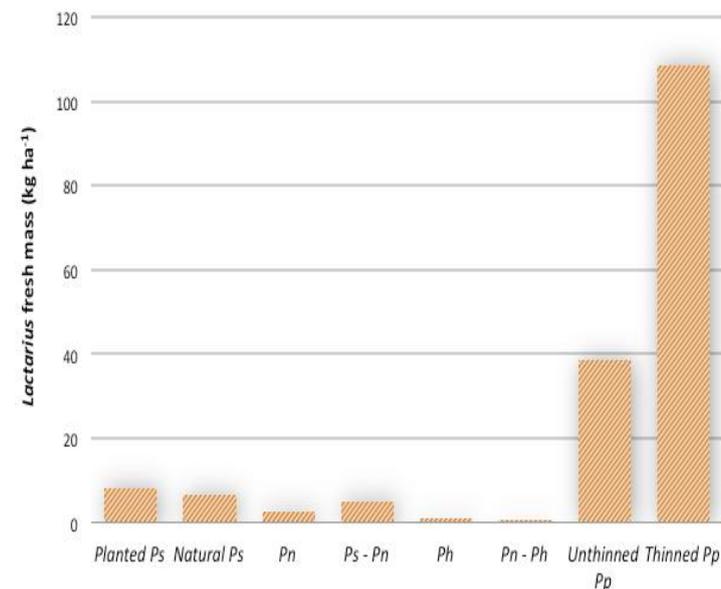


Figure 7 : Production de *Lactarius complex* (Lactarius fresh mass) dans différents types de pinèdes au Nord-est de l'Espagne (Planted Ps : plantations de *P. sylvestris*; Naturel Ps : peuplements spontanés de *P. sylvestris*; Pn : *P. nigra*; Ps-Pn : *P. sylvestris* en mélange avec *P. nigra*; PH : *P. halepensis*; le Pn-pH : *P. nigra* + *P. halepensis*; Unthinned Pp : *P. pinaster* non éclaircis; Thinned Pp : *P. pinaster* éclaircis . Martínez de l'Aragon sur la base des données historiques du CTFC Solsona.

Au Mexique, Zamora-Nieto et Nieto de Pascual (2005), dans l'une des quelques références de productions de *Lactarius deliciosus*, décrivent des productions de 25,98 kg ha/an dans des peuplements de *Pinus montezumae*.

6. Gestion forestière et production de *L. deliciosus* complex

La figure 5, établie à partir des modèles obtenus par Bonet et al (2008) dans des peuplements de *P. sylvestris* permettent d'observer que la surface terrière, un facteur controlable au moyen de la gestion forestière, est le facteur principal qui explique la production de champignons. Cependant, ces données d'observations, ont besoin d'être confirmées dans d'autres contextes expérimentaux. Le projet Micosylva, a permis l'installation d'un dispositif de démonstration mycosylvicole dans des bois de *P. pinaster* à Tarragone. Des parcelles ont été comparées selon les intensités d'éclaircies auxquelles elles ont été soumises. (Fig. 8) et en maintenant des parcelles témoins (Photos). Les parcelles, établies en 2009, ont été suivies pendant les années 2009 et 2010. Une augmentation significative a été observée dans la production de *Lactarius* complex dans des parcelles éclaircies, surtout la première année. Les différences entre des parcelles éclaircies et non éclaircies de 90,65 et 53,55 kgs 1 année 1 dans 2009 et 2010, respectivement (Fig. 9) (Bonet et à, un manuscrit).

Le modèle de production annuelle obtenu est le suivant

$$:Lactarius = \exp(0.48026 - 0.09318 * G_{\text{aclarado}} + 0.87365 * \ln(G_{\text{aclarado}}) + 0.02819 * P_{\text{agosto + septiembre}})$$

Dans cette formule, *Lactarius* est la production annuelle de *Lactarius* complex (kg ha⁻¹ año⁻¹), G_{aclarado} est la surface terrière enlevée au moment de l'éclaircie (m² ha⁻¹) et $P_{\text{agosto + septiembre}}$ es la somme des precipitations Août et Septembre.

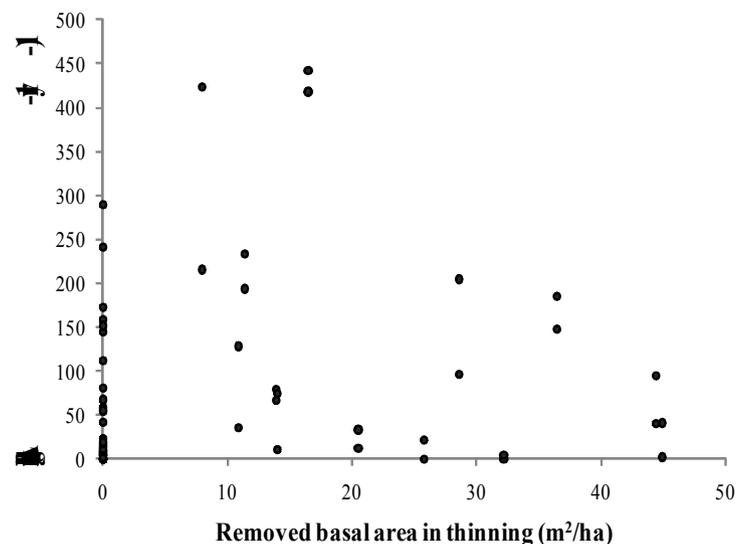


Figura 8: Relation entre la surface terrière extraite lors de l'éclaircie (Removed basal area in thinning m² ha⁻¹) et la production de *Lactarius* complex en bois de *Pinus pinaster* (Mean yield of *Lactarius*) (Bonet et al., non publié).



Les résultats obtenus sont préliminaires et doivent être corroborés par de plus nombreuses expérimentations. Toutefois, ces résultats montrent l'effet favorable d'une gestion favorable adaptée, en particulier du point de vue des éclaircies. Une telle gestion, associée à des années climatiques favorables, permettent de prédire des productions de Lactaires supérieures à 200 Kg/ha/an (fig.9).

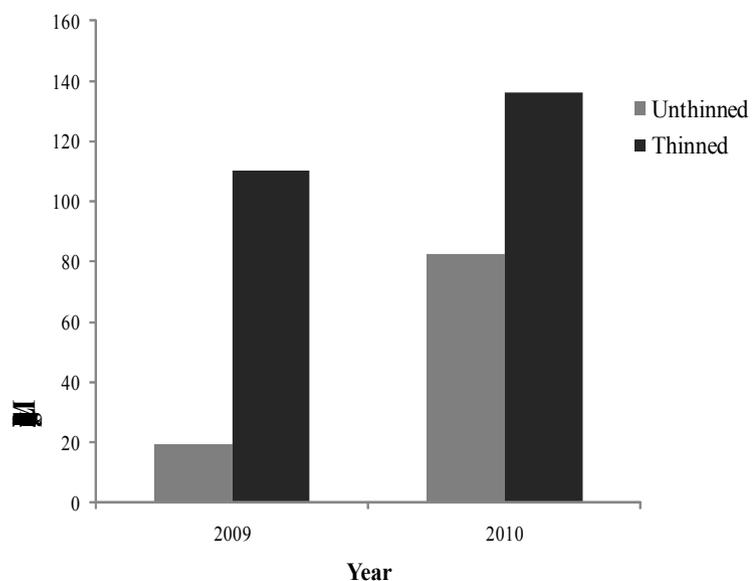


Figura 9: Effets des éclaircies sur la production Effecto de *Lactarius complex* (Mean yield of *Lactarius*) dans des peuplements de *P. pinaster* durant les années 2009 et 2010. "Unthinned" se réfère à des parcelles non éclaircies et "thinned" à des parcelles non éclaircies. (Bonet *et al.*, non publié).



Photo du haut : Parcelle témoin de Pinède à *Pinus pinaster*.
Photo du bas : parcelle éclaircie.
(Photos Martinez de Aragon)

Bibliographie

- ÁGREDA, T.; FERNÁNDEZ-TOIRÁN, LM (2008). Productividad micológica de una masa de *Pinus pinaster* del sudeste de la provincia de Soria. Boletín Micológico de FAMCAL, 3: 73-79.
- BOA, E. (2004). Wild edible fungi. A global overview of their use and importance to people. Non-Wood Forest Products 17. Rome, FAO.
- BONET, J.A.; FISCHER, C.R.; COLINAS, C. (2004). The relationship between forest age and aspect on the production of sporocarps of ectomycorrhizal fungi in *Pinus sylvestris* forests of the central Pyrenees. Forest Ecology and Management, 203: 157-175.
- BONET, J.A.; PUKKALA, T.; FISCHER C.R.; PALAHÍ, M.; MARTÍNEZ DE ARAGÓN, J.; COLINAS, C. (2008). Empirical models for predicting the production of wild mushrooms in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests in the Central Pyrenees. Annals of Forest Sciences, 65: 1-8.
- BON, M. (2005). Guía de campo de los hongos de España y de Europa. Ed. Omega, S.A., 368pp.
- BOSCH, P.; CORTÉS, C.; DUAIGUES, C.; GARRIGA, M.; GOMIS, C.; HERRERO, C.; LABRAÑA, J.; MARTÍNEZ, J.; MIRÓ, C.; MIRÓ J.; MITJANA, J.; MONTÓN, J.J.; PÉREZ, J.M.; SANCHEZ, J.; SISÓ, J.C.; TERÉS, M.; VALIOS, X. (1999). Els bolets de les terres de Lleida. Ed: Fundació Pública Institut d'Estudis Ilerdencs de la Diputació de Lleida. Lleida. ISBN:84-89943-13-3-.255 pp.
- CERVERA, M.; COLINAS, C. (1997). Comercialización de seta silvestre en la ciudad de Lleida. Actas del I Congreso Forestal Hispano Luso. Puertas y Rivas (Eds.), Gobierno de Navarra, Pamplona, pp. 425-429.
- DE ROMAN, M.; BOA, E. (2006). The marketing of *Lactarius deliciosus* in Northern Spain. Economic Botany, 60(3): 284-290.
- DE ROMAN, M.; BOA, E. (2004). Collection, marketing and cultivation of edible fungi in Spain. Micología Aplicada Internacional, 16 (2): 25-33.
- FERNÁNDEZ-TOIRÁN, LM.; ÁGREDA, T.; OLANO, M. (2006). Stand age and sampling year effect on the fungal fruit body community in *P. pinaster* forests in central Spain. Can. J. Bot, 84: 1249-1258.
- GARCÍA, D. (2007). ¡A por setas! Busca, encuentra y degusta. Ed. Everest, S.A., 276pp.
- GUINBERTEAU, J.; ROBIN, B.; CAMMALLETTI, P. xxx. Les plants mycorrhizés pour la production de lactaires et de bolets. FE 164. Dossier 6. 5 pp.
- HEILMAN-CLAUSEN, J.; VERBEKEN, A.; VESTERHOLT, J. (1998). The genus *Lactarius*. Fungi of Northern Europe – Vol 2. Denmark.
- MARTÍNEZ DE ARAGON, J.; BONET, J.A.; FISCHER, C.R.; COLINAS, C. (2007). Productivity of ectomycorrhizal and selected edible saprotrophic fungi in pine forests of the pre-Pyrenees mountains, Spain: Predictive equations for forest Management of mycological resources.. Forest Ecology and Management, 252: 239-256.
- MARTÍNEZ DE ARAGÓN, J.; RIERA, P.; GIEGICZNYC, M.; COLINAS, C. (2011). Value of wild mushroom picking as an environmental service. Forest Policy and Economics (In print).
- MARTÍNEZ-PEÑA, F. (2009). Producción de carpóforos macromicetes epigeos en masas ordenadas de *Pinus sylvestris* L. Tesis doctoral. ETSI Montes. Universidad Politécnica de Madrid.
- MOSER, A.M. (1983). Keys to agarics and boleti. 4th ed. Roger Philips, London.



ORIA DE RUEDA, J.A. (Coord.) (2007). Hongos y setas: Tesoros de nuestros bosques. Ed. Cálamo, Palencia. 275 pp.

ORTEGA, P.; ÁGUEDA, B.; FERNÁNDEZ-TOIRÁN, L.M.; MARTINEZ-PEÑA, F. (2010). Tree age influences on the development of edible ectomycorrhizal fungi sporocarps in *Pinus sylvestris* stands. *Mycorrhiza* (DOI 10.1007/s00572-010-0320-8).

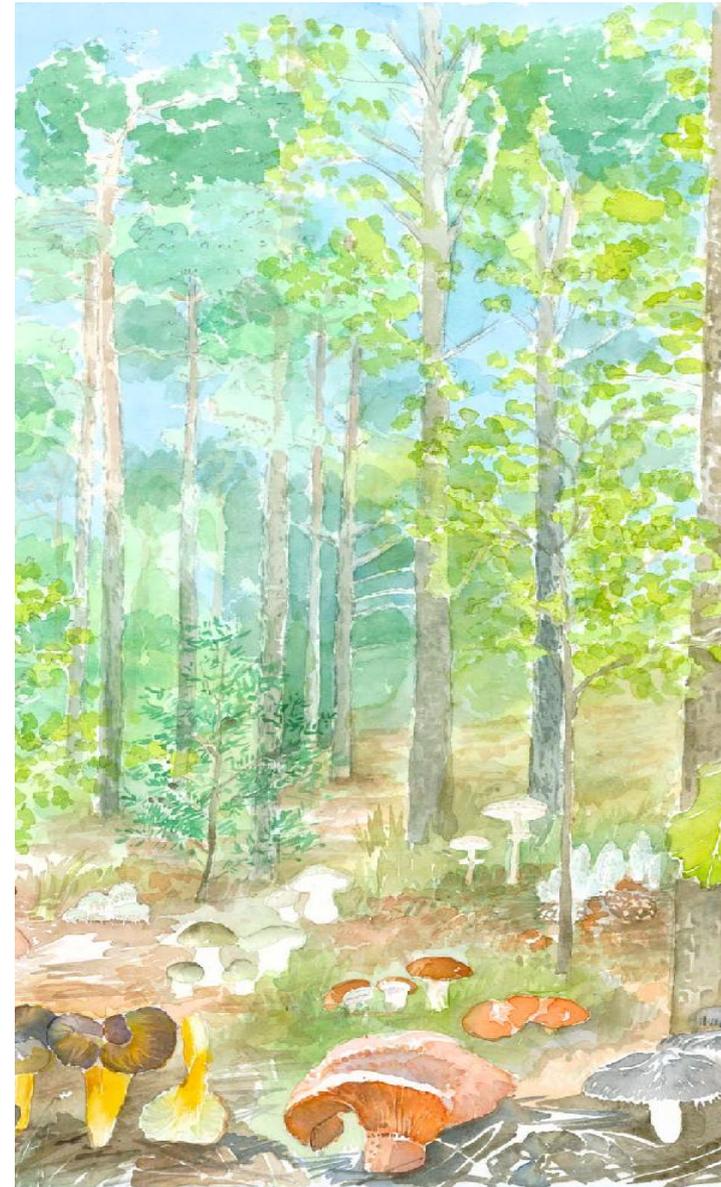
PHILLIPS, R. (1994). Mushrooms and other fungi of Great Britain and Europe. Ed. Macmillan Reference, 288pp.

SÁNCHEZ, J.A.; GARCÍA, A. (2005). Atlas de los hongos de Castilla y León. Ed. Instituto de Restauración y Medio Ambiente, S.L., 479pp.

SMITH, J.E.; MOLNA, R.; HUSO, M.M.P.; LUOMA, D.; McKay, D.; CASTELLANO, M.A.; LEBEL, T.; VALACHOVIC, Y. (2002). Species richness, abundance, and composition of hypogeous and epigeous ectomycorrhizal fungal sporocarps in young, rotation-age, and old-growth stands of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) in the Cascade Range of Orego, U.S.A. *Can. J. Bot*, 80: 186-204.

VOCES, R.; DIAZ-BALTEIRO, L.; HERRUZO, C. (2008). Una aproximación al mercado de *Lactarius deliciosus* en España. Evolución y tendencias recientes. Actas del III Congreso de la Asociación Hispano-Portuguesa de Economía de los Recursos Naturales y Ambientales. 15 pp.

ZAMORA-MARTÍNEZ, M.; NIETO DE PASCUAL, C. (1995). Natural production of wild edible mushrooms in the Southwestern rural territory of Mexico City, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 72: 13-20.



ECOLOGIE DE *AMANITA* *PONDEROSA* ET GESTION DES ECOSYSTEMES

Helena MACHADO - Instituto Nacional de Recursos Biológicos, I.P./I.N.I.A Quinta do Marquês, 2780-159 Oeiras

Celeste SANTOS-SILVA -Institute of Mediterranean Agricultural and Environmental Sciences;Biology Department, University of Évora, Apartado 94, 7002-554 ÉVORA,

Jacques GUNIBERTEAU-INRA Bordeaux

1-Importance économique et historique

Amanita ponderosa (Malençon & R. Heim) est une espèce de champignon printanière associée aux régions méditerranéennes, très recherchée au niveau régionale et utilisée dans la gastronomie locale. Cette espèce symbiotique bien adaptée à l'écosystème de type « montado » avec chêne-liège ou chêne-vert constitue un modèle d'étude fondamental pour sa conservation et gestion (fig.1).

Son aire de distribution naturelle est limitée à l'Europe du sud et nord d'Afrique : Portugal, Espagne, France, Italie, Sardaigne et Maroc.

Connue comme *gurumelo* en Espagne, elle est populaire en Andalousie Occidentale dans les provinces de Huelva, Sevilla et Cadiz où elle est très abondante.

Au Portugal, elle est connue sous le nom de « silarca » ou « o cogumelo = le champignon » et elle est consommée spécialement dans les régions intérieures de Beira Interior et Alto Alentejo.

L'usage d'un nom commun (vernaculaire) générique (cogumelo ou gurumelo) montre bien sa popularité même auprès des gens qui ne connaissent pas son nom scientifique.

Au Portugal il n'y a pas de règlement légal spécifique envisageant la récolte des champignons comestibles, que continue une pratique non encadrée et un apport des revenus hors taxe. Il n'y a pas encore un contrôle de qualité ni une régulation des quantités permises d'être récoltées. Parmi les gens locaux il y a deux genres de collecteurs, ceux qui ont appris depuis des années avec leurs grands-parents, à chercher dans des endroits précis et ceux qui sont attirés par sa valeur commerciale.



Fig.1 : Paysage de montados à chênes lièges



La majorité des espèces récoltées ne rentrent pas dans le circuit commercial local car elles sont stockées et exportées vers l'Espagne, France, Angleterre et Suisse. Il y a seulement quelques espèces, parmi lesquelles on trouve *Amanita ponderosa*, qui sont d'avantage récoltées pour la consommation locale et presque pas exportées.

Les gens impliqués sont des locaux que récoltent cette espèce pour autoconsommation et parallèlement comme une ressource supplémentaire de l'économie familiale.

En 2007, des enquêtes ont été effectuées auprès de la population de Barrancos, pour mesurer la fréquence et l'intensité de la récolte d' *Amanita ponderosa*. La majorité des enquêtés, sélectionnés aléatoirement dans les "récolteurs" de champignons, a montré une certaine réticence à répondre au questionnaire, avec peur des pressions par d'autres locaux, même après les avoir rassuré de la confidentialité de l'enquête. Les individus qui ont collaboré étaient questionnés séparément, donc on peut considérer les informations valides.

Vingt récolteurs, 19 hommes et 1 femme, dont l'âge était compris entre 26 et 77 ans, ont été interrogés et ont tous confirmé qu'ils récoltaient *Amanita ponderosa* entre Janvier et Mai, dans des fermes proches de Barrancos et en Espagne.



Fig.2 : Des espèces récoltées : *Amanita ponderosa*, *Terfezia arenaria*, *Choiromyces*...



Une autre espèce présente dans ces écosystèmes : l'Amanite des césars (*Amanita caesaera*).

La majorité des personnes (70%) ont déclaré qu'ils récoltaient seulement pour l'auto-consommation contre 20% qui affirmaient qu'ils commercialisaient l'espèce pour les restaurants et les locaux.

Pendant l'époque de fructification d'*Amanita ponderosa*, 55% des enquêtés affirmaient récolter entre 2 et 5 Kg par semaine et 30% plus de 5 Kg. Les réponses obtenues révèlent que le prix est très variable, en relation avec l'offre et la demande. Les prix les plus élevés (25 - 30 €/Kg) correspondent au début de la saison. Ils descendent à 10-15 €/Kg pendant la période de production maximale.

2- Taxonomie

Taxonomiquement *Amanita ponderosa* appartient au Règne des Fungi, Division *Basidiomycota*, Classe *Agaricomycetes*, Ordre *Agaricales*, Famille *Amanitaceae*, Genre *Amanita*, Espèce *Amanita ponderosa*, comprenant actuellement deux formes: *Amanita ponderosa* f. *ponderosa* Malençon & R. Heim et *Amanita ponderosa* f. *valens* (E.-J. Gilbert) Neville & Poumarat.

Les deux formes sont récoltées indistinctement et prenant des différents noms communs selon la région :

- Espagne (Catalan: ; Castellan: gurumelo, patata falsa; Basque: ; Galicia:)
- France (*ponderosa* ou *valens*)
- Portugal (batata, batata da terra, cilarca, criadilha, míscaro, púcara da Quaresma, silarca, silara, silerta ou silerca, regota, renota, tortulho, tubara, tubareiro, turva da terra)
- Angleterre (heavy *Amidella*)



3-Description morphologique

(possibles confusions / espèces proches)

Cette espèce printanière produit des carpophores robustes à chair ferme, constitués classiquement par un chapeau lamellé, un stipe avec une volve à sa base et des tonalités blanches.

Le chapeau épais, ferme, grand, globuleux-hémisphérique puis aplani, peut atteindre les 15 à 20 cm de diamètre, tout en gardant des restes de voile sous forme de plaques dans la région centrale du chapeau. De couleur initiale blanc, brillant, à la fin argilacé pâle ou subalutacé. Lames nombreuses, épaisses, blanchâtre jaunissant, atténuées, libres à l'insertion sur le pied inégales ou parfois toutes égales. Stipe de taille équivalent au diamètre du chapeau, cylindrique, ferme, farci puis subcreux, blanc, à la fin ocracé pâle, fibrilleux-floconneux en bas, en haut ceinturé d'un anneau membraneux adné, fragile, parfois déchiré, non visible sur les exemplaires adultes.

Volve ample, persistante, sublibre, lobée ou circonscise, rigide, épaisse, simple ou double, argilacée à l'extérieur. Les exemplaires de *A. ponderosa* possèdent une odeur caractéristique de terre ou de renfermé à la friction et prennent des tonalités rougeâtres que se maintiennent à l'état adulte.

Microscopiquement, les spores sont grandes [10-13(14) x 7-8(9) μm], hyalines, elliptiques, avec une paroi amyloïde.

Amanita ponderosa f. *valens* est très semblable morphologiquement, un peu plus petite et moins robuste, avec une volve tendant à être double.

D'après ses caractéristiques macroscopiques bien tranchées, il est difficile de confondre ce champignon avec d'autres espèces d'Amanites blanches, bien que cette possibilité ne soit pas exclue ! La plus proche serait *Amanita curtipes* qui vient en stations similaires mais, sa dimension plus petite et surtout son pied plus court, ses différents caractères organoleptiques et son époque de fructification automnale, la différencient d'*A. ponderosa*. La confusion est aussi possible avec d'autres espèces comestibles d'Amanites blanches comme *A. ovoidea*, *A. boudieri* et *A. solitaria*.

Par contre, pour les moins averties (amateurs) la confusion devient très possible, voire hautement probable avec des espèces toxiques ou même mortelles, surtout quand récoltées au stade d'œuf, comme par exemple *A. verna* ou *A. phalloides* (principalement dans sa forme *alba*).



Une espèce ressemblante : *Amanita curtipes* (cf. texte)

4-Écologie de l'espèce et facteurs qui influencent sa présence

Les fructifications semi-hypogées d'*Amanita ponderosa*, difficiles à repérer, se trouvent isolées ou en groupes, à proximité des cistacées (*Cistus ladanifer*, *C. crispus* et *C. monspeliensis*) mélangées avec des chênes vert (*Q. ilex* subsp. *ballota*), chêne-liège (*Quercus suber*), arbusier (*Arbutus unedo*), myrtes (*Myrtus communis*), bruyères arborescentes (*Erica arborea*), philarias (*Phyllyrea* sp.), et plus rarement à proximité d'eucalyptus (*Eucalyptus* sp.), pin parasol (*Pinus pinea*) ou des genévriers de Phénicie (*Juniperus phoenicea*) (Neville & Poumarat).

Cependant l'espèce est reconnue comme symbiotique des chênes, la présence des cistacées dans sa proximité paraît avoir un rôle important ou même fondamentale pour le développement ou la fructification de l'espèce. Pinho-Almeida & Baptista-Ferreira (1998) affirment qu'au Portugal tous les habitats où l'on trouve *A. ponderosa* présente une grande abondance de cistacées (*Cistus ladanifer* et *Cistus crispus*) et quelques fois l'association paraît s'établir directement avec ces arbustes ou arbrisseaux.



Cistus ladanifer
et *A. ponderosa*



Les sols

Amanita ponderosa se développe de préférence dans des sols tassés et compacts, pauvres et caillouteux, riches en argile. Elle préfère les pH peu acides. [par contre *Amanita curtipes* préfère les sols sableux à structure légère et filtrante.]



A. ponderosa et sol caillouteux

Facteurs climatiques

Amanita ponderosa, à tendance xero-thermophile, fructifie dans des régions au climat chaud et sec, avec une précipitation moyenne annuelle proche des 500 mm et des pluies concentrées pendant la saison froide. Elle supporte bien les grandes amplitudes thermiques diurnes et annuelles, avec des hivers rigoureux et des étés très chauds.

La période de fructification s'étend de Février à Avril, pouvant se manifester exceptionnellement en automne. Le mois de productivité maximale est Mars. Pendant l'inventaire effectué dans une parcelle de trois hectares, au Parque Natural de Aracena y Picos de Aronche, dans un montado de chêne-vert (*Quercus rotundifolia*), la période de fructification était de 6 à 8 semaines, avec le début en Février, quand les températures enregistraient une petite remontée, et allant jusqu'en Avril, quand l'humidité du sol était suffisante. La productivité et la durée de la période de fructification paraissent nettement dépendantes de la pluviosité et des températures (Daza et al. 2007).

La même relation entre la durée de la période de fructification et les conditions climatiques observées, surtout avec l'occurrence des précipitations de la semaine, a été rapportée dans un inventaire réalisé dans une parcelle de 720 m² en Cabeço de Mouro – Rosmanihal (Portugal), pendant quatre ans (2006 à 2009).

La production s'étendait en moyenne tout au long de 7 semaines, avec début pendant la première semaine de Mars (Henriques 2010).

Pendant la période de fructification il a été observée une relation entre le nombre de carpophores et la température du sol, avec un décalage qui peut être en relation avec le temps nécessaire pour que l'effet température se manifeste au niveau du développement mycélien. Le temps nécessaire pour le développement du champignon depuis l'état d'œuf jusqu'au stade complètement ouvert est de 3 à 7 jours, en fonction surtout de l'humidité du sol. Le poids frais moyen par exemplaire est de 48 g mais peut atteindre les 300g, avec des chapeaux de 12-14 cm de diamètre (Daza et al. 2007).

Pour garantir une production continue pendant le cycle de fructification, si le sol ne possède pas des réserves hydriques accumulées, il semble nécessaire d'avoir des précipitations d'environ 15 mm tous les quinze jours, pendant les trois semaines précédant l'apparition des carpophores.

La productivité vérifiée sur un an est en relation avec la précipitation régulière tous les 15 jours, d'environ 20 mm, dès la moitié février jusqu'à fin avril.

De plus, les températures moyennes inférieures à 12°C, pendant la fructification, tout en réduisant les pertes d'eau du sol par évaporation, peuvent influencer la durée de la période de production (Henriques 2010).



Mycologues sur une parcelle du réseau Micosylva

Succession mycologique/cortège fongique

Amanita ponderosa établit des associations symbiotiques avec des arbres qui constituent les peuplements très étendus et à faible densité qui caractérisent les "montado".

Les plantations « montado » héberge une diversité élevée en champignons, parmi lesquels beaucoup établissent des relations de symbiose avec des espèces végétaux. La communauté de champignons est composée presque exclusivement par décomposeurs et symbiontes, dans des proportions très semblables.

Parmi les familles les plus représentées on trouve les *Tricholomataceae*, *Agaricaceae* et *Russulaceae*. La richesse spécifique de champignons varie selon l'âge et couverture du peuplement, pouvant atteindre plus de 150 espèces (Calado et al, 2009; Louro et al, 2009; Santos-Silva et al, 2011; Louro et al, 2011).



Peu d'études ont été réalisées au niveau local dans des écosystèmes occupées exclusivement par des arbustes méditerranéens. Comme exemple, 41 espèces de champignons ont été rapportées dans une parcelle (250 m²/ 3 ans) dominée par *Cistus ladanifer* (FLM, 2007).

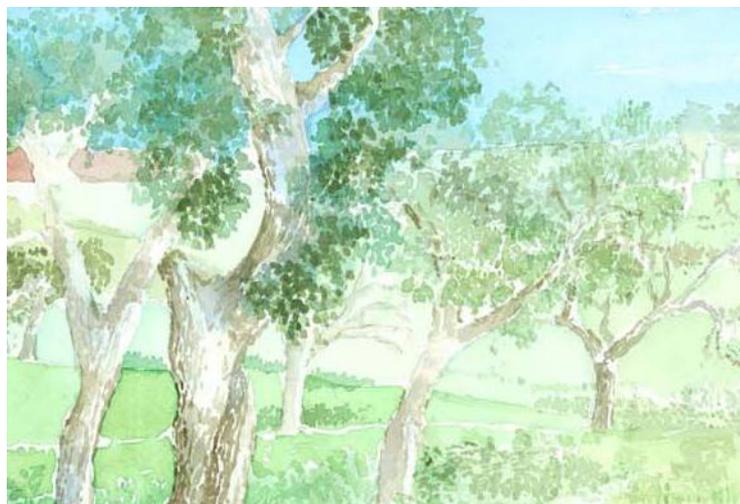
Quelques espèces mycorhiziennes de la mycocenose des montado, près de Mertola (Monte vento) : *Pisolithus tinctorius*, *Amanita caesaera*, *Terfezia arenaria*, *Choiromyces gangliformis*.



Facteurs associés au peuplement

Amanita ponderosa est une espèce héliophile présentant ses fructifications concentrées à la périphérie des aires productives, connues comme "cales" au Portugal et "taches" ou "ojeros" en Espagne. Ces "cales", formés normalement par des groupements de plusieurs arbres hôtes proches ou dans les immédiats des affleurements rocheux qu'empêchent les travaux de nettoyage des bois, favorisent son développement. Ils peuvent fonctionner comme « aires de protection » du mycélium et des mycorhizes, avec un rôle important dans l'accumulation de la matière organique et dans la réduction de l'évaporation de l'eau du sol. Par contre, si la densité de la végétation est très élevée ils peuvent influencer négativement la productivité.

L'exploitation extensive typique du « montado » favorise le développement de ces « aires de protection ou de conservation » et peuvent être un des facteurs qui explique la production élevée et durable de cette espèce.



*Photo : une valorisation typique des montado, l'élevage ovin, compatible avec la production d' *A. ponderosa**

5-Production

L'espèce établie des associations symbiotiques dans des zones avec une faible densité arbustive. La faible évolution spatiale des zones de fructification, tant dans la forme qu' en surface, au long des années, suggère que la croissance du mycélium de cette espèce soit un processus très lent dans la nature (Daza et al., 2007).

Daza et al. (2007) dans l'inventaire effectué entre 2001 et 2006 ont obtenu une production maximale de 36 Kg en 2004 et un minimum de 1 Kg pendant 2005 (donnés par hectare?)

Pendant l'inventaire référencé précédemment à Cabeço de Mouro, la production moyenne a été 35 Kg par hectare, avec un maximum de 93 Kg en 2006 et un minimum de 0,042 Kg en 2009. Les fluctuations de productivité rapportées semblent plus en relation avec les variations des conditions climatiques, surtout la quantité et distribution des pluies pendant les mois de février à avril que à des phénomènes de safra et contra-safra (Henriques, 2010).

*Une production d'*A.ponderosa* qui justifie une gestion adaptée*

Peu d'études ont été réalisées au niveau local dans des écosystèmes occupées exclusivement par des arbustes méditerranéens. Comme exemple, 41 espèces de champignons ont été rapportées dans une parcelle (250 m²/ 3 ans) dominée par *Cistus ladanifer* (FLM, 2007).

Les différences des valeurs de productivité trouvées entre les deux études peuvent être en relation avec la densité des peuplements. Daza et al. (2007) ont étudié une parcelle de 3 hectares, avec une densité de 55-60 chênes-verts par hectare, mais on ne dispose pas des données relatives à la densité dans la parcelle de Cabeço de Mouro. Le dernier réfère que le sol n'as pas subi des travaux.



Petite récolte d'*A.ponderosa* et de *Choiromyces gangliformis* (Monte vento)

6-Impact de la Gestion des montado sur la productivité d'*Amanita ponderosa*

Les récolteurs qui traditionnellement récoltent *A. ponderosa*, sont convaincus qu'il n'y a pas de diminution de production due à la pression de récolte. Aussi les données récoltées par Daza et al. (2007) et Henriques (2010) montrent que la récolte, si effectuée par les méthodes traditionnelles, en utilisant des instruments permettant d'enlever les champignons sans trop mélanger le sol autour, ne paraît pas affecter la productivité. Mais, des études approfondies sur des aires délimitées, de manière à évaluer l'impact de la récolte, devront être établies.

La fructification profonde de *Amanita ponderosa*, son apparition pendant le printemps de façon à éviter les températures extrêmes et la lente évolution des zones productives, suggèrent que la croissance mycélienne de cette espèce est très lente dans la nature, ce qui donne un caractère fondamental à l'application des « bonnes pratiques de récolte » tenant en compte de la préservation du mycélium et des mycorhizes. Ces bonnes pratiques incluent l'utilisation d'outils adéquats qui permettent de prélever aisément le champignon tout en recouvrant immédiatement les trous, pour éviter l'exposition directe du mycélium et racines mycorhizées à l'air et soleil.

Le stade de développement du champignon doit également être pris en compte. Les collecteurs préfèrent récolter des exemplaires jeunes à l'état d'œuf quand le chapeau n'est pas encore ouvert, en prétextant en particulier une meilleure conservation à ce stade. Cependant, cette espèce est peu parasitée et un exemplaire avec le chapeau complètement ouvert peut se maintenir en bonnes conditions pendant plusieurs jours. Il serait ainsi recommandable de récolter plutôt des exemplaires bien développées, plus faciles à détecter.

Si on pense à la gestion sylvicole il doit être légitime d'affirmer que la gestion typique de "montado", avec une faible périodicité des travaux du sol et d'élagages et l'entrée du bétail en dehors de l'époque de fructification semblent compatibles avec la production de cette espèce. Daza et al. (2007) ont enregistré une augmentation de la productivité un an après des travaux du sol. Il est possible que les travaux du sol favorisent l'infiltration de l'eau et l'aération, ceci ayant un effet positif. Cependant, l'augmentation de productivité en *A. ponderosa* suite à un travail du sol ne soit pas durable. En effet, Il est souvent démontré que le travail du sol par traumatisme racinaire, a un impact positif immédiat (à court terme) sur la fructification de beaucoup de champignons (comme les Bolets et bolet bai-*Xerocomus badius*- par exemple).

Par contre cet effet n'est pas durable et souvent s'accompagne d'une nette chute de production dans les années suivantes !) . Quoiqu'il en soit, la productivité observée par Daza est inférieure à celle observée dans des parcelles ne connaissant aucune intervention (Henriques, 2010).

Ainsi, il est fondamental que les avantages/désavantages des travaux du sol soient évalués cas par cas, avec une tendance à respecter une faible périodicité des interventions (4 à 5 ans) et des interventions mécanisées adaptées comprenant des disques superficiels et alternativement un simple débroussaillage. Pendant la réalisation des élagages sanitaires ou en vue l'augmentation de la production de glands il est nécessaire de respecter des « aires de protection » sur lesquelles éviter le passage des machines agricoles. Le pâturage doit être permis seulement en dehors de l'époque de fructification, pendant les mois de Janvier à Mai. Le pâturage extensif ou agro sylvo-pastoralisme peut d'ailleurs être un élément bénéfique au fonctionnement de l'écosystème, par fertilisation modérée voire peu concentrée. Cela améliore le turn over de la matière organique dans des écosystèmes déjà pauvre et de type oligotrophe. Cependant, un équilibre doit être trouvé car *Amanita ponderosa* ne doit pas supporter de trop gros niveaux de fumure azotée ou phosphorique.



Photo : un travail du sol malheureusement souvent trop profond et trop proche des arbres et ne respectant donc pas un périmètre de conservation des systèmes racinaires. Une pratique à changer impérativement.

La protection des aires de production d'*Amanita ponderosa* passe aussi par la valorisation des ressources au niveau régional, de façon à ce qu'il soit possible de contrebalancer (grâce à des arguments économiques en plus des arguments écologiques trop peu entendus !) la pression causée par la double exploitation des « montados », par exemple, avec des cultures céréalières (cf.Photo ci-dessus)



Des modèles de gestion sylvicole adaptés aux écosystèmes méditerranéens extensifs de la Péninsule Ibérique, tenant en compte la production de champignons, sont rares ou presque inexistantes. Le modèle étudié par la Province de Soria en Castilla Y Leon travaille à la définition des bons équilibres entre exploitation du bois, pression de l'élevage et valorisation commerciale et mycotouristique des champignons comestibles.

Toujours en Espagne et pour résoudre le problème de la récolte excessive de champignons la Comunidad Autonome de Andalusia a développé le Plan CUSSTA (Plan de Conservation et d'utilisation durable de champignons et truffes de l'Andalusia). Les priorités sont : la conservation des espèces et des habitats ; l'utilisation sociale soutenable basée sur l'utilisation publique et le développement du mycotourisme; la régulation des usages avec la participation sociale d'accord avec la réalité environnementale et sociale ; recherche pour la gestion, inventaire des champignons, productivité, profit et viabilité de la mycorhization.

Les avantages de la constitution d'associations privées pour la gestion des ressources mycologiques naturelles, comme *Amanita ponderosa*, n'ont pas profité à la majorité de la population portugaise.

Donner le droit d'exploitation de la ressource à une association permettrait qu'il existe ainsi une organisation qui ait la responsabilité de sa gestion, dans un contexte de fragilisation des écosystèmes. Une régulation de l'exploitation de la ressource conduirait à modifier les pratiques de récoltes non encadrées et non déclarées, à faire reconnaître cette production au même titre que d'autres productions des montado et ainsi à fonder un travail visant à une gestion multifonctionnelle de ces espaces. Cette gestion multifonctionnelle devrait intégrer la ressource en champignons comestibles.

Pour conclure enfin , rappelons qu'une gestion véritable de la ressource en champignons comestibles s'intègre dans une gestion plus globale de l'ensemble des communautés fongiques, des sols et des systèmes racinaires d'arbres. Les chênes verts et chênes liège ont été fragilisés au fil du temps par des pratiques agricoles qui méconnaissent justement le fonctionnement des systèmes racinaires.

Une mycosylviculture adaptée est nécessaire pour la préservation autant que pour la valorisation des montado du Portugal.

Références bibliographiques :

Calado, M., Louro, R. & Santos-Silva, C. (2009). Influence of different management practices in the macrofungal communities of a cork oak stand after an extended drought period, in Southern Portugal. *Boletín de la Sociedad Micológica de Madrid*, **33**: 237-253.

Daza A., Camacho M., Romero de la Osa L., Manjón J.L., Moreno G., Santamaría C. (2007). Distribución espacial de la frutificación del hongo ECM comestible *Amanita ponderosa* Malençon & R. Heim durante seis años consecutivos en un encinar adeshjado de la Sierra de Aracena (Huelva). *Investigación Agraria: Sistemas Y Recursos Florestales*, **16**: 89-94.

FLM (2007). Estudo e Avaliação dos Macrofungos e *Asparagus* spp. no Parque de Natureza de Noudar. (2005/2007) – Relatório elaborado para EDIA.

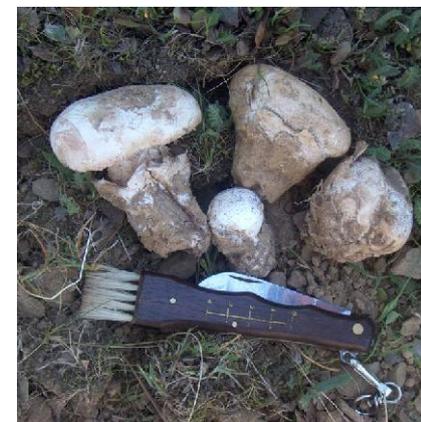
Guinberteau J., Olivier J.M., Machado H. & Nogueira T. (1993). Observations sur la flore fongique des suberaies (*Quercus suber*) au sud du Portugal, en relation avec les systèmes agro-pastoraux et les phénomènes de dépérissement. Résultats sur la mycorhization contrôlée de *Quercus suber*. Rapport d'études, 16 pages + 5 planches couleur. Projet CAMAR (Improvement of quality and productivity of Cork Oak ecosystem / CAMAR Contract 8001 CT 91.0111)

Henriques J.L.G. (2010). Produção de tortulhos (*Amanita ponderosa*) na área do Parque Natural do Tejo Internacional. Avaliação da capacidade produtiva do campo de Cabeço de Mouro (Rosmaninhal – Idanha a Nova). DRAPC, 68 pág.

Louro, R., Calado, M., Pinto, B. & Santos-Silva, C. (2009). Epigeous Macrofungi of the Parque de Natureza de Noudar in Alentejo (Portugal). *Mycotaxon*, **107**: 49-52.

Louro, R., Alpizar-Jara, R. & Santos-Silva, C. (2011). Biotic and abiotic factors affecting macrofungal richness in holm oak stands of Southern Portugal. *Mycologia*. (submitted).

Malençon & R. Heim (1942). *Amanita ponderosa* Malençon & R. Heim, Bull. Trimestriel Soc. Mycol. France **58**: 28.



La Mycosylviculture

Chapitre 3 : diagnostics mycosylvicoles à l'échelle parcelle

Ce document est réalisé dans le cadre du projet Micosylva. Micosylva est un projet scientifique et technique européen cofinancé par des aides FEDER-INTERREG. L'objectif est de promouvoir en Europe une gestion multifonctionnelle et durable des forêts qui intègre et valorise les fonctions écologiques et socio-économiques des champignons sylvestres comestibles. Afin de réaliser ce projet, sur la base d'une coopération entre 8 partenaires, espagnols, français et portugais, un réseau de 18 zones myco-sylvodémonstratives a été mis en place dans le sudouest de l'Europe (appelé aussi espace SUDOE). Fort de ce réseau de référence, la finalité du projet est de construire durablement dans l'espace SUDOE, une stratégie commune de préservation des écosystèmes forestiers tout en montrant le rôle essentiel des champignons.

Coordination :

Jean Rondet et Fernando Martinez Peña

Auteurs du chapitre 3 :

Anaïs Zimmerlin – Chambre d'Agriculture Hautes-Pyrénées, France

Thomas Borderie – Chambre d'Agriculture Hautes-Pyrénées

Nathalie Seegers – Chambre Agriculture Dordogne, France

Vincent Pontois – ONF Hautes-Pyrénées

Laurent Rigou – CACG Tarbes, France

Guillaume Arlande – Pyrénées cartographie, France

Jean Rondet – EPLEFPA Vic, France

Jacques Guinberteau – INRA Bordeaux, France

Avec la collaboration de :

Gilles Corriol – Conservatoire Botanique National des Pyrénées et Midi-Pyrénées, France

Carole Hannoire – CBNPMP

Laurent Larrieu – INRA Toulouse/CRPF

Dessins, aquarelles :

Jean Rondet et Françoise Boutet

Sommaire



Chapitre 3 : Diagnostics parcelles
à l'échelle parcelle.

LA DEMARCHE	4
TAILLIS SOUS FUTAIE	8
HÊTRAIE-SAPINIERE, FUTAIE JARDINEE	10
SAPINIERE-HÊTRAIE	12
PESSIÈRE , FUTAIE REGULIERE	14
CHÊNAIE	16
CHËNAIE	18
TAILLIS SOUS-FUTAIE	20
VERGER DE CHÂTAIGNIERS	22

Diagnostic myco-sylvicole

à l'échelle parcelle

La démarche

Le diagnostic myco-sylvicole : une démarche globale pour étudier les potentialités d'un écosystème forestier et faire des propositions de gestion. La définition d'un plan de gestion d'un écosystème forestier suppose au préalable une définition claire des objectifs que nous avons pour cette forêt : Voulons-nous simplement produire des champignons ? Ou bien du bois et des champignons ? En préservant une biodiversité intéressante ?

L'approche myco-sylvicole propose de s'intéresser à une gestion globale qui intègre ces trois objectifs, la préservation de la biodiversité pouvant être considérée comme une condition de la durabilité des productions des quelques espèces d'arbres et de champignons d'importance économique et sociale.

Pour établir des principes de gestion et définir les techniques à mettre en oeuvre pour opérer une telle gestion, un préalable est d'estimer le « potentiel myco-sylvicole » d'une forêt à travers une série d'analyse des composantes de l'écosystème. Cette série d'analyse constituera un « diagnostic mycosylvicole ». Cela revient à dire que ces analyses doivent permettre d'évaluer les « points forts » et les « points faibles » de l'écosystème du point de vue de sa capacité à accueillir la biodiversité et de sa capacité à produire du bois et/ou des champignons.

Quels sont les critères du diagnostic myco-sylvicole ?

A l'occasion du projet de coopération européenne Micosylva, des scientifiques et techniciens ont pu travailler ensemble

pour définir ces critères et proposer des méthodes pour les analyser. Ce travail a été fait à l'occasion d'études concrètes d'écosystèmes très différents.

L'aquarelle présentée ci-contre illustre un travail mené au Portugal, dans un peuplement de chênes verts producteurs de champignons comestibles et abritant par ailleurs une activité d'élevage.

Le même travail a été fait, dans le Sud-Ouest de la France en *Dordogne, Hautes-Pyrénées et Corrèze* sur les écosystèmes présentés dans les pages suivantes.

La comparaison des études menées sur un ensemble diversifié d'écosystèmes forestiers a conduit à définir quatre critères d'analyses et des propositions de gestion, généralisables et transposables à tous les cas concrets :

I. Diagnostic forestier : Historique, contexte socio-économique, état sanitaire, structure et gestion du peuplement.

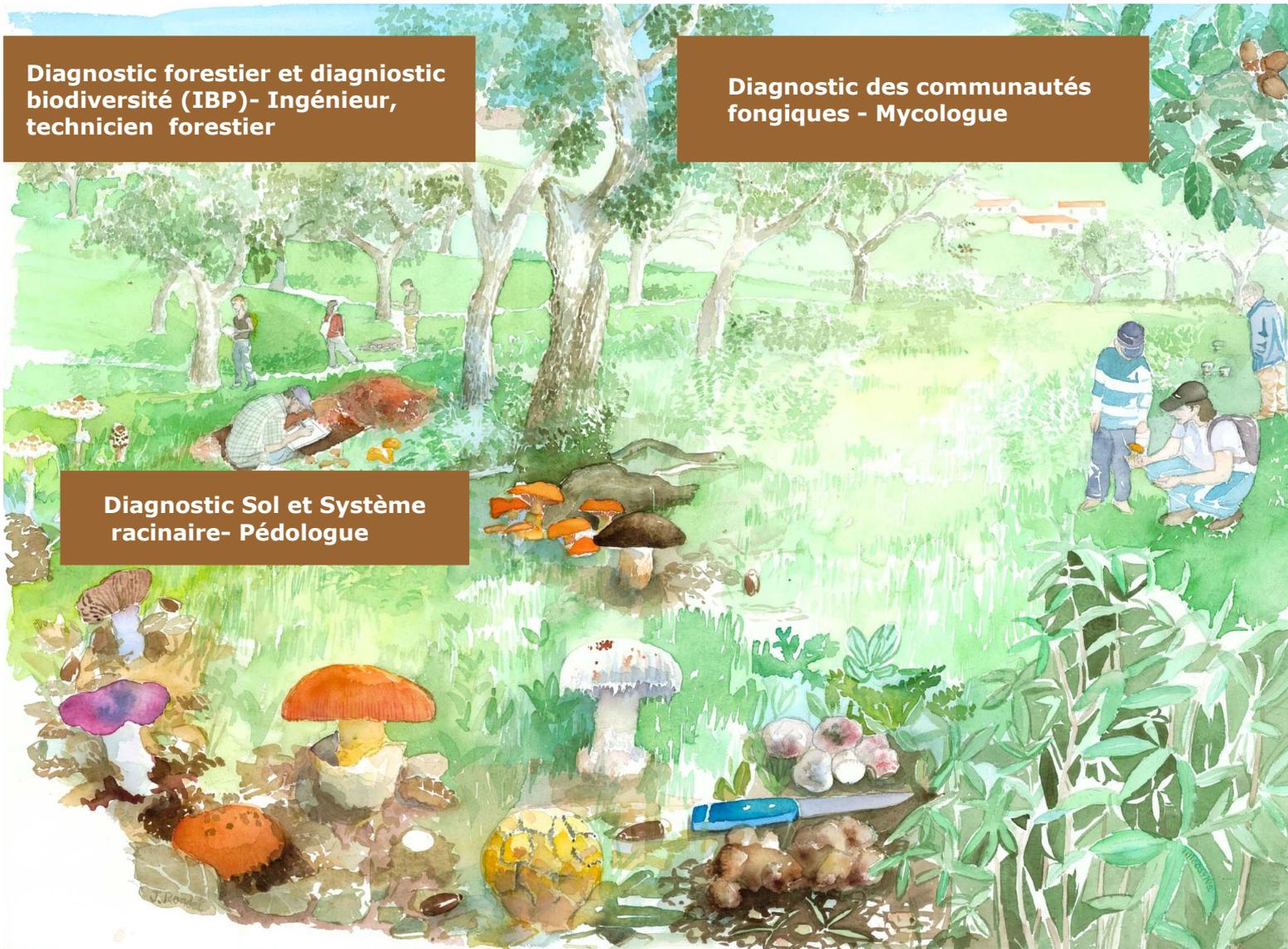
II. Diagnostic sol : Organisation, forme d'humus, niveau de fertilité, comportement hydrodynamique.

III. Diagnostic mycocoenologique : Etude des cortèges fongiques mycorhiziques, saprotrophes humicoles, saproxyliques et interprétation en relation avec le fonctionnement de l'écosystème.

IV. Diagnostic biodiversité et évaluation de la capacité d'accueil en biodiversité (utilisation de l'indice de biodiversité potentielle L.Larrieu et P.Gonin).

V. Propositions de gestion.

Sur la base de ce diagnostic global, le gestionnaire pourra décider d'une gestion adaptée.



Diagnostic forestier et diagnostic biodiversité (IBP)- Ingénieur, technicien forestier

Diagnostic des communautés fongiques - Mycologue

Diagnostic Sol et Système racinaire- Pédologue



Illustration d'un diagnostic myco-sylvicole, mené par un groupe franco-portugais constitué par des membres du réseau Micosylva. Le diagnostic a ici trois objectifs :

- *Mieux comprendre les causes du dépérissement des chênes verts et chênes liège du Sud du Portugal.*
- *Définir un mode de gestion qui assure une amélioration des peuplements et une meilleure valorisation des champignons comestibles (Amanita Ponderosa, Amanita Caesarea, Bolet Aerus, Terfezia arenaria, Choiromyces gangliformis).*
- *Proposer un modèle alternatif d'agro-système*

3 - Les outils du diagnostic myco-sylvicole

L'Inventaire pied à pied

L'inventaire «pied à pied» est réservé aux placettes Micosylva. Il répond à plusieurs objectifs :

- Etablir un diagnostic précis de la placette (état zéro) qui permettra à terme d'effectuer des suivis de l'évolution des peuplements (naturelle ou gestion forestière),
- Elaborer les outils pédagogiques nécessaires à la formation des gestionnaires et propriétaires forestiers (martelodrome),
- Permettre, au travers de l'outil cartographique, de localiser facilement divers éléments sur le terrain (régénération, carpophores), chaque arbre étant repéré individuellement,
- Décrire finement la topographie de la placette.

L'indice de biodiversité potentielle (IBP)

L'Indice de Biodiversité Potentielle (IBP), a été conçu par le CRPF Midi-Pyrénées (Larrieu et Gonin, 2009), afin de proposer un outil simple et rapide aux gestionnaires forestiers pour :

- Estimer la biodiversité potentielle du peuplement, c'est-à-dire sa capacité d'accueil en espèces et en communautés, sans préjuger de la biodiversité réellement présente qui ne pourrait être évaluée qu'avec des inventaires complexes, non opérationnels en routine.
- Diagnostiquer les facteurs améliorables par la gestion.

L'Analyse de sol

Les solums de chaque placette ont fait l'objet d'une analyse sur la base d'un diagnostic terrain et d'analyses en laboratoire. L'exploitation de ces données permet de décrire les caractéristiques physiques (notamment le comportement hydrodynamique) et chimiques des sols.

Le risque de toxicité à l'aluminium typique de certains sols acides ainsi que la teneur en phosphore ont été évaluées.

Le suivi des conditions météorologiques

Sur chaque placette, différents paramètres météorologiques (Température et Hygrométrie de l'air à 2m, Pluviométrie, Vent Rayonnement solaire, ETP, Humectation du sol à l'aide de tensiomètres) ont été mesurés et enregistrés sur toute la durée du projet.

Le suivi des conditions météorologiques est particulièrement important pour caractériser au mieux les facteurs qui conditionnent la croissance mycélienne et l'initiation fructifère, en amont des «pousses» de champignons.

L'humectation du sol permet également de mieux décrire le fonctionnement hydro-dynamique des sols.

L'Inventaire fonge/flore

En complément de relevés phytosociologiques, les inventaires mycologiques ont été réalisés sur la totalité de chaque placette, et dans tous les cas sur une surface minimale de 2000 m². Afin de repérer un maximum d'espèces, les échantillonnages ont été répartis sur toute la période du projet, et tous les substrats ont été examinés (sol, litière, bois morts au sol ou sur pied,...). L'inventaire fongique s'est focalisé sur les fructifications. Toutes les Agaricales (ss. lato) terricoles, les Aphylophorales terricoles (Ramaria, Cantharellus, hydnes...), les Gastéromycètes ont été inventoriés. Les Ascomycètes terricoles (non lichénisés) de plus de 1cm de diamètre ont également été étudiés. Les autres champignons ont été étudiés autant que possible.

Un indice d'intérêt des communautés fongiques saproxyliques est calculé pour chaque placette à partir d'un système de bioévaluation en cours de construction (Corriol, inédit).

Inventaire des champignons cibles : exemple des cèpes

L'inventaire des Cèpes s'est fait au travers de l'observation de leurs fructifications. Pour chaque carpophore, une série d'informations a été notée : la date de la récolte, le nombre de Cèpes et le poids total de la récolte, la localisation individuelle des Cèpes. Par la suite, ces informations ont été reportées sous SIG.



TAILLIS SOUS FUTAIE DES COTEAUX GASCONS

Placette de Marquerie

❶ - Historique, contexte socio-économique et gestion du peuplement

Placette subdivisée en trois entités aux précédents culturels différents : une ancienne vigne, une ancienne châtaigneraie à fruits et un taillis issu du boisement spontané de terre agricole après guerre. Le peuplement est donc relativement jeune, sain, principalement composé de Chêne pédonculé (35%), de Châtaignier (28%), de Hêtre (20%), et de Merisier (9%). Les objectifs assignés à la parcelle par le propriétaire sont la production de bois de chauffage et la production de cèpes. La récolte est estimée à plus de 10 kg/ha.

❷ - Le sol : caractéristiques physiques et chimiques

Le sol de cette placette est un BRUNISOL, avec un humus de bonne qualité de type MESOMULL, qui ne semble pas présenter de risque de lessivage important. L'enracinement est observé en horizon de surface et médian, avec une proportion plus importante de racines fines entre 0 et 20 cm. A cette profondeur, un horizon plus imperméable entraîne une circulation latérale d'eau après les pluies. L'activité biologique est intense, on observe de nombreux turricules de vers anéciques.

❸ - La diversité fongique

Les trois sous-placettes montrent des similitudes à travers la composition de leurs communautés fongiques :

- Communautés ectomycorhiziques diversifiées, notamment en Russulacées, avec des espèces thermophiles. Les Cèpes (*Boletus aerus*, *B. estivalis*) ont une bonne place dans la communauté des champignons ectomycorhiziens.
- Communautés saproxyliques assez diversifiées, liés à la relative abondance et diversité des petits bois morts de feuillus, avec quelques

espèces peu fréquentes et un cortège d'espèces thermophiles ;

- Communautés sapro-humicoles peu diversifiées. On remarquera que le cortège en espèces ectomycorhiziques est nettement plus diversifié que celui des saprotrophes humicoles sur les trois sous-placettes. Cette observation est en relation avec la jeunesse de ces peuplements et l'hypothèse de diminution du spectre biologique avec la maturation forestière.
- L'exemple montre qu'une bonne diversité fongique est compatible avec une production intéressante de Cèpes.

❹ - Diversité floristique, habitat et biodiversité potentielle

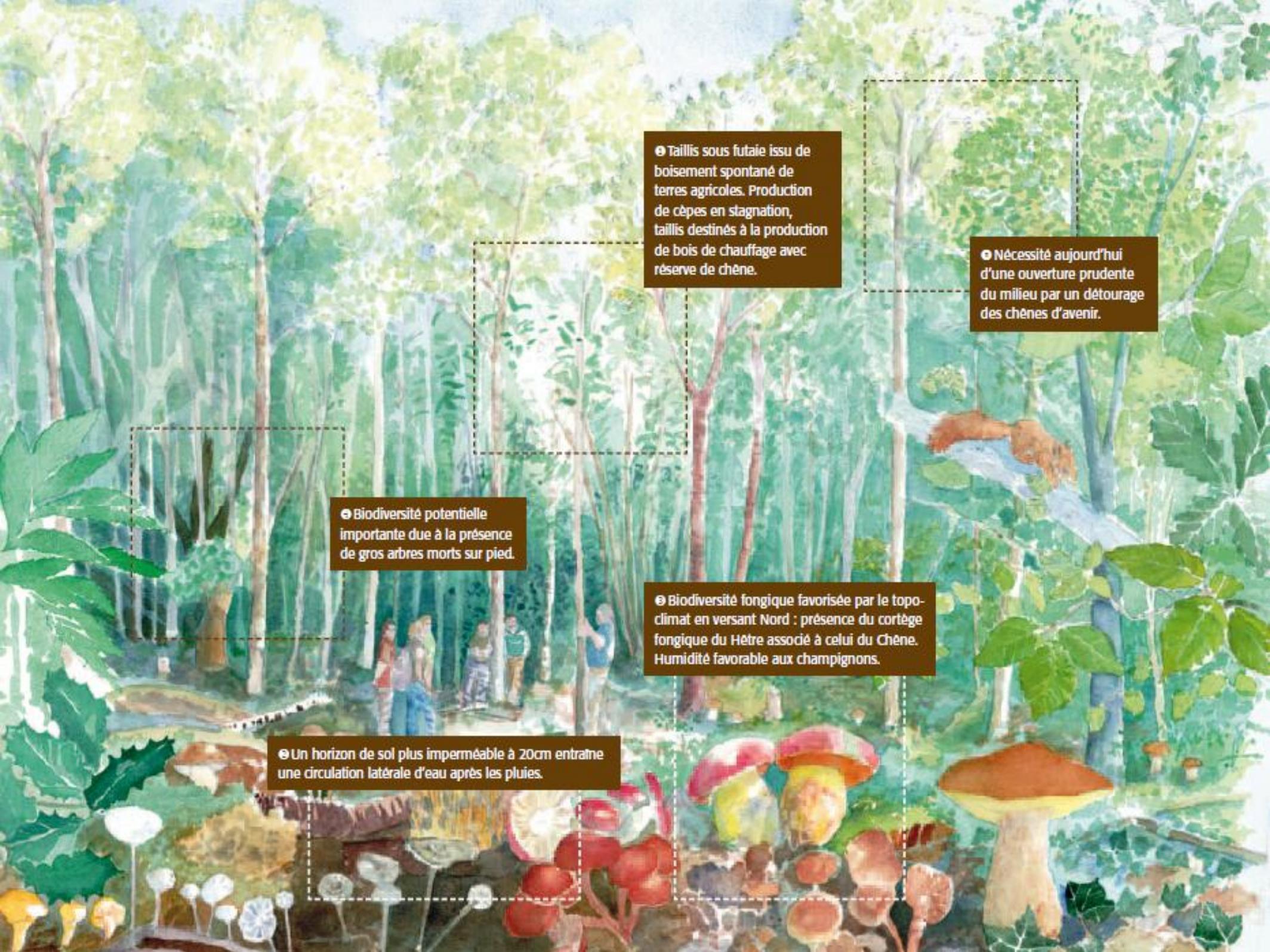
On observe sur la placette :

- Un mélange d'espèces thermophiles, acidiphiles et neutrophiles : Alisier torminal, Garance voyageuse.
- Un peuplement jeune : présence d'espèces post-pionnières comme le Tremble et d'herbacées d'ourlet.
- Une biodiversité potentielle plus importante sur la partie « ancienne châtaigneraie ».

❺ - Propositions de gestion

Sur cette parcelle, il serait nécessaire de créer plusieurs zones favorables aux cèpes, valoriser les essences et les sujets d'avenir, conserver une hétérogénéité du peuplement et d'augmenter les supports de biodiversité.

Le « détournement » permet de répondre à ces recommandations. Cette technique consiste à choisir des arbres « objectifs » (destinés à produire du bois de qualité) et à ne supprimer que leurs seuls concurrents co-dominants. Ces ouvertures, une fois créées, vont ainsi permettre de réunir des conditions climatiques favorables à la pousse de Cèpes.



● Taillis sous futaie issu de boisement spontané de terres agricoles. Production de cèpes en stagnation, taillis destinés à la production de bois de chauffage avec réserve de chêne.

● Nécessité aujourd'hui d'une ouverture prudente du milieu par un détourage des chênes d'avenir.

● Biodiversité potentielle importante due à la présence de gros arbres morts sur pied.

● Biodiversité fongique favorisée par le topoclimat en versant Nord : présence du cortège fongique du Hêtre associé à celui du Chêne. Humidité favorable aux champignons.

● Un horizon de sol plus imperméable à 20cm entraîne une circulation latérale d'eau après les pluies.

HÊTRAIE-SAPINIÈRE COMMUNALE

Placette de Bagnères de Bigorre

❶ - Historique, contexte socio-économique et gestion du peuplement

Hêtraie-Sapinière montagnarde irrégulière à gros bois dominants. Le peuplement est co-dominé par le sapin (50%) et le hêtre (49%). Le houx, le sureau noir et le saule ne sont présents qu'à l'état de semis (0.4%). La placette se trouve dans la forêt communale de Bagnères-de-Bigorre, soumise à un plan d'aménagement géré par l'Office National des Forêts, avec pour objectif la production de bois d'œuvre et d'industrie. La récolte de cèpes est estimée à environ 10 kg/ha. La stratification est satisfaisante, l'encombrement est présent dans toutes les strates.

❷ - Le sol : caractéristiques physiques et chimiques

L'humus est de qualité moyenne, le sol est acide à hyper-acide et dans un état de fragilité chimique élevé. La protection de la surface du sol est essentielle. La fertilité physique est bonne, la prospection racinaire se fait sans difficulté jusqu'à 40 cm de profondeur. La forte porosité engendre une forte perméabilité et donc un fort drainage vertical, susceptible d'entraîner un lessivage jusqu'à 1.60m de profondeur. Un risque de toxicité aluminique existe en sol acide, limitant la nutrition des arbres.

❸ - La diversité fongique (d'après Coriol et Hannoire, 2010)

Communautés ectomycorhiziques : Les relevés probablement assez représentatifs montrent un cortège typiquement montagnard de la hêtraie sapinière. Certains genres sont très peu représentés. Deux facteurs fondamentaux peuvent expliquer ce résultat : d'une part l'acidité du terrain qui élimine les vastes cortèges calcicoles, et d'autre part les maigres poussées de fin de saison qui n'ont pas permis la pleine expression de ces deux genres dont la fructification est assez tardive.

Communautés sapro-humicoles : Le cortège des humicoles, assez peu diversifié, peut être mis en relation avec la jeunesse de cette forêt (et donc de son humus), et au faible nombre d'essences accompagnatrices représentées (0.4% houx, hêtre et saule en proportions égales).

Communautés saproxyliques : On observe une certaine diversité d'espèces, dont quelques espèces un peu exigeantes en termes de ressource en substrats. Ces observations sont à mettre en relation avec la présence effective de bois mort sous forme de souches et fragments de branches.

❹ - Biodiversité potentielle

La biodiversité potentielle est principalement liée à la bonne structure verticale et une répartition assez homogène des espaces ouverts. Les gros arbres et arbres porteurs de micro-habitat contribuent largement à cette biodiversité potentielle.

❺ - Propositions de gestion

La placette est située dans un massif qui fait l'objet d'une étude méthodologique permettant d'appréhender la spatialisation des zones favorables à la pousse de cèpes. Le diagnostic de ce massif permet de proposer une évolution générale des pratiques pour favoriser la fonction écologique et économique de champignons. Plus particulièrement pour cette placette, les préconisations sont :

- Protéger les tâches de semis : assurer la régénération et créer des habitats favorables aux Cèpes,
- Maintenir des zones d'ouverture,
- Garder des arbres morts sur pied et au sol.

● Hêtraie-sapinière acidiphile, montagnarde atlantique du versant Nord des Pyrénées. Forêt communale soumise à un plan d'aménagement avec débouché bois d'œuvre et d'industrie.

● Biodiversité potentielle assurée par la structure verticale et la présence d'arbres de gros diamètres. Manque cependant de très gros bois.

● Favoriser la biodiversité des essences en protégeant les semis des essences d'accompagnement et les semis de sapins pectinés. Conserver au sol dans la parcelle les bois morts. Laisser quelques arbres évoluer vers des très gros diamètres.

● Cortège ectomycorhizien assez riche associant le cortège fongique du Hêtre et celui du sapin pectiné.

● Sol acide à hyper-acide. La fertilité repose essentiellement sur les horizons organiques de surface qui sont donc à protéger.

SAPINIÈRE-HÊTRAIE PRIVÉE

Placette du Mouné à Hèches

❶ - Historique, contexte socio-économique et gestion du peuplement

Sapinière-Hêtraie montagnarde irrégulière par bouquet à petit bois dominant. Le peuplement est composé du Sapin pectiné (91%) et du Hêtre (7%). Il comporte une très faible proportion d'espèces annexes : 2% de bouleau pubescent et de Houx. La stratification est satisfaisante, l'encombrement est présent dans toutes les strates. La placette se trouve au sein d'un groupement forestier qui possède un plan simple de gestion depuis 1978 : production de bois d'œuvre et bois de chauffage. La placette fait l'objet de mesure de préservation des sols depuis 2007. 14 kg de Cèpes (*Boletus Edulis*) ont été récoltés en 2010 sur 0.6 ha. Cette quantité ne correspond qu'à une partie de la production effective de la parcelle, l'autre partie échappant au suivi. On estime que la production moyenne se situe entre 30 et 60 kg/ha.

❷ - Le sol : caractéristiques physiques et chimiques

Le contexte pédologique de cette placette est très particulier. Le sol de cette placette est en cours de podzolisation. L'humus est en déséquilibre, avec une faible activité biologique. La minéralisation est quant à elle bloquée. Le sol est pauvre en éléments nutritifs : le stock est essentiellement contenu dans les arbres.

❸ - La diversité fongique

La présence de deux essences à riche cortège ectomycorhizique (*Fagus sylvatica* et *Abies alba*) offre un potentiel important. Le cortège relevé est, sur deux relevés, assez peu diversifié mais bien typique des sapinières hêtraie hyper-acidiphiles. La forte acidité de la station est quant à elle moins favorable à une très forte diversification des cortèges ectomycorhiziques et saprotrophes humicoles. Elle peut permettre par

contre l'installation d'espèces spécialisées, que l'on retrouve dans les forêts résineuses hyperacidiphiles des Vaccinio – Piceetea. Une forte présence des cèpes (*B. edulis*) semble liée à la pauvreté des sols comme il a été observé dans de nombreuses situations. Les communautés saproxyliques, sont représentées par des espèces classiques pour la plupart, mais la présence de quelques espèces exigeantes en terme de ressource de bois mort (*Lentinellus castoreus*, *Ischnoderma resinosum*, *Ganoderma carnosum*, *Pluteus pouzarianus*) confèrent un indice élevé à cette placette.

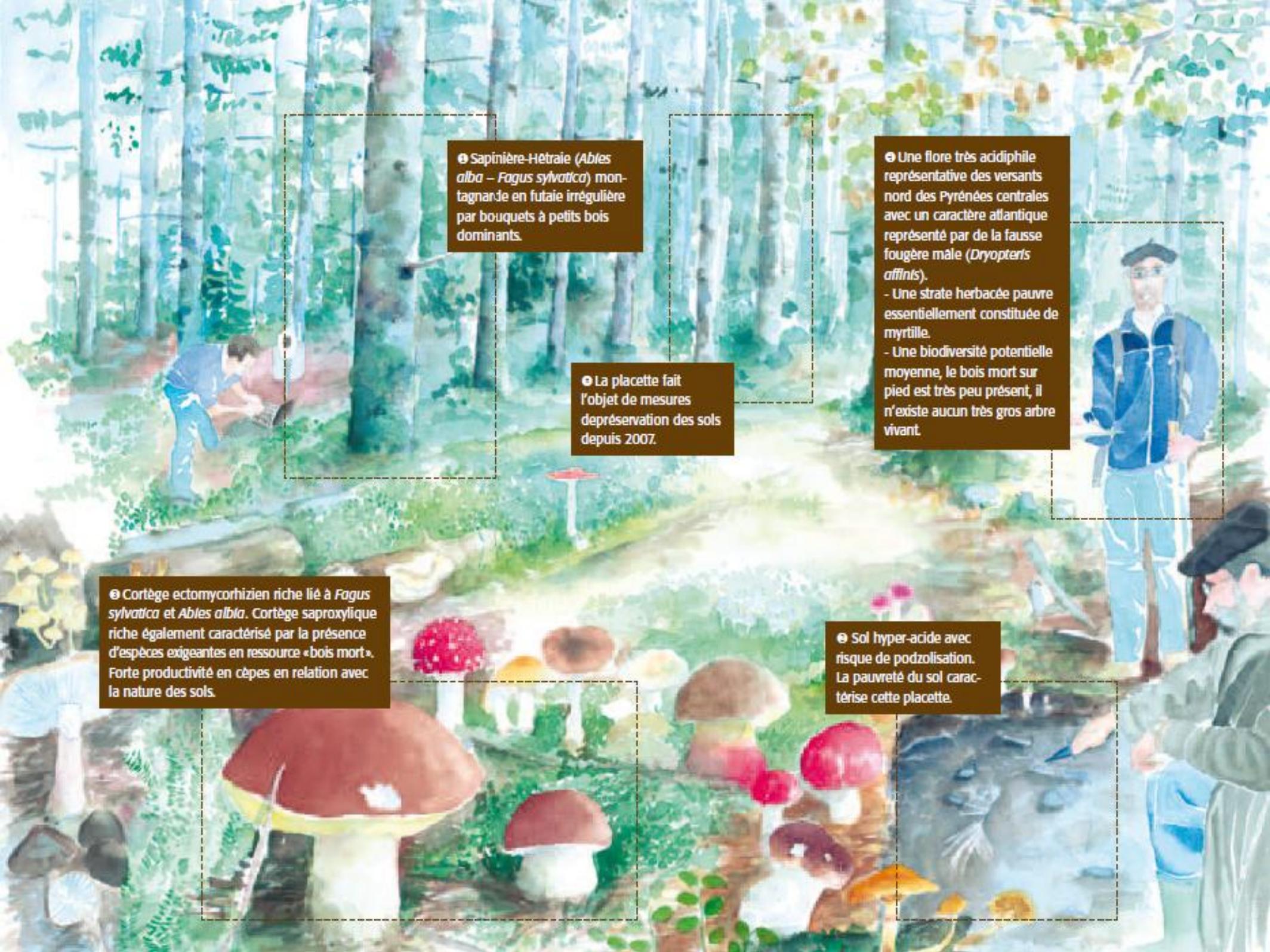
❹ - Biodiversité potentielle

L'indice de biodiversité potentielle est moyen. Bien qu'ayant une bonne structure verticale et de nombreux arbres porteurs de micro-habitats et quelques souches mortes au sol, le peuplement ne possède pas une grande diversité d'essence et peu de milieux ouverts. Les très gros bois et les bois morts sur pied sont absents. Toutefois, le peuplement est ancien et il renferme quelques supports rocheux.

❺ - Propositions de gestion

Les préconisations pour cette placette qui demande une gestion restauratrice des sols sont les suivantes :

- Conserver et favoriser les essences feuillues d'accompagnement : un mélange favorise un enrichissement de la litière et un meilleur fonctionnement de l'humus.
- Intervenir par dépressage dans les collectifs de bois de petit diamètre, par la technique du détournement et en laissant le produit de la coupe sur place : détournement des arbres d'avenir, ouverture prudente du milieu évitant une minéralisation forte de la litière, constitution d'habitats favorables pour les cèpes.



● Sapinière-Hêtraie (*Abies alba* – *Fagus sylvatica*) montagnarde en futaie irrégulière par bouquets à petits bois dominants.

● La placette fait l'objet de mesures de préservation des sols depuis 2007.

● Une flore très acidiphile représentative des versants nord des Pyrénées centrales avec un caractère atlantique représenté par de la fausse fougère mâle (*Dryopteris affinis*).

- Une strate herbacée pauvre essentiellement constituée de myrtille.
- Une biodiversité potentielle moyenne, le bois mort sur pied est très peu présent, il n'existe aucun très gros arbre vivant.

● Cortège ectomycorhizien riche lié à *Fagus sylvatica* et *Abies alba*. Cortège saproxylique riche également caractérisé par la présence d'espèces exigeantes en ressource « bois mort ». Forte productivité en cèpes en relation avec la nature des sols.

● Sol hyper-acide avec risque de podzolisation. La pauvreté du sol caractérise cette placette.

PESSIÈRE MONTAGNARDE CORRÉZIENNE

Placette de Gourdon-Murat

❶ - Historique, contexte socio-économique et gestion du peuplement

La placette F-19-18A est une pessière (*Picea abies*) montagnarde en futaie régulière à petit bois dominant. Le peuplement est composé à 97% par l'Épicéa commun (*Picea abies*) et 3% par le Bouleau (*Betula sp.*). D'après le Plan Simple de Gestion, la parcelle forestière où se trouvent la placette Micosylva, était sur une ancienne lande boisée en Épicéas dans les années 70 (CRPF Limousin, 2006(A)). L'objectif de gestion de la placette est orienté vers la production de bois de billon à palette et de papeterie.

❷ - Le sol : caractéristiques physiques et chimiques

La succession d'horizons sans discontinuités marquées et présentant en outre des perméabilités élevées confère à ce sol une capacité de drainage interne importante. Il est probable que cette capacité de drainage s'étende jusqu'aux horizons de roche-mère non altérée, c'est à dire jusqu'à une profondeur de l'ordre de 70cm à 80cm. Enfin, la texture limite la capacité de rétention en eau ; associée avec une faible épaisseur totale des horizons facilement prospectés par les racines, il en résulte une faible réserve utile maximale. Le sol observé présente des contraintes chimiques fortes : pH acide, CEC faible, présence d'aluminium, complexe désaturé, C/N moyen à fort : le réservoir potentiel en éléments minéraux est réduit. Le fonctionnement biologique étant ralenti, les fournitures en éléments le sont également.

❸ - La diversité fongique (d'après Cortol et Hannotte, 2010)

Les communautés ectomycorhiziques, saprohumicoles et saproxyliques apparaissent très pauvres et constituées d'espèces

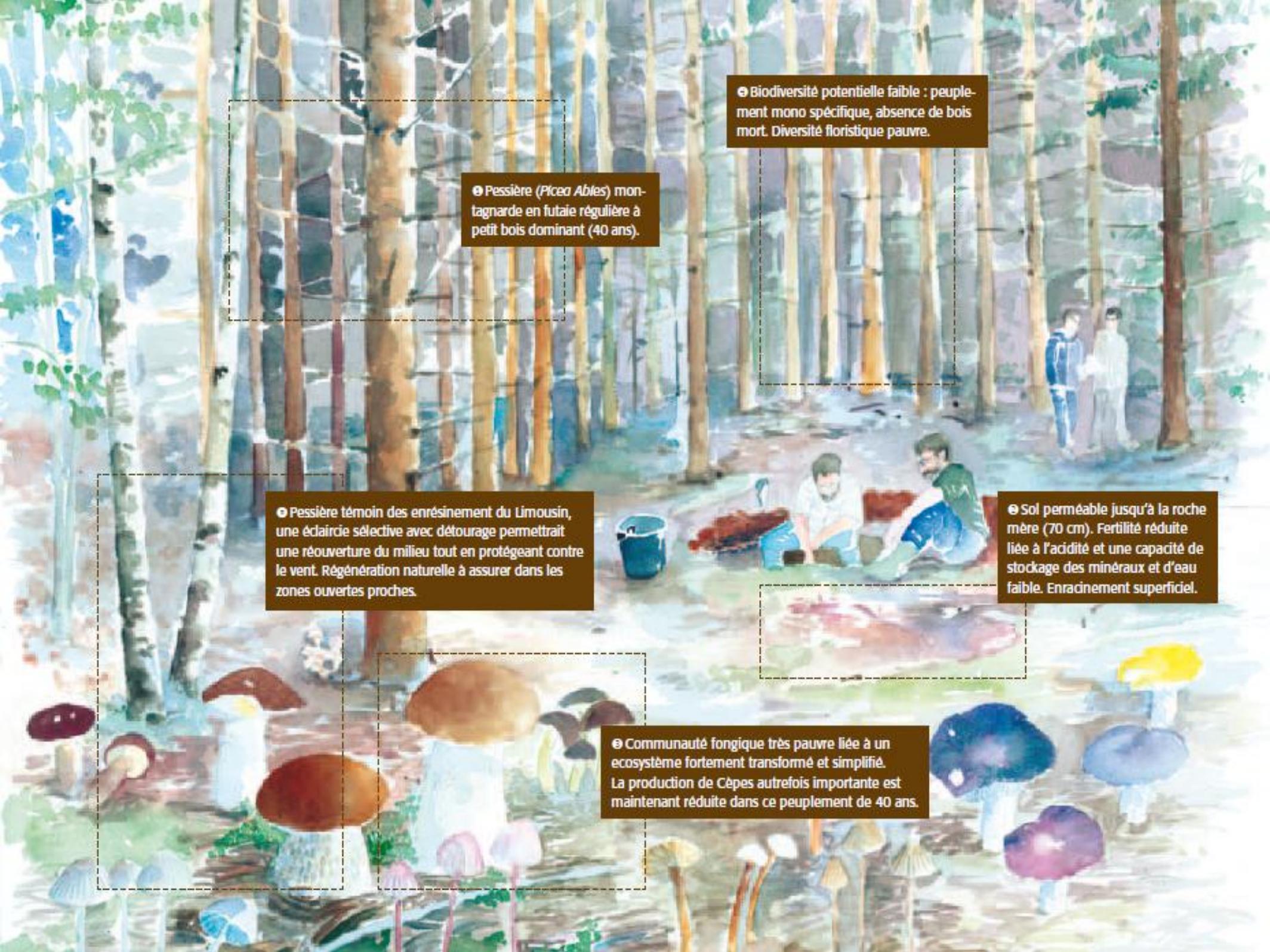
fort banales et ubiquistes, ce qui est peu étonnant au regard de l'écosystème fortement transformé et simplifié. Toutefois, il est probable que les relevés soient assez incomplets du fait des périodes de relevés qui ont été peu favorables et insuffisamment échelonnées dans le temps. Quelques espèces « exotiques » ici ont été introduites avec l'épicéa : les mycorhiziques *Lactarius aurantiofulvus* et *Russula mustellina* et le lignicole *Gloeophyllum sepiarium*.

❹ - Biodiversité potentielle

- Une diversité floristique pauvre : végétation acidiphile atlantique
- Présence sporadique d'essences ligneuses pionnières (Bouleaux, Sorbiers, ...).
- Des espèces herbacées assez peu forestières, présence d'espèces d'ourlets : Canche flexible (*Deschampsia flexuosa*), Fougère aigle (*Pteridium aquilinum*). Ce qui souligne le caractère jeune et pionnier de la forêt.
- Une capacité d'accueil en biodiversité faible.

❺ - Propositions de gestion

- Une éclaircie permettrait de retrouver un deuxième cycle de production de Cèpes.
- Le détournage peut favoriser la pousse de Cèpes et la croissance des arbres détournés tout en maintenant une protection contre le vent.
- Il semble intéressant d'accompagner une régénération naturelle, grâce à la diversité d'essences feuillues indigènes et d'essences résineuses présentes aux abords immédiats de la placette.



⊗ Biodiversité potentielle faible : peuplement mono spécifique, absence de bois mort. Diversité floristique pauvre.

⊗ Pessière (*Picea Abies*) montagnarde en futaie régulière à petit bois dominant (40 ans).

⊗ Pessière témoin des enrénements du Limousin, une éclaircie sélective avec détournage permettrait une réouverture du milieu tout en protégeant contre le vent. Régénération naturelle à assurer dans les zones ouvertes proches.

⊗ Sol perméable jusqu'à la roche mère (70 cm). Fertilité réduite liée à l'acidité et une capacité de stockage des minéraux et d'eau faible. Enracinement superficiel.

⊗ Communauté fongique très pauvre liée à un écosystème fortement transformé et simplifié. La production de Cèpes autrefois importante est maintenant réduite dans ce peuplement de 40 ans.

LA CHÊNAIE

du massif Double Landais

❶ - Historique et gestion du peuplement

Futaie régulière de chênes pédonculés en mélange avec des feuillus précieux (alisier torminal, merisier). Le peuplement est en cours de transition entre la futaie jeune et la futaie adulte. **Surface** : 0 ha 75. **Densité** : 339 tiges/ha. Surface terrière : 26.8 m². Le sous-bois est entretenu par 1 à 2 passages de gyrobroyeur an. La parcelle, située en bordure d'étang, est irriguée par un canon mobile. L'objectif du propriétaire est la récolte de cèpes ; le bois est destiné au chauffage.

❷ - Le sol

Le sol est sablo-limoneux sur un système « sables du Périgord ».
0-50cm : texture grossière sablo-limoneuse- bonne porosité – bonne répartition des racines- présence de tâches d'oxydation sol très clair « délavé » réserve utile de ce 1^{er} compartiment de sol = 70 mm.
Au delà 50cm : zone argileuse compacte - zone de rupture vis à vis de la circulation de l'eau. pH acide = 5.4. Ce sol est relativement bien pourvu en élément minéraux avec comme facteur limitant : une CEC très faible.

❸ - La flore

La flore est typique d'un sol acide et hétérogène avec des zones plus ou moins fermées, des zones très sèches, une bordure d'étang plus humide. Présence en abondance sur toute la bordure d'étang de la fougère aigle.

Des espèces hygrophiles : ajonc nain, molinie (espèce qui tolère également des sols secs).

Des espèces xérophiles : potentille des montagnes, germendrée scorodoire.

Des espèces héliophiles : brachypode penné, bruyère cendrée, épervière piloselle.



- ❶ Bruyère cendrée.
- ❷ Ajonc nain.
- ❸ Molinie.



❹ - Les champignons

Deux espèces de cèpes sont récoltées : *Boletus aestivalis* (cèpe d'été) et *Boletus aereus* (cèpe tête noire). Cortège fongique associé : amanite citrine, russule noirissante, bolet noirissant... La répétition des irrigations (apports = 100 mm) a généré des modifications du cortège fongique (apparition du bolet raboteux). Sur la production de cèpes, des relevés sont réalisés depuis 1998.

Moyenne = 16.5 kg de cèpes /ha /an.

❺ - Propositions de gestion

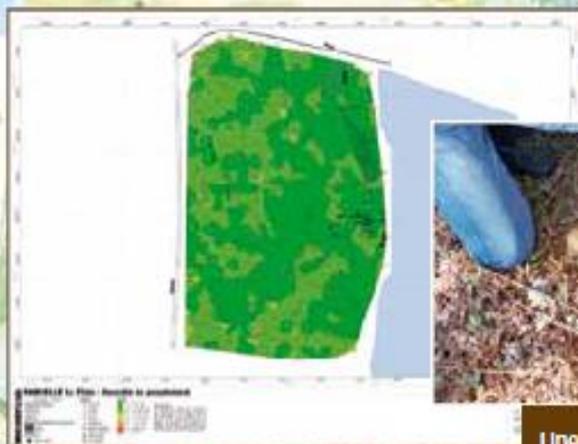
- Exploiter progressivement les chênes destinés au bois de chauffage
- Favoriser par détournage la croissance des merisiers et de alisiers
- Enrichissement en ligne ou par bosquets (chêne sessile, chêne rouge, sapin de Vancouver...).

Un site situé en bordure étang :

- effet lisière
- humidité



L'irrigation du peuplement a permis de cumuler une série d'observations déterminantes dans la connaissance des phases de déclenchement et de développement des pousses de cèpe d'été.



Une production de cèpes d'été localisée en bordure d'étang.
Moyenne : 16.5 kg/ha



Le sol sablo-limoneux est lessivé.
Réserve utile 70 mm.

LA CHÊNAIE

du massif Nord-Dordogne

1 - Historique et gestion du peuplement

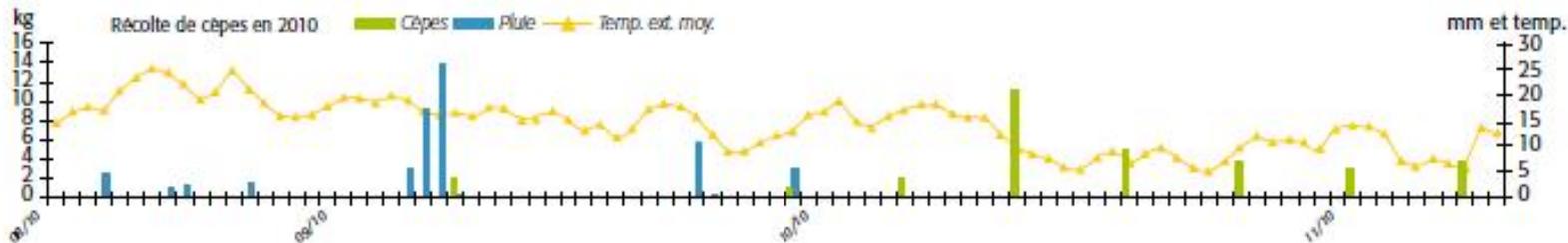
Futaie régulière de chênes pédonculés de 80 ans et plus, en mélange avec des bouleaux et des sapins pectinés. **Surface** : 0 ha 35.

Le peuplement a été fortement endommagé par la tempête de 1999 avec 40% du peuplement détruit ; la densité actuelle est de 257 tiges/ha. Surface terrière = 13m²/ha. Le sous-bois est régulièrement entretenu par 1 à 2 passages de broyeur/an. L'objectif du propriétaire est principalement la récolte des cèpes ; le bois est destiné au chauffage à l'exception de quelques bois de charpente.

2 - Le sol

Le sol est sablo-limoneux sur un système « roches cristallines grenues ». Sur un profil > à 1m50, on distingue 3 ensembles : **0-70 cm** : texture grossière limon-sable qui s'affine en profondeur, présence de nombreuses racines et radicelles / **70-110 cm** : arène granitique compacte - peu de racines / **Au-delà 110 cm** : texture argileuse moyennement compacte, bonne prospection racinaire.

Le sol est très acide (pH = 3.8 en surface) ; les teneurs en éléments minéraux sont plus importantes en profondeur avec une carence en phosphore sur l'ensemble des horizons. La réserve utile du 1^{er} horizon (0-70) = 85 mm ce qui semble être la quantité d'eau nécessaire au déclenchement d'une fructification importante.



3 - La flore

La flore est typiquement acidiphile avec la présence d'éricacées comme la callune et la bruyère cendrée, de graminées comme la danthonie et la canche flexueuse. La flore est très diversifiée avec une prédominance des espèces de lumière ou de demi-ombre.



- 1 Canche flexueuse.
- 2 Bruyère cendrée.
- 3 Callune.

4 - Les champignons

Les principales espèces de cèpes récoltées sont *Boletus edulis* (cèpes d'automne) et *Boletus aereus* (cèpe tête noire).

Récolte 2010 : 32 kg avec une période très sèche (du 25/06 au 18/08 : pluviométrie = 0) et un cumul de pluie du 18/08 au 30/09 de 45mm.

5 - Propositions de gestion

Evolution naturelle : régénération des chênes pédonculés, essence qui présente en Dordogne des signes de dépérissement. Propositions :

- Exploitation progressive des arbres (charpente- chauffage).
- Enrichissement en ligne ou par bosquets, à base chênes sessiles ou de chênes rouges mélangés avec des sapins pectinés et des épicéas.



Un peuplement très ouvert
conséquence de la tempête
de 1999.



Un potentiel de production de
80 kg/ha.



Le sol est profond avec une
prospersion homogène des
racines. La quantité d'eau
nécessaire pour saturer ce sol
est de 70 à 80 mm.



LE TAILLIS SOUS FUTAIE

du massif Sud Dordogne

❶ - Historique et gestion du peuplement

Taillis de châtaigniers et taillis de charmes avec futaie de chênes. Le peuplement est jeune avec une majorité de perches et de petits bois.

Surface : 0 ha 65 avec une densité de 934 tiges/ha.

Surface terrière : 29.2 m²/ha.

La dernière coupe rase date de 1960.

Le taillis a été éclairci en 2006 et les bois morts sur pied sont enlevés régulièrement. Le propriétaire a un double objectif :

- récolter des champignons.
- produire du bois : les petits bois sont destinés au chauffage et à la papeterie alors que les tiges d'avenir (chênes et châtaigniers) pourront être valorisés en charpente ou parquet.

❷ - Le sol

C'est un sable limoneux argileux sur une formation du sidérolithique. 0-50 cm : la texture est grossière ; les racines et radicelles sont concentrées dans l'horizon humifère car au dessous, le sol est compacté. La vitesse de ressuyage est rapide.

A partir de 50 cm : on trouve la roche mère avec une structure feuilletée et une bonne prospection racinaire. Ce 2^e compartiment joue un double rôle vis à vis de l'eau : plancher temporaire + 2^e réservoir. La vitesse de ressuyage est beaucoup plus lente.

Réserve utile : 70 mm.

Le pH est très acide (4.7) ; la teneur en éléments minéraux est élevée par rapport à la CEC faible (6.2).

❸ - La flore

La flore est peu diversifiée (onze espèces recensées), due à un

milieu très ombragé et à la dominance du lierre : brachypode des bois, carex glauque... Elle est caractéristique de sols acidiphiles et sableux : chèvrefeuille des bois, fougère aigle...



❶ Fougère aigle.
❷ Interview de la propriétaire du site lors de la visite des partenaires du projet Micosylva (octobre 2010).

❹ - Les champignons

Les espèces récoltées sont les 2 cèpes d'été : Boletus aereus (cèpe tête noire) et Boletus aestivalis (cèpe d'été), présence de cantharellus cibarius (girolle). En 2009 et 2010, il n'y a pas eu de pousse significative avec une pluviométrie insuffisante et tardive (lorsque les températures chutent en dessous 8°C, les cèpes d'été poussent plus difficilement). La dernière récolte date de 2006 avec une estimation de 60 kg/ha.

❺ - Propositions de gestion

L'atout de ce peuplement est sa diversité d'essences. L'objectif est d'éviter la fermeture du milieu et de favoriser la croissance des arbres d'avenir :

- Éclaircir régulièrement le taillis de charmes.
- Détourner les chênes de qualité.



Le taillis de chênes – charmes se referme, présence de réserves de chênes de qualité.



Potential de production 60 kg/ha de cèpes d'été.



Sol à « 2 réservoirs » communicants. Il nécessite 70 à 80 mm pour être saturé.



LE VERGER DE CHÂTAIGNIERS

un modèle Périgourdin

❶ - Historique et gestion du verger

À l'origine, taillis mélangé à base de bouleaux et de châtaigniers producteur de cèpes. Plantation du verger en 1975 - 1ha70. Variété Marigoule (ou M15) 10 m x 12 m - production de châtaignes = 1.5 tonnes/an. Depuis la plantation, aucune fumure - 2 passages de gyrobroyeur/an.

❷ - Le sol

Limon argilo sableux sur un système « sables du Périgord ». Sur un profil d'1 m de profondeur, tout paraît se dérouler dans les 1^{er} cm de sol avec une forte concentration de radicelles et de réseau mycélien. Au-delà 5 cm, le sol est extrêmement compacté : la limite entre litière et sol constitue une barrière infranchissable à la fois pour les racines mais aussi pour l'eau. Le travail du sol (culture de céréales) pendant 5 ans entre le défrichage et la plantation peuvent expliquer la détérioration du sol initialement fragile (par comparaison, le sol forestier situé tout contre le verger présente un profil totalement différent avec une répartition racinaire sur toute la profondeur du sol. La réserve utile (RU) de ce sol est très réduite (5 à 10 mm) ; une petite quantité d'eau suffit à le saturer ; cela explique la fréquence des pousses. Présence de matière organique en abondance mais peu dégradée : C/N = 46 d'où l'intérêt de la présence du mycélium comme « agent » de dégradation de la litière. pH = 4,4 à 5. Le sol est plutôt bien pourvu en éléments minéraux.

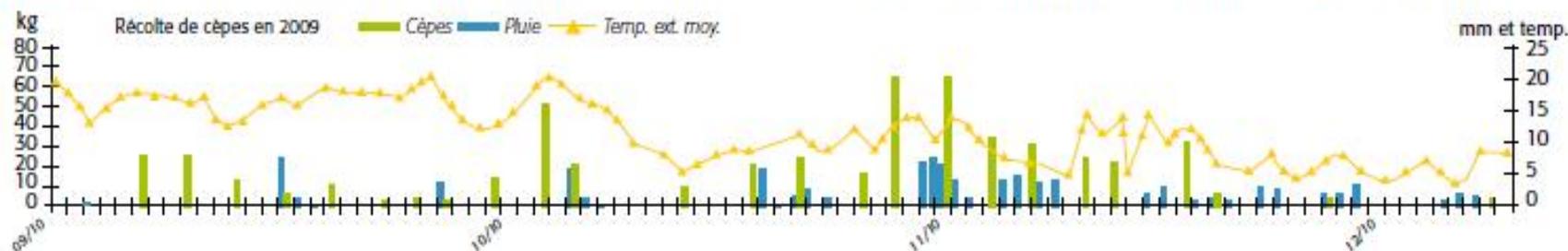
❸ - La flore

La flore herbacée et arbustive est typiquement acidophile : bruyère cendrée, callune, ajoncs et très diversifiée. Un grand nombre d'espèces est mésoxérophile (sol ni trop sec, ni trop humide) et héliophile (milieu ouvert) ; la présence d'espèces comme la molinie et la mélampyre des prés indiquent que ces sols présentent de grandes variations d'humidité. Nombreuses graminées prairiales (agrostide, flouve) favorisées par le gyrobroyage.

❹ - Les champignons

Les 4 espèces de cèpes nobles sont récoltées : *Boletus edulis* (cèpe de Bordeaux), *Boletus aestivalis* (cèpe d'été), *Boletus aereus* (cèpe tête noire), *Boletus pinicola* (cèpes des pins).

En 2009, 8 pousses sont comptabilisées entre le 02/09/2009 et le 09/12/2009. Le cortège fongique associé caractérise également ce sol atypique régulièrement saturé en eau mais également très séchant : on retrouve des espèces typiques des écosystèmes chauds et secs : *astraeus hygrometricus* (géastre en étoile), *scderoderma citrinum*, (*scderoderme vulgaire*), *psolitus tinctorius* et à l'opposé des espèces exigeantes en eau comme *lecanium aurantiacum* (bolet orangé). On observe les espèces régulièrement associées aux cèpes *amanita muscaria* (amanite tue-mouches), *chalciporus piperatus* (bolet poivré).





Verger de châtaignier. Planté en 1975 sur
une ancien bois producteur de cèpes.



Une production mixte :
- 1 500 kg de châtaignes
- 281 kg de cèpes , (moyenne/6 ans)



Les radicelles et les mycorhizes
se situent dans les 1^{er} cm du
sol. Au delà le sol est très com-
pacté 10 mm d'eau suffit pour
déclencher une pousse.



La Mycosylviculture

Chapitre 4 : diagnostics mycosylvicoles à l'échelle Massif

Ce document est réalisé dans le cadre du projet Micosylva. Micosylva est un projet scientifique et technique européen cofinancé par des aides FEDER-INTERREG. L'objectif est de promouvoir en Europe une gestion multifonctionnelle et durable des forêts qui intègre et valorise les fonctions écologiques et socio-économiques des champignons sylvestres comestibles. Afin de réaliser ce projet, sur la base d'une coopération entre 8 partenaires, espagnols, français et portugais, un réseau de 18 zones myco-sylvodémonstratives a été mis en place dans le sudouest de l'Europe (appelé aussi espace SUDOE). Fort de ce réseau de référence, la finalité du projet est de construire durablement dans l'espace SUDOE, une stratégie commune de préservation des écosystèmes forestiers tout en montrant le rôle essentiel des champignons.

Coordination :

Jean Rondet et Fernando Martinez Peña

Auteurs du chapitre 4 :

Helena MACHADO - Instituto Nacional de Recursos Biológicos, Oeiras, Portugal

Celeste SANTOS-SILVA -University of Évora, ÉvORA, Portugal

Anaïs Zimmerlin – Chambre d'Agriculture Hautes-Pyrénées, France

Thomas Borderie – Chambre d'Agriculture Hautes-Pyrénées

Nathalie Seegers – Chambre Agriculture Dordogne, France

Vincent Pontois – ONF Hautes-Pyrénées

Laurent Rigou – CACG Tarbes, France

Guillaume Arlande – Pyrénées cartographie, France

Jean Rondet – EPLEFPA Vic, France

Jacques Guinberteau – INRA Bordeaux, France

Benoît Peyre – Chambre d'Agriculture de la Corrèze, France

Dessins, aquarelles :

Jean Rondet et Françoise Boutet

Sommaire



Chapitre 4 : Diagnostics mycosylvicoles
à l'échelle massif.

MASSIF FORESTIER DES HAUTES-PYRENEES	4
FORÊTS PRIVEES ET COMMUNALES DES COTEAUX DE L'ARROS	7
LE CONTEXTE CORREZIEN	9
MODELE DE MYCOSYLVICULTURE EN FORÊT PUBLIQUE DE MONTAGNE méthodologie de diagnostic	12
APPROCHE MULTIFACTORIELLE DES CAUSES DU DEPERISSEMENT DU CHÊNE LIEGE dans le Baixo Alentejo	14
LE CONTEXTE DE LA FORÊT DE DORDOGNE	25



LA MYCOSYLVICULTURE

à l'échelle massif

1 - Contexte : Le massif forestier des Hautes-Pyrénées

Forte de ses quelques 120 000 ha de forêts publiques, privées et domaniales, les Hautes-Pyrénées atteignent un taux de boisement de 30% légèrement supérieur au taux national. Si ce département ne peut rivaliser avec les Vosges ou les Landes, la diversité des formations forestières rencontrées, leurs impacts environnementaux et économiques en font des points marquants du territoire bigourdan.

L'ensemble des formations forestières appartenant aux collectivités publiques couvre 59 720 ha. Cette surface représente près de la moitié des surfaces boisées en Hautes-Pyrénées. La seconde moitié est constituée par les forêts domaniales, propriétés de l'Etat, environ 7000 ha et par la forêt privée comptant 50 595 ha détenus par 27 312 propriétaires.

La forêt privée (par Mathilde Harel, CRPF Midi-Pyrénées, 2011)

70% d'entre eux ont moins d'un hectare, ce qui rend particulièrement complexe toutes les actions qui visent à promouvoir l'amélioration de la gestion. L'antenne des Hautes-Pyrénées du Centre Régional de la Propriété Forestière de Midi-Pyrénées (CRPF) apporte une aide en matière de conseil de gestion à tous les propriétaires privés.

Une partie des propriétaires adhère au Syndicat Interdépartemental des Propriétaires Forestiers. Le service forestier de la Direction Départementale du Territoire veille au respect de la réglementation et instruit les demandes d'aides en faveur de la forêt. Les essences feuillues sont largement majoritaires. Le Hêtre, le Chêne sessile et le Chêne pédonculé dominant à eux seuls 50% de la surface forestière. Le Sapin

pectiné est présent sur 18 000 ha, essentiellement entre 900 et 1 800 m d'altitude, et souvent en mélange avec le hêtre. Les résineux exotiques comme le Douglas vert, l'Epicéa commun ou encore le Pin noir Laricio ne représentent que 7% de la surface forestière totale.

Les types de peuplement les plus représentés sont le mélange de futaie et taillis et la futaie (IFN 1994).

Le volume de bois en forêt de production est estimé à 12 millions de m³, soit 160 m³/ha. La récolte est d'environ 137 000 m³/an (bois d'œuvre et bois d'industrie 2005). La Coopérative des Producteurs de Bois (CPB) appuie les propriétaires privés dans la commercialisation annuelle d'environ 6 000 m³ de bois d'œuvre et 8 000 tonnes de bois d'industrie. Les scieries du département transforment moins de 50% de la récolte départementale. Le nombre de scieries, ainsi que l'emploi correspondant, a fortement diminué ces dernières années. Le bois de papeterie est dirigé essentiellement vers Saint-Gaudens (Haute-Garonne) et St-Girons (Ariège). Il représente environ 40% de la totalité du bois récolté. Les exportations de bois d'œuvre se font principalement vers l'Espagne, le Portugal et l'Italie.

La faiblesse majeure de la forêt privée est son fort morcellement foncier. De plus, les modes d'exploitation répondent mal à l'évolution des conditions de marché, liées au développement de nouvelles techniques de production industrielle de plus en plus « spécialisées » (exigence de garanties de volume et de qualité). Le hêtre est aujourd'hui peu vendu, alors que cette essence est particulièrement présente.

Ses atouts sont une forte biodiversité (traduite par le nombre de site Natura 2000, ZNIEFF...), son rôle paysager et de protection des sols et des berges. Cette forte biodiversité nécessite des efforts de gestion adaptés.

La forêt publique (par Vincent Portois, Bureau d'Etudes Pyrénées Occidentales, ONF, 2011)

En Hautes-Pyrénées, les collectivités propriétaires de forêts sont réparties entre 290 communes pour 42 800 ha de surface boisée. La surface moyenne des forêts publiques est de 288ha en montagne, beaucoup plus faible en plaine et coteaux avec 64 ha.

... une forêt publique aux essences variées réparties sur plusieurs étages de végétation

Les conditions climatiques rencontrées par les formations boisées varient selon l'altitude et l'exposition des versants. Elles sont l'un des principaux facteurs qui influent sur la composition de ces formations forestières et leurs conditions de croissance.

La plaine et l'étage collinéen (jusqu'à 900 m d'altitude²) portent des peuplements de Chêne pédonculé et sessile en majorité traités en futaie régulière. Certains d'entre eux sont issus d'anciens taillis sous futaie convertis en futaie sur souche. Des futaies régulières de Chêne rouge d'Amérique viennent compléter ces peuplements feuillus. Les résineux à croissance rapide, Douglas, Pin Weymouth, Pin laricio, Epicéa commun, introduits dans les années 1960 à 1980, forment des futaies régulières parfois en mélange avec des feuillus.

L'étage montagnard (de 900m à 1900m²) est le lieu privilégié du Hêtre commun et du Sapin pectiné. Ces deux essences forment de vastes futaies, régulières ou irrégulières, parfois en mélange intime, parfois en peuplements purs. En versant nord, le sapin dominera. Le Pin sylvestre est déjà présent en partie supérieure de cet étage.

L'étage subalpin (de 1900 à 2300m²) est le domaine de prédilection du Pin sylvestre et du Pin à crochets qui trouvent d'excellentes conditions de croissance sur les pentes des hautes vallées.

L'étage alpin (au dessus de 2300 m²) accueille quelques boisements lâches de Pin à crochets.

...une forêt publique gérée par l'Office national des forêts (ONF)

Conformément au Code forestier, les forêts publiques relèvent du Régime forestier. Ses dispositions en confient à l'ONF la surveillance foncière et générale, l'élaboration d'un document d'aménagement (plan de gestion), la sélection des arbres dans le cadre des actions sylvicoles, leur mise en vente et le contrôle de leur exploitation. La présentation à la collectivité propriétaire d'un programme annuel de travaux forestiers s'ajoute à ces obligations.

...une forêt publique multifonctionnelle aménagée sur le long terme

Aménager une forêt consiste à la doter d'un guide de gestion, appelé document d'aménagement, pour une durée de 15 à 20 ans.

Ce guide est établi en fonction d'une analyse spécifique de la forêt et des attentes de la collectivité propriétaire. Il fixe les objectifs à atteindre (amélioration et renouvellement des formations boisées, augmentation des potentiels de biodiversité, accueil du public, protection des sols contre l'érosion, protection des sources...). Pour cela, il détermine les actions techniques à conduire (plantations, récoltes de bois, travaux d'équipements, d'infrastructure...).

La prise en compte de la biodiversité dans la conduite de ces actions est facilitée par l'existence de guides techniques de référence : préservation des sols en exploitation forestière, sylviculture et grand têtards, sylviculture et ours brun, choix et maintien des arbres favorables à la biodiversité, gestion forestière et zones humides en forêt...

² en versant nord, appelé ombrière. En versant sud, soulane, les limites altitudinales sont supérieures d'une centaine de mètres.

...une forêt publique à vocation de production

En 2010, 115 000 m³ de feuillus et résineux ont été vendus pour une recette de 2 150 000€. Cette même année, 16900 m³ de bois, essentiellement feuillus ont été délivrés aux communes propriétaires pour les besoins en affouage³, représentant une valeur de 216 400€.

La pérennisation des peuplements et leur renouvellement se font au travers d'opérations techniques. A ces tâches purement sylvicoles, s'ajoutent des travaux d'entretien des infrastructures de desserte et d'accueil. Le financement de ces actions est assuré pour une part importante par le réinvestissement d'une partie des recettes provenant des ventes de bois. A ce titre, en 2008, les collectivités ont réinvesti 554 000€ en travaux forestiers.

...et aussi une forêt d'accueil et de protection

Sa vocation d'accueil, liée au caractère touristique du département des Hautes-Pyrénées et à l'existence de centres urbains importants, (Tarbes, Lourdes, Bagnères-de-Bigorre...) est assurée par l'installation d'équipements d'accueil. Les forêts publiques de montagne contribuent à la protection générale des biens et personnes contre les risques d'avalanches, de glissements de terrain, de chutes de blocs de pierre et d'érosion torrentielle. Parallèlement, des terrains domaniaux boisés aux XIX^e et XX^e siècles assurent aussi cette protection au sein de zones à risques très spécifiques (Cauterets, Barèges...).

...une forêt publique parfois confrontée à des aléas climatiques et sanitaires et où la dent du gibier se fait parfois dure...

Les accidents climatiques ont encore récemment (tempêtes Klaus en 2009 et Xynthia en 2010) jeté à terre 102 000 m³ de chênes, sapins, hêtres et résineux divers.

Des attaques ponctuelles d'insectes défoliateurs sont régulièrement observées. (charançons sur hêtre, chenilles sur chênes, chenilles processionnaires sur pin...). Parfois spectaculaires ces dégâts sont rarement dommageables. Au titre des dépérissements, on voit depuis plusieurs années une dégradation de l'état sanitaire de certaines sapinières situées en partie inférieure de l'étage montagnard. Des infestations par champignons pathogènes sont notées sur châtaignier (Endothiose), sur pin à deux aiguilles (Sphaeropsis des pins, maladies des bandes rouges). Cerfs en montagne et, dans une moindre mesure, chevreuils en plaine et coteaux, peuvent avoir une forte influence sur la croissance des jeunes arbres en cas de population à forte densité. Des dispositifs coûteux de protection sont mis en place. Efficaces sur de petites surfaces, ils trouvent leur limite en terrain difficile. Le point d'équilibre entre la forêt et les grands ongulés (cerfs, chevreuils) doit être théoriquement atteint par la gestion fine des populations au moyen du plan de chasse.

Au final, une forêt publique regroupant faiblesses mais aussi atouts ...

Les faiblesses sont liées aux particularités des territoires qui influent fortement sur certaines caractéristiques de la forêt publique haute-pyréenne. L'agriculture en plaine et coteaux explique son morcellement. En montagne, les contraintes liées au relief augmentent les coûts d'exploitation et pèsent sur les prix d'achat. Le déséquilibre causé par la surabondance des grands cervidés atteint maintenant un niveau préoccupant.

Et atouts heureusement, grâce à son fort potentiel de biodiversité offert par la variété des territoires sur lesquels elle est installée. Des atouts aussi au travers de sa gestion concertée sur le très long terme entre les collectivités propriétaires et l'ONF, gestionnaire attitré.

³ L'affouage consiste à laisser aux habitants d'une commune, ou d'une section de commune, le produit d'une coupe de bois à exploiter dans la forêt.

2 - Le modèle des coteaux de l'Arros et l'Association des Propriétaires Agricoles et Forestiers de Bigorre (APFAB)

Les conflits inhérents à la ressource « champignons » sont fréquents dans les régions forestières françaises. Ils résultent souvent d'opinions concernant les droits d'usages en forêt et de l'idée que les champignons sont à tout le monde en tant que produits sauvages. Certains de ces conflits relèvent des évolutions respectives des populations urbaine et rurale. Les populations, de plus en plus urbanisées, conservent un besoin de nature et d'activités ancestrales de cueillette. Les propriétaires forestiers, eux, souhaitent de façon légitime valoriser et conserver leur bien. Cette évolution du contexte conduit de plus en plus fréquemment en France les propriétaires forestiers à s'organiser pour protéger leur champignons. Un territoire des Hautes-Pyrénées offre l'exemple d'une expérience de 10 ans dans ce domaine.

Le massif des coteaux de l'Arros est l'illustration de ce qu'est la forêt privée du département des Hautes-Pyrénées :

- Une forêt située sur les versants ouest des coteaux principaux et nord des crêtes secondaires, encadrant les terres agricoles,
- Une forêt majoritairement détenue par des petits propriétaires, souvent agriculteurs.

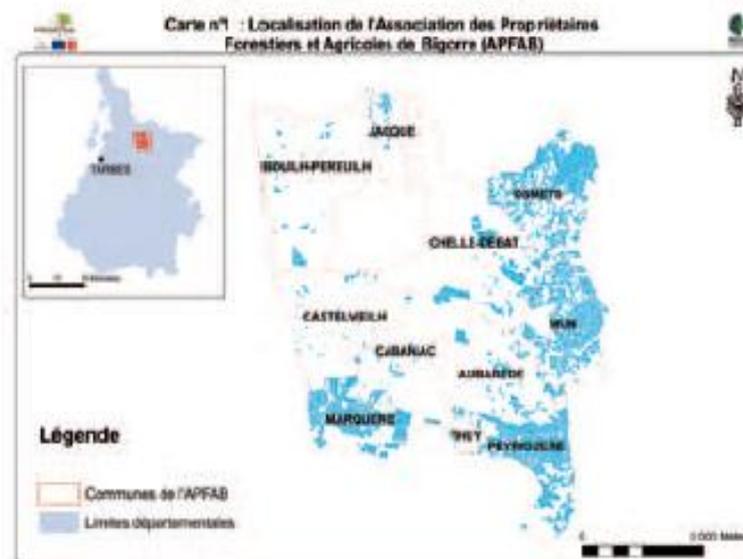
La vocation de ces bois est l'utilisation comme bois de chauffage, bois de piquets. L'usage est avant tout patrimonial, d'un bien conservé « dans la famille », et récréatif pour la cueillette de champignons.

Les solutions étudiées pour ce territoire veulent répondre aux problématiques rencontrées dans la grande majorité des forêts privées de ce secteur : morcellement du parcellaire entre une multitude de propriétaires, faible niveau de connaissance par les propriétaires des

techniques sylvicoles et ainsi faible intérêt pour la ressource « bois d'œuvre », gestion basée sur la récolte de bois de service lorsque le besoin s'en fait sentir .

C'est dans ce contexte et autour de cette ressource « champignons » que c'est constituée l'APFAB.

En effet, suite à de nombreux dégâts constatés (pillage de la ressource champignons associé à certaines dégradations du milieu et parfois des installations agricoles) et afin de se réapproprier leurs forêts, les propriétaires forestiers ont créé en 1998, l'association « Forêt et Champignons ». En 2006, elle fut rebaptisée « Association des Propriétaires Forestiers et Agricoles de Bigorre ».



Le territoire de l'association regroupe des forêts situées sur 11 communes : Aubarède, Bouilh-Peyreuilh, Cabanac, Castelveilh, Chelle-Débat, Jacques, Marquère, Mun, Osmets, Peyrigure et Thuy (carte 1).

Ce territoire structuré par cette association représente un contexte social particulier et original pour le département des Hautes-Pyrénées.

L'Association a pour objectif :

- De faire respecter la propriété privée en regroupant les propriétaires,
- De contrôler les activités de cueillette sur le territoire,
- D'étudier et de regrouper toutes les actions qui peuvent contribuer à la valorisation de la forêt et de ses produits,
- De mettre en œuvre des expérimentations et d'en diffuser les résultats.

Organisation : une carte de ramassage et une garderie privée



① Peuplement feuillu en contexte agricole, (photo A. Zimmerlin).

② Un panneau avertissant le ramasseur de la cueillette sur le territoire, (photo A. Zimmerlin).



La régulation de la ressource Cèpes (objet principal de l'association), est assurée par un système de carte de ramassage et une garderie privée. Sur ce territoire, la cueillette est donc réglementée et contrôlée suite à la cession des droits de cueillette par les propriétaires privés et les communes pour les bois communaux. La surface totale de cet ensemble de terres agricoles et forestières est de 1377 ha. Quatre communes

ont cédé la gestion de la cueillette des Cèpes au sein de leur bois communaux à l'APFAB. La gestion sylvicole reste sous la responsabilité de l'Office National des Forêts. Le système de cartes distingue deux types de cueilleurs, pour favoriser les propriétaires adhérant au groupement.

Qualité adhérent	Adhésion annuelle	Territoire de cueillette	
Propriétaire	10€	APFAB	Invitation possible
Résident	10€	Commune de résidence	Carte nominative

A ce jour, l'APFAB compte 123 propriétaires adhérents (selon une enquête menée auprès des responsables communaux de l'association). En 2009, le nombre de ramasseurs (familles de propriétaires et résidents) sur ce territoire était voisin de 310 (Munch, 2009).

Pour garantir le respect du système, l'association mobilise trois gardes assermentés chargés de la surveillance du territoire durant les périodes de pousse des champignons. Leur rôle est de sensibiliser les promeneurs-cueilleurs à l'existence de l'association et d'établir des procès verbaux si nécessaire (Munch, 2009). L'APFAB dispose également d'un règlement intérieur qui fixe les droits et les devoirs des cueilleurs et qui explique le rôle des gardes.

Un travail de pédagogie reste nécessaire pour expliquer que les cèpes sont les produits d'une gestion forestière et qu'ils ne sont pas de simples produits sauvages.

Enfin ce modèle, justifié dans ce contexte de forêt privée, n'est pas systématiquement transposable partout.



3 - La myco-économie corrézienne

Essentiellement rural, le département de la Corrèze est très boisé, avec un taux de boisement de 45% (259 000 ha). Les peuplements feuillus sont majoritaires mais l'emprise résineuse augmente d'année en année, surtout en Haute Corrèze. La forêt très morcelée, privée à 95%, est partagée entre 65 000 propriétaires (4 ha en moyenne/propriétaire).

Comme d'autres départements du Massif Central, la Corrèze a connu un fort exode rural et d'importants reboisements au cours du 20^e siècle. (Pin sylvestre puis plus tard Epicéa commun). La cueillette traditionnelle de champignons (les cèpes en tout premier mais aussi girolle, chanterelle grise, pied de mouton,...) s'est progressivement transformée en une activité économique importante, en grande partie basée sur les très fortes productivités en cèpes des jeunes pessières (de 18 à 30 ans, avant la première éclaircie), une production peu concurrencée autrefois par des champignons d'importation, et aussi à une bonne qualité des produits permettant une bonne conservation durant les transports (vers l'Italie en particulier). Cette activité a culminé à la fin des années 80, pour régresser fortement ensuite avec l'évolution des peuplements d'Epicéas (éclaircies, abandon de l'Epicéa au profit du douglas, tempêtes). La filière reste cependant importante avec un système organisé de collecte et des filières de commercialisation (cueilleurs > rabatteurs > collecteurs > grossistes, M.I.N., restaurateurs, grandes et moyennes surfaces, conserveries). Il existe encore une vingtaine de collecteurs (une cinquantaine au moins en 1990) dans le département, nombre qui a tendance à décroître.

Il existe un autre marché économique du cèpe, avec vente de gré à gré (marchés locaux ou régionaux, restaurateurs, ventes

de particuliers à particuliers). Si le commerce des champignons est souvent considéré comme occulte et échappant à la fiscalité, on remarquera que le cèpe devient une réalité officielle à un niveau de la filière. Le collecteur signe des bons d'achat et la valeur des produits entre dans sa comptabilité. Remarquons aussi que l'activité de cueillette génère localement une activité commerciale importante, l'« argent des cèpes » permettant aux familles modestes d'accéder en fin de saison à des biens de consommation nécessaires. 4000 à 8000 personnes/an sont considérées comme des « cueilleurs » qui revendent des cèpes (B. Peyre – 2006).

Parallèlement, la « cueillette-loisir » est pratiquée par un très grand nombre de corréziens de septembre à novembre. Les quantités récoltées ne sont pas intégrées dans les données chiffrées. Ce ramassage pour l'autoconsommation est important et peut être considéré également comme une richesse pour le département. Le pouvoir d'achat des familles se trouve indirectement amélioré par ces produits qui ne sont pas à acheter et qui libèrent donc d'autres possibilités d'achat. La cueillette est par ailleurs considérée par beaucoup comme un élément très important de la « qualité » de la vie.

Les perspectives

Si la ressource a diminué, elle est partiellement compensée par des importations qui participent à l'activité « champignons sylvestres » du Département. Cette activité bénéficie depuis plusieurs décennies à l'image de la Corrèze, à travers la valeur symbolique de ces produits, ses entreprises spécialisées, la gastronomie. Une certaine proportion des peuplements d'épicéas restant méritent une gestion qui leur permettrait de connaître une « deuxième vie »

de « producteurs de cèpes ». Le projet Micosylva aboutit à des préconisations dans ce sens. Une autre piste d'avenir concerne les reboisements. Des modèles alternatifs au reboisement par le douglas méritent un regain d'attention. Une régénération naturelle à partir des essences locales, complétée par une certaine proportion d'essences résineuses en mélange (y compris le douglas) peut conduire à des peuplements plus résilients (plus aptes à résister aux problèmes climatiques ou parasitaires) et productifs en cèpes. Les champignons autres que les cèpes peuvent être également mieux valorisés, comme produits alimentaires mais également à travers d'autres opportunités (pharmacie, compléments alimentaires, industries diverses).



Boletus edulis récolté sous jeunes résineux.



4 - Vers un modèle de mycosylviculture en forêt publique

Méthodologie de Diagnostic mycosylvicole d'un massif forestier de montagne dans les Pyrénées. Quelques préconisations de gestion.

La forêt étudiée se situe à Bagnères de Bigorre, essentiellement dans l'étage de la Hêtraie-Sapinière, en relief accidenté et à une altitude comprise entre 700 et 1900m.

Cette forêt s'inscrit dans le territoire de la «Charte Forestière de Territoire du Pays de Tarbes et de la Haute-Bigorre». A travers ce cadre de gouvernance participative, une réflexion est engagée sur la multifonctionnalité des forêts communales de montagne et sa mise en oeuvre effective sur ce territoire. La mycosylviculture peut apporter une contribution à cette démarche. Elle s'intéresse aux moyens de gérer simultanément et durablement deux produits très différents de la biodiversité que sont les arbres d'une part et les champignons sylvestres comestibles d'autre part. Cet intérêt se justifie en premier lieu par une valeur importante des champignons. On peut ainsi estimer que la production naturelle des seuls cèpes (*Boletus edulis* et *B.pinophilus* dans ce contexte) correspond à environ 10 Kg/ha/an, soit une valeur théorique d'au moins 150 euros.

L'intérêt se justifie également du point de vue de la préservation des écosystèmes : vouloir gérer simultanément ces deux productions impose une approche globale de l'écosystème forestier considéré alors comme un ensemble fonctionnel Arbres - « Interface fongique » - Sol. Gérer une forêt revient ainsi non pas à gérer un peuplement d'arbres mais à gérer simultanément un peuplement d'arbres, une « interface fongique » et un sol. Un diagnostic plus complet conduit à une gestion plus fine de quatre facteurs :

- 1) le potentiel sols/climat.
- 2) la composition des peuplements.

- 3) la structure des peuplements.
- 4) la matière organique.

Nous verrons également que l'analyse des potentialités de production de cèpes donne des indications sur le fonctionnement des écosystèmes. **Les cèpes sont à la fois des produits de la gestion mais également des indicateurs de gestion.**

C'est cette démarche de diagnostic et de préconisations de gestion que nous voulons présenter succinctement ici.

a - Une approche multi-échelle des facteurs sols : un outil complémentaire pour aider à la gestion.

La méthode employée se base sur le concept de secteur de référence :

- Les relations entre le sol et le développement des champignons ectomycorhiziens sont analysées et comparées sur deux secteurs contrastés : une placette de référence du réseau MICOSYLVA sur laquelle la productivité est moyenne, et une autre placette à forte productivité, toutes deux représentatives du territoire forestier. Les paramètres pédoclimatiques déterminants ces différentes productivités, ou «paramètres d'extrapolation» sont identifiés : nature du sol, type d'humus, topographie, rayonnement solaire.
- Ces paramètres sont ensuite extrapolés à l'échelle du massif forestier.
- Les performances du massif en tant que territoire mycosylvicole sont alors évaluées; les plus favorables au développement des champignons sont localisées. L'objectif est à terme de proposer une gestion différente pour les zones très productives en cèpes et pour les zones moins productives.

b - Analyse du secteur de référence et identification des paramètres pédoclimatiques

Deux contextes de production de cèpes (*Boletus pinophilus* dans cette étude) sont étudiés : un contexte de faible productivité en cèpes (10 Kg/ha/an) et un contexte de forte productivité (plusieurs dizaines de Kgs/ha/an).

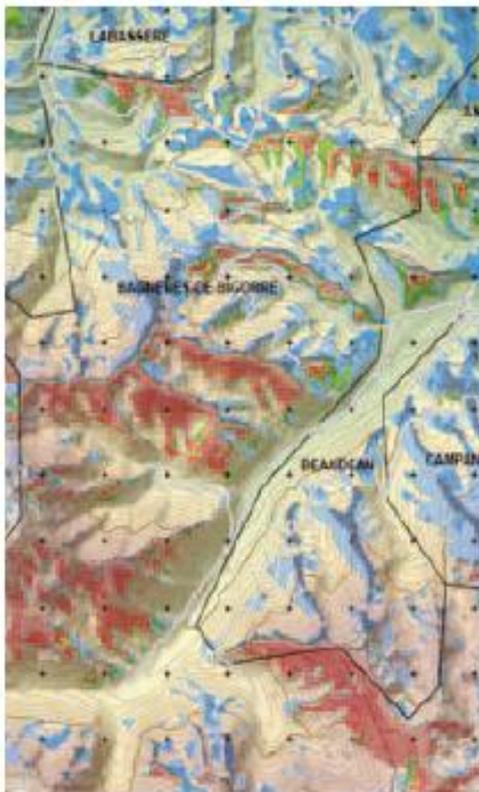
Le contexte de forte productivité correspond au modèle pédo-climatique suivant :

- ALOCRISOL TYPIQUE, de schistes, peu à moyennement épais.
- Forme d'humus de type oligomull à mésomull.
- Humus à forte activité mycogène.
- Géomorphologie de versant rectiligne, pente accusée.
- Carpophores plus nombreux en position de milieu de versant.
- Hêtraie, strate herbacée réduite à absente.
- Exposition sud-ouest à sud-est.
- Quantité d'irradiation solaire d'avril à novembre > 4511 Wh/m²/j.

c - Définition des paramètres d'extrapolation

- Type de sol extrapolé dans le Référentiel Régional Pédologique (programme IGCS).
- Géomorphologie : positions par rapport au sommet de la crête et par rapport au versant, pente et exposition du versant déterminées par l'utilisation d'un MNT au pas de 25m.
- Climatologie : calcul de l'irradiation solaire (Avril-Nov.).

Notre objectif est ici simplement de caractériser un potentiel pédo-climatique, à des fins d'aménagements sur le long terme. Dans la démarche d'extrapolation à l'ensemble du territoire d'étude, nous n'utiliserons donc pas les paramètres que sont les formes d'humus et la couverture végétale. Le modèle d'irradiation utilisé ne tient ainsi pas compte de la densité du couvert de la canopée.



d - Changement d'échelle : extrapolation à l'ensemble du massif

Sur cette carte apparaissent en teintes rouges les secteurs dans lesquels les conditions pédoclimatiques sont optimales pour favoriser la croissance des cèpes. Les zones en teintes bleues et vertes présentent quant à elles davantage de facteurs atténuateurs de cette croissance ; la production y est moindre.

Conclusion partielle : Cette première approche du potentiel pédoclimatique du territoire vis à vis de la production d'une espèce fongique permet de localiser les parcelles forestières sur lesquelles il est particulièrement intéressant de réaliser une gestion permettant d'optimiser, durablement, la production effective de cèpes. Cette production ne pourra en effet s'exprimer qu'à travers une gestion des 3 autres facteurs signalés plus haut : (2) la composition des peuplements, (3) la structure des peuplements, (4) la matière organique.

e - Gérer la composition des peuplements

Il est important ici de bien distinguer les notions de «production»

et de «production durable». On peut aujourd'hui avoir de belles productions de cèpes sous des peuplements monospécifiques de hêtres ou de sapins alors même que l'on se situe à l'étage de la hêtraie-sapinière. Cependant, on peut avoir des productions équivalentes en peuplements mélangés, y compris avec des essences d'accompagnement. On peut même estimer qu'un peuplement mélangé présente une meilleure adaptabilité aux aléas climatiques en diversifiant les essences-hôtes des cèpes. Par ailleurs et surtout, on peut estimer que l'écosystème fonctionnera mieux et sera plus durable en retrouvant une plus grande biodiversité. Une préconisation est donc de réorienter la gestion vers une composition plus proche de l'habitat naturel (Hêtraie-sapinière).

f - Gérer la structure des peuplements

Plusieurs articles de cet ouvrage expliquent les relations entre structure des peuplements et productions de cèpes. Le traitement en futaie jardinée offre des conditions excellentes : proximité d'arbres adultes en étage dominant (qui alimentent les mycéliums via la sève élaborée) et de collectifs de petits arbres qui développent une mycorhization importante pour supporter la concurrence nutritionnelle dans les sols. L'étage dominant est ouvert et permet une bonne pénétration des pluies et de l'ensoleillement tandis que les collectifs de petits arbres créent des microhabitats favorables en protégeant le sol et les champignons en croissance contre un ensoleillement direct. Le renouvellement des arbres conduit à un rajeunissement constant favorable aux cèpes qui sont des espèces plutôt pionnières. Les diversités des âges des arbres, des strates, des microhabitats favorisent une biodiversité garante d'une durabilité de l'écosystème et donc des productions. Des préconisations peuvent être : de maintenir le traitement en futaie jardinée ou bien



de réduire les surfaces des parquets de régénération (une surface de 2000 m² a par exemple été préconisée en Navarre), de maintenir une certaine surface non exploitée pour garantir toujours la proximité d'arbres adultes au voisinage des plages de régénération. Ce dernier point rejoint une préconisation en terme de maintien d'une biodiversité dans les forêts gérées pour le bois. Il est également intéressant de proposer une alternative aux dépressage puis éclaircie systématique dans les jeunes peuplements, en préconisant l'« éclaircie par détournage » qui favorisera cette structure irrégulière intéressante pour les cèpes. La production fongique pourrait être considérée comme un argument économique (ou « social » ici) justifiant les surcoûts imposés par ce travail d'éclaircie (et plus tard d'exploitation) plus exigeant. La prévention contre les dégâts des cervidés est un argument complémentaire.

g - Gestion de la matière organique

Le développement des cèpes est fortement conditionné par la présence des constituants de la « litière » forestière. Le mycélium a une fonction de dégradation des feuilles et aiguilles. Les litières de feuilles, les mousses et les bois morts constituent des microhabitats favorables (stockage d'eau pour alimenter la croissance des champignons et protection contre l'air sec et l'ensoleillement direct). Les préconisations sont de protéger les litières de feuilles (tout en favorisant leur transformation par l'ouverture du milieu qui accompagne dans tous les cas la gestion forestière), de laisser les petits bois au sol (branches) qui retiennent justement la litière dans les pentes face aux facteurs érosifs (eau, neige...), de laisser des gros bois également (en particulier dans les pentes) qui permettent : (1) des circulations le long des troncs et accumulations d'eau qui favorisent l'initiation fructifère, (2) un stockage d'eau qui pourra « alimenter »

la fructification, (3) le maintien d'une ambiance favorable entre le sol et le dessous des troncs.

h - Les cèpes : des indicateurs pour la gestion

Les observations menées dans le programme Micosylva confortent l'hypothèse générale que les fortes productivités en cèpes sont en relation avec des caractères de déséquilibre des écosystèmes forestiers. Cela signifie aussi que les cèpes sont des auxiliaires importants des arbres dans des conditions difficiles.

Ces facteurs de déséquilibres peuvent être naturels (sols très superficiels). Ils peuvent aussi avoir été provoqués : exportations excessives de bois au fil des siècles et épuisement des réserves minérales, simplification excessive des peuplements, dégradation des formes d'humus et acidification des sols conduisant à une végétation herbacée également acidifiante (éricacées...). Dans les situations de très fortes productivités observées en cèpes (« Zones potentielles » en rouge sur la carte + facteurs de déséquilibres marqués dans les peuplements), l'indication générale est la nécessité d'une démarche de restauration des milieux : moindre exportation de bois, protection de la matière organique (bois morts, litières...), composition mieux équilibrée du peuplement (essences d'accompagnement...). La productivité en cèpes peut justifier dans ce cas une moindre valorisation du bois et peut-être certains travaux. La restauration conduira à terme à une baisse de productivité en cèpes (mais qui restera forte car le potentiel topo-climatique est bon en zones rouges sur la carte). Dans toutes les autres zones du territoire (vertes et bleues sur la carte), le respect des préconisations évoquées plus haut garantira une production assez intéressante de cèpes (10 Kg/ha/an) qui est donc l'un des éléments justifiant une gestion moins intensive et plus durable des peuplements.

« APPROCHE MULTIFACTORIELLE DES CAUSES DU DEPERISSEMENT DU CHÊNE LIEGE dans le Baixo Alentejo »

Helena Machado
Laurent Rigou
Jacques Guinberteau
Gilles Corriol
Jean Rondet

Problématique

La région du Baixo-Alentejo se caractérise par un paysage mixte agroforestier de type « Montado » associant Chêne liège (*Quercus suber*), cultures céréalières ou herbagères, élevage et cistes dans les zones de plus faible pression agricole. La valorisation du chêne liège correspond traditionnellement et encore aujourd'hui à une part importante de l'économie régionale, à travers l'exploitation du liège (cycle de récolte : 1 fois tous les dix ans) mais aussi à travers l'utilisation des glands par les porcs. Les peuplements ne sont pas équiennes. La régénération naturelle a jusqu'à une époque récente assuré le renouvellement des peuplements.

Cependant, les peuplements de chênes lièges connaissent depuis deux décennies un déclin très marqué, qui semble s'accélérer depuis ces dernières années, atteignant toutes les classes d'âges.

Il en résulte à ce jour une transformation déjà très sensible dans certaines zones, avec modification du paysage et de l'équilibre de l'agrosystème. Des programmes d'étude ont été initiés par quelques équipes qui ont pu cerner quelques pistes explicatives. Celles-ci restent cependant partielles et elles demandent à être analysées à nouveau dans le cadre d'une approche multifactorielle

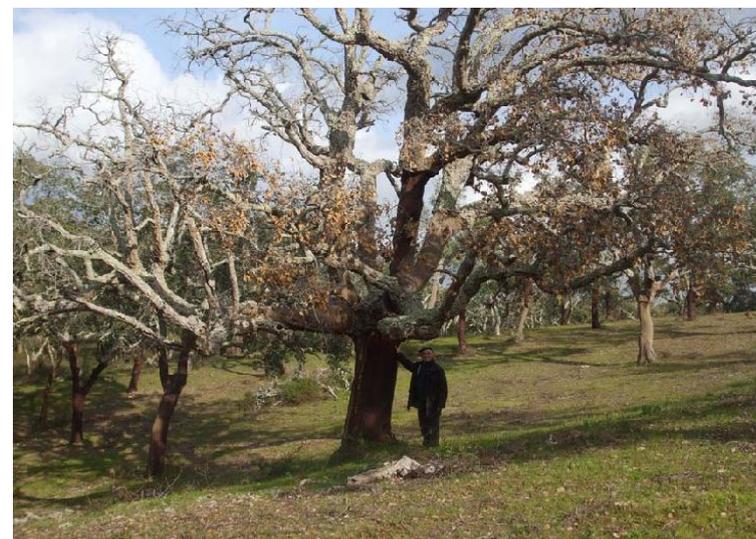


Fig1 : Chênes lièges fortement dépérissants dans le Baixo-Alentejo.

Contexte social et écologique du diagnostic.

Le programme Micosylva a développé une approche multifactorielle des écosystèmes forestiers et agrosylvicoles intégrant des outils et méthodes pluridisciplinaires : analyses du peuplement et de la flore associée, de la mycoflore associée, des composantes pédologiques, pédoclimatiques et topoclimatiques, du fonctionnement racinaire, de l'histoire de l'agrosystème et des pratiques associées, de la biodiversité générale.

Parallèlement, le programme vise à montrer que l'opportunité de développer les productions « naturelles » de champignons comestibles offre un argument social et économique qui peut soutenir une démarche globale de gestion durable. En effet, les seuls arguments écologiques pour faire adopter des pratiques de gestion nouvelles se heurtent aux résistances des acteurs traditionnels de la gestion des milieux.

Le contexte de la suberaie du Baixo-Alentejo offre un cas d'étude exemplaire pour trois raisons qui sont liées :

- tout d'abord, la situation sanitaire très inquiétante des peuplements de chênes (chênes lièges mais aussi chênes verts en fait) semble résulter d'une conjonction de facteurs économiques, sociaux, agricoles, pédologiques, climatiques et, pour finir, phytopathologiques.

- cette situation ne semble pouvoir trouver des remèdes que si on applique un diagnostic global pour la comprendre, au risque sinon d'oublier un élément essentiel.

- des nouvelles propositions de gestion doivent intégrer à la fois des évidences écologiques mais également des nouvelles solutions de valorisation de cet agro-écosystème particulier, solutions qui seraient des alternatives aux pratiques que l'on voudrait voir abandonner.

La mycosylviculture offre à nos yeux un cadre à la fois conceptuel et pratique qui permet d'envisager une telle approche globale.



Objectifs de ce premier diagnostic Méthodes

Dans le temps du projet Micosylva, il nous a semblé intéressant de réfléchir collectivement à la définition (ii) d'une méthodologie de diagnostic de la situation sanitaire des peuplements de chênes, (ii) d'un protocole de mise en place de nouvelles solutions de gestion.

Ce travail répond bien à l'objectif majeur de ce programme européen qui est de travailler à la définition d'un cadre de référence nommé le « diagnostic mycosylvicole ».

A charge ensuite aux autorités publiques et aux acteurs privés responsables de ces agro-systèmes de se donner les moyens d'utiliser concrètement ces cadres méthodologiques. Leur application demande en effet un effort de plusieurs années.

Concrètement, ce premier travail aboutit à :

(i) une proposition d'un protocole de diagnostic et mycorhization contrôlée en vue d'une replantation.

(ii) proposition de création d'un site pilote et de ressources pédagogiques (document détaillant un diagnostic des problèmes et expliquant des nouvelles propositions de gestion) pour pouvoir expliquer aux acteurs de terrain les causes du dépérissement et les bonnes pratiques qui devraient être mises en place.

Facteurs explicatifs du dépérissement des chênes lièges.

(ces facteurs explicatifs supposés sont successivement analysés et mis ensuite en relation.

a) hypothèse d'une action d'un dérèglement

climatique. Une augmentation des amplitudes thermiques et hydriques, appliquées sur un pas de temps bref au regard de la stratégie d'adaptation du chêne liège, amène des situations plus fréquentes et cumulatives de stress hydriques prononcés.

Méthodologie proposée : étude bibliographique sur la stratégie d'adaptation du chêne liège/climat

+ Comparaison des séquences climatiques entre période avant années 80 et après : 1960-1980 et 1980-2010 ?

Critères de comparaison à définir en fonction étude bibliographique précédente.

Bibliographie : voir en particulier ROBIN C., CELLE C. & DESPREZ-LOUSTAU M.L., Les cahiers du DSF 1 – 1996 N°61, "Effect of water stress on cork and holm susceptibility to *Phytophthora cinnamomi*" in Physiology and genetics of tree phytophthora interactions, IUFRO S7, 01 symposium August 31– September 5, Arcachon – France, 1997

b) problème de l'engorgement des sols,

L'engorgement des sols, est sans doute lié à plusieurs causes :

(i) L'engorgement important des sols, constaté sur le terrain est lié en premier lieu au types de sols rencontrés, dont le comportement hydrodynamique résulte de leur pédogenèse mais également des pratiques agricoles menées dans le passé. Il est possible que le passage d'une valorisation traditionnelle des montado (liège + prairies permanents et élevage) à une valorisation plus intensive (travail des sols et mise en culture) ait entraîné au fil du temps une modification du comportement des sols vis à vis de la circulation de l'eau (diminution de la porosité par tassement, diminution des teneurs en matière organique et diminution de l'activité biologique des sols).

(ii) La destructuration des sols liée aux alternances humectation-dessiccation dans un contexte de très grande fragilité physique, et conduisant également à des phénomènes d'anoxie, de résistance à la pénétration des racines.

(iii) L'engorgement a sans doute également une relation avec à une pluviométrie également modifiée autant dans sa répartition que dans son intensité.

(iiii) Une amplification des perturbations pédoclimatiques du fait d'une ouverture grandissante du milieu consécutive à la disparition des arbres.

Effets de l'engorgement sur les systèmes racinaires et la santé des arbres.

Cet engorgement peut entraîner une nécrose des racines (par anoxie, toxicité aluminique) ainsi qu'une altération du fonctionnement des associations mycorhiziennes (cf. plus loin la relation avec le problème du *Phytophthora*).

Méthodologie d'étude proposée :

- approche multisites : approche historique des changements d' usages, couplée avec une approche pédologique comparative de terrain + analyses de base (M.O. En particulier) + analyse activité biologique éventuellement : sols de même origine pédologique, de même situation topographique mais ayant été valorisés différemment : prairies permanentes ou bien cultures.

- approche d'un « site de référence » : observations des sols sur site pilote 1 km² + utilisation d'un Modèle Numérique de Terrain pour mettre en relation trois paramètres : signes d'engorgement des sols, position des sols par rapport à la topographie, dépérissement des sols ==> cartographie zones de sensibilité et zones de moindre sensibilité.



Fig2 et 3 : Observation et description des sols. (Laurent Rigou et helena Machado en compagnie d'un technicien forestier du secteur visité).

Description sommaire des sols

c) Etat sanitaire du peuplement de chênes lièges.

L'état sanitaire des arbres est très préoccupant au vu de l'évolution très rapide et qui semble s'accélérer des symptômes de dépérissement et mortalités des sujets adultes mais également des jeunes sujets non encore exploités pour le liège. Le problème de mortalité est d'autant plus inquiétant que la régénération naturelle est compromise.

Du point de vue des symptômes phytopathologiques, le dépérissement est en relation avec principalement un développement du *Phytophthora cinnamomi*, mais aussi d' *Hypoxylon sp.*, agent du Charbon de la mère (*Biscogniauxia mediterranea* = *Hypoxylon mediterraneum*)

C'est un parasite des blessures et de faiblesse ne s'attaquant pas spécifiquement aux chênes-lièges mais dont la présence sur cet hôte est souvent observée. Les circonstances d'affaiblissement prédisposant aux attaques sont variables : démasclage mal effectué, blessures diverses, passage des incendies, période de sécheresse, pauvreté stationnelle... *Biscogniauxia mediterranea* est un champignon se développant sur la mère. Il prend l'apparence de plaques souscorticales carbonacées, noires et dures, elles apparaissent par les fissures longitudinales de l'écorce.



Fig.4 Blessure causée par le passage d'engins agricoles



Fig.5 J.Guinberteau et H.Machado, Mycologues et phytopathologistes observant des symptômes de présence d'*Hypoxylon sp.* (cf.texte)



Fig.6 Les symptômes, de près.



***Diplodia mutila* (Fr.) Mont.**

Champignon - Forme sexuée : *Botryosphaeria stevensii* Shoem.

Position systématique : Ascomycète

Ce champignon endophyte opportuniste attaque les arbres blessés lors du démasclage. Sa présence est encore peu relevée en Catalogne nord, quoique méconnu, mais il est considéré comme virulent en Catalogne sud et il a été également observé en Provence. Parasite secondaire, les mortalités sont souvent localisées **dans des milieux humides, et sur des arbres physiologiquement affaiblis**. Ce champignon est une pourriture, Sa forme sexuée est *Botryosphaeria stevensii*, Sa présence n'est facilement observable que par les symptômes qui y sont liés.

Phytophthora cinnamomi : son développement est lié à une conjonction de nombreux facteurs mais en particulier : (1) la topographie (*Phytophthora* est favorisé par des phénomènes d'engorgement), (2) des labours anciens trop proches des arbres, la charrue blessant les racines, favorisant ainsi la pénétration de *Phytophthora cinnamomi* et sa dissémination d'un arbre à l'autre, (3) les blessures occasionnées également par une récolte d'*Amanita ponderosa* effectuée dans de mauvaises conditions (à un stade trop jeune, "oeuf" hypogé à ce stade, et de manière trop systématique, (4) la dégradation de la communauté de champignons ectomycorrhiziens normalement présents sur les

systèmes racinaires et dont on sait qu'ils assurent un rôle de protection des systèmes racinaires contre les infections parasitaires. Cette dégradation se révèle par une observation des racines mais également par une observation des fructifications fongiques à la surface du sol (diagnostic mycocenotique). Un déclin des champignons mycorrhiziens se traduit par un déplacement de la mycocenose vers les champignons saprophytes. Par ailleurs, certains saprotrophes sont révélateurs de cette dégradation. En 1992 & 1993 dans un programme précédent (Improvement of quality and productivity of Cork Oak ecosystem / CAMAR Contract 8001 CT 91.0111), nous avons notamment mis en évidence la présence « explosive » d'une mycoflore saprophytique à dominance de Phallacées (*Clathrus*, et *Phallus*) fortement indicatrice de traumatisme racinaire (ceci dans les parcelles labourées avec cultures « dérobées » céréalières). (Notons d'ailleurs que la situation apparaît visuellement s'être fortement dégradée depuis cette époque).



Méthodologie proposée pour vérifier hypothèse (1) concernant l'influence de la topographie sur le développement de *Phytophthora cinnamomi* (via les conséquences de la topographie sur les phénomènes localisés d'engorgement) :

sur le site pilote 1 km² tel que défini précédemment, échantillonnage des racines pour évaluer par secteurs les niveaux d'infection, échantillonnage des champignons mycorhiziens (fréquence mycorhiziens inversement corrélé avec fréquence *Phytophthora*) géopositionnement des observations.

Méthodologie pour étayer l'hypothèse (2) concernant l'effet néfaste des anciens labours :

Etudier l'historique de parcelles équivalentes (nature des sols, topographie), très touchées par *phytophthora* et peu touchée.



Démarche de propositions de gestion découlant du diagnostic (à affiner en fonction des résultats des études précédentes)

Les objectifs de nouvelles propositions de gestion sont:

(a) de préserver la suberaie en ciblant une régénération artificielle sur les secteurs les moins sensibles (secteurs identifiés grâce à la démarche de diagnostic précédemment décrite), en utilisant des plants mycorhizés constitués en laboratoire et pépinière un par des associations *Q. suber*/champignon comestible et champignon issus de prélèvements locaux

Dans un travail précédent (mené en 1992 & 1993) parmi les champignons spontanés et bien représentés de la mycoflore symbiotique (type « Early Stage Fungi) du chêne-liège, nous avons mis en évidence un certain nombre de modèles pouvant offrir de bonnes perspectives de mycorhization au stade plantule (en conditions axéniques). Ce sont les espèces des Genres *Pisolithus*, *Scleroderma*, *Laccaria*, *Astraeus*, *Hebeloma*, etc. pour lesquelles de bons taux de mycorhization peuvent être attendus au stade de la pépinière ou au laboratoire. Il nous paraît important d'utiliser des souches locales de ces champignons EcM pour lesquelles une grande variabilité génétique intraspécifique existe, et notamment pour tenir compte des adaptations pedoclimatiques (xéricité et

intéressante pour le chêne liège, présentant de très bons taux de mycorhization et même un marqueur de coloration pigmentaire au niveau des mycorhizes (facilitant les notations au stade de la pépinière et repérage).

Une mycorhization mixte par un champignon "auxiliaire de croissance" + "champignon comestible" offrirait de manière complémentaire une piste nouvelle de valorisation de ces écosystèmes, tout en donnant une opportunité de mieux sensibiliser les gestionnaires au fonctionnement des systèmes racinaires et à la nécessité de ne pas les traumatiser par les labours.

L'espèce comestible *Boletus aestivalis* qui semble à priori intéressante, car déjà bien présente dans ces milieux et d'un intérêt alimentaire et commercial au moins égaux à ceux d'*Amanita ponderosa*, pourrait être utilisée dans l'association.

Au préalable, l'étude approfondie de terrain proposée dans la phase de diagnostic, basée sur la mycoflore des suberaies, permettrait d'appréhender de réelles synergies entre espèces fongiques, ou tout au moins la mise en évidence d'espèces partageant la même niche écologique, ou liées entre elles dans la chronologie de succession spatio-temporelle.

b) de proposer un mode général d'entretien des suberaies :

- Dans les zones les moins sensibles et régénérées, application d'un code de bonnes pratiques comprenant en particulier le respect, par les engins de travail du sol, d'un périmètre de préservation des systèmes racinaires autour des arbres. Ce code doit comprendre également des normes pour une récolte non traumatisante d'*Amanita ponderosa*.

Parallèlement, la mise en place d'actions de sensibilisation permettrait de faire connaître et comprendre ce code de bonnes pratiques.

- Dans les zones sensibles, recherche de nouvelles opportunités en particulier basées sur la valorisation d'autres essences arborées ou arbustives non sensibles à *Phytophthora cinnamomi*.

Une première piste est proposée autour de la valorisation des cistes (*Cistus ladanifere* en particulier), naturellement présents, à travers une mycorhization contrôlée par *Boletus edulis*. Les travaux de l'un des partenaires du programme Micosylva (Castille et Leon) offrent de bons espoirs dans ce sens. La production de ce champignon est naturellement très importante dans des Cisteraies de l'Ouest de la Castille et Leon. Un programme de mycorhization des Cistes pourrait être couplé avec la mycorhization des chênes précédemment proposée.

Une deuxième piste s'intéresse à la valorisation de

plantes aromatiques productrices d' "huiles essentielles". A côté des cistes, les plus facilement envisageables car spontanément présents, d'autres plantes productrices de molécules plus "précieuses" pourraient être étudiées.

Une réflexion sur ces pistes de valorisation, associée à un travail visant à préserver ces écosystèmes menacés devrait se faire de manière concertée entre les gestionnaires, les scientifiques (INRB, Universités) et les autorités publiques.

Dans ce sens, l'Autorité Forestière Nationale est partenaire d'un projet européen (Interreg C) d' "échange de bonnes pratiques » visant à la préservation de la biodiversité forestière (cf. document "Biosylva"). Une réponse favorable (espérée en Janvier 2012) de l'Europe offrirait un cadre de travail pour trois ans, pour valoriser et développer le travail déjà fait sur cette problématique de préservation des suberaies. Dans le cas contraire, cette candidature aura eu le mérite de montrer l'intérêt de l'Autorité Nationale et des acteurs associés à ce "chef de file" national pour cette question et pour les solutions envisagées ici.

Les objectifs du projet Biosylva

(projet de coopération européenne interreg C, dix pays partenaires (Ouest, Est, Nord, Sud Europe))

Montrer, à travers l'analyse d'expériences réussies, comment une gestion participative de projets territoriaux permet de préserver la biodiversité forestière. Stimuler les initiatives régionales dans ce domaine. Créer un réseau d'échange sur les bonnes pratiques et de transfert de bonnes pratiques. Diffuser largement les informations concernant les expériences de gouvernance et les outils nouveaux de diagnostic et d'animation utilisés.

1- Identifier, définir, caractériser ces bonnes pratiques de gestion participative, dans une diversité de territoires. Analyser les conditions de succès : cadre de gouvernance et gestion des forêts, dynamique de projet, définitions des fonctions attendues pour le territoire, socle commun de connaissance sur le fonctionnement du territoire : écosystèmes, fonctions socio-économiques, relations entre fonctions socio-économiques et fonctions environnementales, conditions d'une réelle multifonctionnalité et de l'adhésion des acteurs à celle-ci.

2- Enrichir l'analyse des relations entre démarches participatives et préservation de la biodiversité par la comparaison, les apports mutuels entre les différentes expériences régionales. La comparaison et le partage de savoirs et savoir-faire apportera des enseignements et des idées nouvelles pour améliorer le fonctionnement des projets territoriaux en cours et les enrichir.

3- Associer l'ensemble des acteurs à cette démarche d'analyse : acteurs Régionaux impliqués directement dans le territoire de projet., acteurs en charge des politiques forestières, des politiques environnementales et des politiques qui visent à développer et soutenir les cadres de gouvernance participative.

4- Associer l'ensemble des acteurs, comprenant impérativement les acteurs politiques à la démarche de transposition interrégionale, aussi bien dans les phases d'exportations que dans les phases d'importations. Grâce aux différentes formes et occasions d'échange - les visites conjointes, séminaires thématiques, vie d'un site Web et d'autres moyens de communication, créer une dynamique commune de réflexion, favorable à l'innovation en matière de projets territoriaux

5- Capitaliser et diffuser (i) l'ensemble des descriptions et analyses des bonnes pratiques étudiées durant le projet, (ii) les compte-rendu et analyses des démarches de transposition et d'importation des bonnes pratiques,(iii) l'ensemble des outils méthodologiques, techniques, scientifiques mis en œuvre dans les diagnostics territoriaux, les opérations de gestion, les actions d'animations de projets, les actions de communication.

Rédaction projet : Jean Rondet et Fernando Martinez Peña Mars 2011.

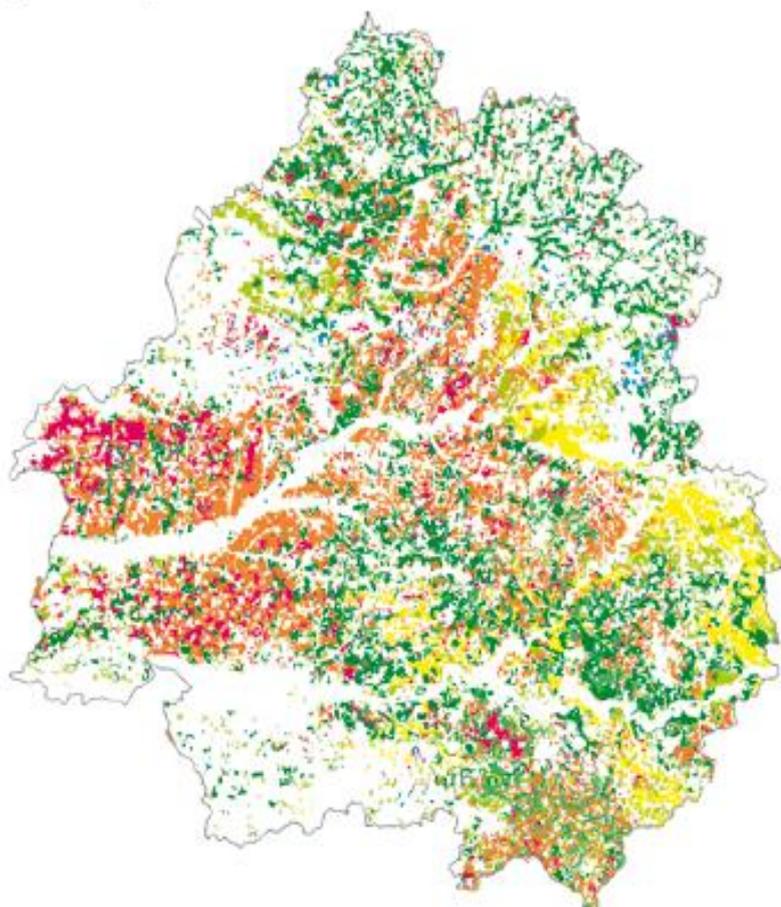
LA MYCOSYLVICULTURE

à l'échelle massif : La Forêt de Dordogne

La Dordogne est le 3^e département français par sa surface boisée. 417 000 ha de forêt, une surface qui a doublé en 150 ans. La forêt recouvre 45% de la surface du département. Le taux de boisement peut être supérieur à 60% dans certaines zones.



- Futaie de chênes (chênes nobles)
- Mélange futaie de chênes nobles et Taillis (châtaigniers)
- Taillis de feuillus (châtaignier)
- Taillis de chênes pubescents
- Boisement de feuillus (châtaigniers)
- Futaies de conifères (pins maritimes)
- Mélange mixtes de résineux et de feuillus (Futaies de pins maritimes et taillis de châtaigniers)



Source : carte issue du poster « Nature et Paysage » élaboré par le CAUE de la Dordogne et édité par le Département en 2000, IFN (autorisation N° 991192/DT).

1 - Une forêt diversifiée (source IFN - Interbois Périgord)

TAILLIS SIMPLE OU MÉLANGÉ

Châtaigniers : 20.4 % - Chênes : 39.5 % - Charmes, autres : 7.5 %



avec réserves

Chênes pédonculés - Pins maritimes : 24.7 %
Pins sylvestre : 5 % - Autres résineux : 2.9 %

FUTAIE



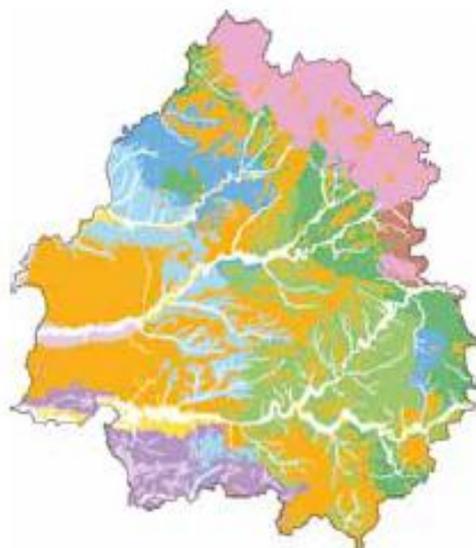
Sur le plan géologique, la Dordogne est une zone intermédiaire entre :

Le massif central

- Roches cristallines formées à l'ère primaire
- Sols sur roches granitiques du Nord Est

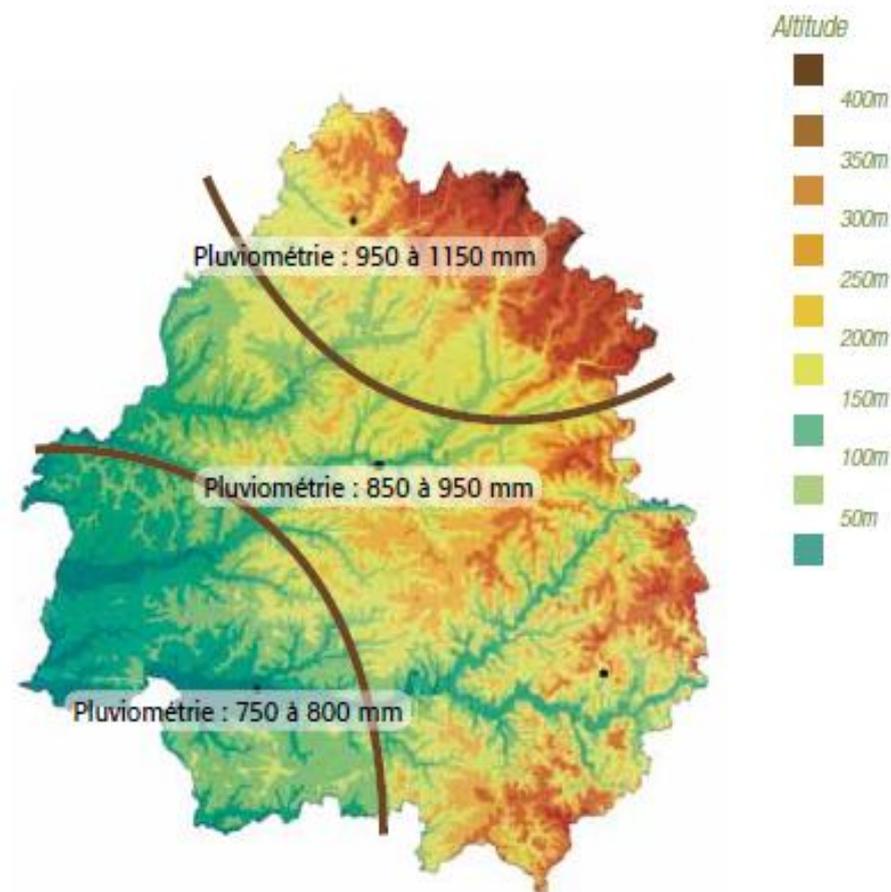
et le bassin aquitain

- Dépôts calcaires du jurassique et du crétacé à l'ère secondaire
 - > Causse périgourdins
- Dépôts sédimentaires dus à l'érosion du massif central à l'ère tertiaire
 - > Sables, graviers, argiles caractéristiques de la Double, du Landais et de la Bessède
- Dépôts sédimentaires pyrénéens à l'ère tertiaire
 - > calcaires, molasses du Bergeracois



- | | | |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Soils sur roches cristallines (profonds acides, parfois hydromorphes) Soils sur sédiments anciens (profondeur variable, acides) Soils sur dépôts détritiques siliceux (profonds, souvent très acides, engorgement possibles) | <ul style="list-style-type: none"> Causse du jurassique (soils extrêmement minces, filtrants, caillouteux) Causse du crétacé (soils minces, filtrants, caillouteux) Terres de grolles (soils peu épais, forte pierrosité) Terres de champagnes et d'Issigeac (soils blanchâtres) | <ul style="list-style-type: none"> Calcaires tertiaires et terrortis (texture fine) Bouibène (soils profonds, sables fins et argiles, acides) Graves (soils profonds, sables fins et argiles, acides) Terrasses et bas-fonds inondables (soils profonds, alluvions, engorgement possible) |
|---|--|--|

La diversité des sols périgourdins, mais aussi un relief et un climat varié avec des influences continentales et atlantiques sont la clef d'une mosaïque de paysages. De l'épicéa, du chêne pédonculé sur les sols acides, profonds et arrosés du nord du département jusqu'au chêne vert des coteaux calcaires et secs du Sarladais, la végétation est également très riche en diversité :



Source cartes : CAUE de la Dordogne.

2 - La production de champignons

la forêt périgourdine (composée à 63% de mélanges futaie/taillis, à 67% de feuillus) est largement propice à la production de champignons sylvestres comestibles. Les principales espèces récoltées : les cèpes, les girolles, les trompettes de la mort, les pieds de mouton...

Les cueilleurs plus avertis consomment également l'orange (amanite des Césars), le lactaire délicieux, le bolet bai, quelques espèces de russules...



L'espèce la plus convoitée est le cèpe dont l'appellation comprend 4 espèces :



1, 2 et 3 p39

Marchés aux cèpes.

Crédits photos : J. GAUTHIER

Cèpes d'été

Cèpe d'été
Boletus aestivalis



Cèpe tête noire
ou tête de nègre
Boletus aereus



Cèpes d'automne

Cèpe des pins
Boletus pinophilus



Cèpe d'automne
ou cèpe de Bordeaux
Boletus edulis



Les 4 espèces sont récoltées en Dordogne avec une prédominance des espèces d'été (cèpe tête noire et cèpe d'été) sous les chênes, les châtaigniers et les charmes. Les cèpes d'automne sont récoltés plus tardivement et en quantité moins importante sauf dans le massif du Nord Est de la Dordogne où cette espèce est largement répandue (forêts de chênes, d'épicéas). A noter, la présence des cèpes de pins (*Boletus pinophilus*) exclusivement dans cette zone.

En Dordogne, la cueillette des cèpes est avant tout une tradition et un art de vivre. Il est très difficile d'estimer les quantités de cèpes récoltées dans les forêts périgourdines. Une large partie est auto-consommée. La récolte et la commercialisation ne sont pas organisées à l'exception des marchés de Villefranche du Périgord et de Monpazier. Ces deux marchés ouvrent spécialement en période de cueillette. Ils garantissent l'origine des champignons. En effet, seuls les propriétaires du canton et des communes voisines (détenant une carte délivrée par la mairie), sont



autorisés à vendre sur le marché. Ces marchés sont ouverts à la fois aux grossistes, aux professionnels (restaurateurs, conserveurs) mais aussi aux particuliers. Au-delà du marché du frais, un potentiel de développement important existe en Dordogne autour de la gastronomie et du tourisme ; la demande de cèpes en conserve (séchés, cuisinés...) est loin d'être satisfaite. Plus largement encore, la découverte et la connaissance des

champignons comestibles (et non comestibles) offre un champ immense de possibilités.



3 - La gestion de la forêt A qui appartient la forêt ?

La forêt périgourdine est privée à 99%. Avec environ 100 000 propriétaires dont plus de 80% détiennent moins de 4 ha, la surface boisée est très morcelée. Seulement 50% de la production annuelle de bois est récoltées.

Les volume de bois récoltés annuellement se répartissent de la manière suivante :

- Bois d'œuvre 40%
- Bois d'industrie 54%
- Bois de chauffage 6%



Ratio bois d'œuvre / bois d'industrie < 0,5

Côté champignons : le vieillissement des peuplements et la fermeture des milieux entraînent une diminution des zones de productions ; la cueillette est souvent localisée dans les bordure et les lisières.

A l'inverse, une forêt exploitée et gérée est favorable à la production de cèpes



4 - Un exemple : le massif Sud-Dordogne

a - Une production de cèpes directement liée à la sylviculture du châtaignier.

Le massif forestier de 31 200 ha représente 60% de la surface totale de ce secteur. 60% de cette surface est constituée de taillis de châtaigniers simples ou sous futaies de pins maritimes (50 à 80 réserves/ha). Le massif concentre une grande partie des taillis de châtaigniers de qualité du département (sols acides et profonds avec une bonne capacité de drainage). Ratio bois d'œuvre/bois d'industrie = 0.5 (fabrication de parquets, de lambris...). Le taillis est exploité régulièrement environ tous les 40 ans.

Historiquement, une sylviculture traditionnelle ancrée dans l'économie locale et liée à l'activité agricole.

Une étude de la DDAF, réalisée dans les années 80, mettait en évidence tous les facteurs favorables :

- Une ressource abondante et de qualité.
- 60% de la forêt appartenait aux agriculteurs ; les revenus tirés de la forêt pouvaient représenter jusqu'à 45% du revenu des exploitations agricoles (coupe de 1 à 2 ha/an).
- Le bois était exploité, trié par les agriculteurs. Les industries de transformation du bois d'œuvre se sont développées sur place : fabrication de parquets, lambris, piquets.

100% de la ressource était exploitée (contre 50% dans le reste du département).

b - Un marché aux cèpes organisé

Ce n'est pas un hasard si les deux marchés organisés pour la commercialisation des cèpes, Villefranche du Périgord et Monpazier, sont situés dans ce massif. La production de cèpes est importante et régulière, à l'image de la sylviculture.

L'exemple du marché de Villefranche du Périgord représente une zone de collecte de 10 000 ha. Ce marché rayonne bien au-delà du département : les restaurateurs, les particuliers viennent de toute l'Aquitaine et de Midi-Pyrénées pour s'approvisionner en cèpes de châtaigniers réputés pour leur qualités gustatives.



Le tableau ci-dessus illustre le caractère aléatoire de cette production ; en moyenne, une année sur trois est très productive. Malgré cela, les cèpes avec le marché organisé comme outil de commercialisation est un atout de développement économique important.

c- Perspectives

L'impact des agriculteurs sur la forêt a été divisé par deux. Aujourd'hui, seulement 25 à 30% de la forêt appartient aux agriculteurs. La récolte est également en baisse : diminution du nombre d'agriculteurs et de bûcherons professionnels. Le stock sur pied vieillit et se déprécie : roulure au delà 40 ans. Une partie croissante des surfaces en taillis de châtaigniers dépérit : vieillissement de l'ensouchement, accidents climatiques, attaques de champignons parasites.

Selon la qualité du sol et l'état du taillis plusieurs solutions sont possibles pour remettre en production des boisements :

- Reboisement en plein,
- Enrichissement,
- Régénération naturelle pour repartir sur des franc-pieds.

Conclusion : Vers une « mycosylviculture » en Dordogne

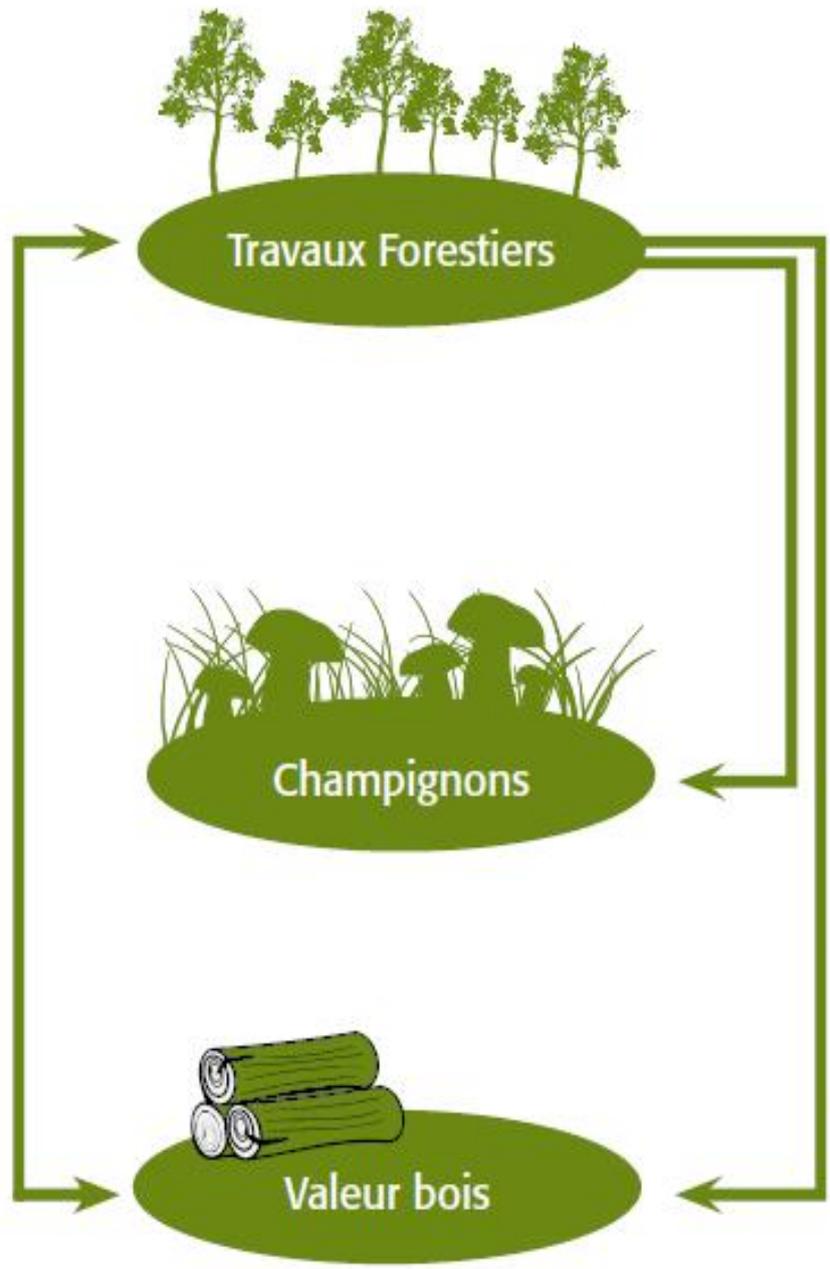
Le massif Sud-Dordogne est un exemple où la sylviculture classique est aussi un exemple de mycosylviculture.

Comment combiner sylviculture et productions de champignons ?

C'est la question que nous nous sommes posés sur les principaux modèles forestiers périgourdiens. Intégrer les champignons à la valeur globale du peuplement forestier peut être un argument supplémentaire pour entreprendre des travaux de gestion sylvicole.



Objectif Champignons



La Mycosylviculture

Chapitre 5 : la gestion mycosylvicole



Ce document est réalisé dans le cadre du projet Micosylva. Micosylva est un projet scientifique et technique européen cofinancé par des aides FEDER-INTERREG. L'objectif est de promouvoir en Europe une gestion multifonctionnelle et durable des forêts qui intègre et valorise les fonctions écologiques et socio-économiques des champignons sylvestres comestibles. Afin de réaliser ce projet, sur la base d'une coopération entre 8 partenaires, espagnols, français et portugais, un réseau de 18 zones myco-sylvodémonstratives a été mis en place dans le sudouest de l'Europe (appelé aussi espace SUDOE). Fort de ce réseau de référence, la finalité du projet est de construire durablement dans l'espace SUDOE, une stratégie commune de préservation des écosystèmes forestiers tout en montrant le rôle essentiel des champignons.

Coordination :

Jean Rondet et Fernando Martinez Peña

Auteurs du chapitre 5 :

Anaïs Zimmerlin – Chambre d'Agriculture Hautes-Pyrénées, France

Thomas Borderie – Chambre d'Agriculture Hautes-Pyrénées

Nathalie Seegers – Chambre Agriculture Dordogne, France

Mathieu Bajard - Chambre d'Agriculture de la Dordogne

Mathilde Harel - CRPF Midi-Pyrénées

Adrien Peyrat - Chambre d'Agriculture de la Dordogne

Jean Rondet – EPLEFPA Vic, France

Fernando Martinez Peña – DIEF Valonsadero, Soria, Espagne

Vincent Pontois - ONF, France

Dessins, aquarelles :

Jean Rondet et Françoise Boutet

Sommaire



Chapitre 5 : La gestion mycosylvicole

PROPOSITIONS DE BASE DE LA MYCOSYLVICULTURE	4
TAILLIS SIMPLE MIXTE	8
TAILLIS AVEC RESERVES	10
ENRICHISSEMENT DU TAILLIS	12
RENOUVELLEMENT DU TAILLIS	14
FUTAIE FEUILLUE	16
FUTAIE RESINEUSE	18
REBOISEMENT EN PLEIN	20
LE DETOURAGE	22
MYCOSYLVICULTURE ET GESTION DURABLE	24
BIBLIOGRAPHIE	37

PROPOSITIONS DE BASE

de la myco-sylviculture

> *Présentation*

L'enjeu est de trouver une synergie entre la sylviculture et la mycologie.

Nous avons expliqué en introduction qu'il est essentiel de mettre en relation aujourd'hui la sylviculture, qui s'intéresse au développement des arbres, et la mycologie, qui s'intéresse au développement des champignons. Ces organismes vivent ensemble dans les écosystèmes forestiers, depuis leur origine sur la terre. Les articles précédents ont rappelé les liens très étroits existant entre les **arbres**, les **plantes** en général, les **champignons**, le **climat**, la **matière organique** (litières, bois morts...), le **sol**. La mycosylviculture veut proposer des modes de gestion qui tiennent compte de ces six facteurs, dans le but d'optimiser le fonctionnement de l'écosystème. Ainsi, on peut produire à la fois du bois et des champignons, tout en préservant le capital pour l'avenir : la biodiversité et les sols.

Il nous semble utile de proposer des recommandations générales concernant successivement les six facteurs énoncés ci-dessus.

1 - Agir sur la composition du peuplement

Recommandations de base : Favoriser la diversité d'essences.

Du point de vue de la mycosylviculture, chaque essence a ses qualités principales : produire du bois d'oeuvre de qualité, apporter une litière intéressante pour le fonctionnement de l'humus, de la conservation des sols et donc de la nutrition des arbres, être un bon «hôte» pour des champignons comestibles à bonne valeur commerciale.

Cet ensemble de qualité peut être réuni dans un peuplement constitué d'essences aux qualités complémentaires (mélanges rési-

neux-feuillus plutôt que seuls résineux, mélange Pin maritime - Pin sylvestre plutôt que Pin maritime seul,...).

Un peuplement mélangé valorisera mieux, durablement, un biotope (sol+climat) qu'un peuplement monospécifique. Trois raisons à cela : (a) les systèmes racinaires n'exploitent pas le sol de la même façon et les besoins des arbres ne sont pas équivalents. Un mélange (surtout si il est inspiré d'un mélange rencontré dans un type d'habitat naturel) utilisera les ressources du milieu de manière plus équilibrée. (b) un mélange d'essences abrite une plus grande diversité de champignons. Cette diversité fongique assure une meilleure efficacité des systèmes racinaires pour absorber l'eau, les minéraux, l'azote des sols. (N'oublions pas que les mycéliums des champignons assurent un relais essentiel entre racines et sol). (c) Un mélange d'essences présentera une plus grande capacité d'adaptation aux aléas climatiques d'une année à l'autre et aux stress climatiques en années difficiles. Cela peut s'expliquer par des caractéristiques différentes des arbres et par les arguments présentés en b. Cette plus grande «adaptabilité» favorise la durabilité des productions de bois et de champignons.

2 - Agir sur la dynamique de croissance des arbres

La production de bois et une production importante de champignons (cèpes, lactaires) reposent sur une bonne dynamique de croissance des arbres. Les éclaircies favorisent la photosynthèse des arbres. Les produits de la photosynthèse profitent au développement des arbres mais aussi au développement de champignons mycorhiziens comme les cèpes. La présence d'arbres jeunes dans les peuplements favorisent également ces espèces. Dans ce sens, un mélange d'arbres d'âges différents est intéressant (obtenu en particulier par un traitement irrégulier des peuplements).



3 - S'adapter au climat et agir sur le climat du sous-bois

Le climat général se traduit au niveau d'un territoire localisé et d'un massif forestier par une diversité de topo-climats. Les topo-climats en exposition Nord ou Sud ne sont pas les mêmes. La gestion forestière peut tenir compte de cela en favorisant telles essences au Nord et telles autres au Sud. De même, en climat du Sud-Ouest, les cèpes fructifiant en Automne «préfèrent» les bonnes expositions. Dans les montagnes du Nord de la Région de Catalogne en Espagne, les lactaires délicieux fructifient au contraire plutôt dans les pentes Nord, moins exposées aux rayonnements solaires trop intenses.

Il est aujourd'hui facile, en utilisant un programme informatique, de visualiser sur un territoire forestier les parcelles qui reçoivent le plus de rayonnement solaire et celles qui en reçoivent le moins. On peut ainsi réaliser une carte visualisant par exemple trois types de parcelles : rayonnement reçu faible, moyen, élevé.

La même chose pour l'eau qui s'accumule plus ou moins dans le sol en fonction de la position de la parcelle dans la pente du terrain. (Une parcelle située en bas de pente reçoit de l'eau qui circule à la surface ou dans le sol des parcelles situées au-dessus). Nous pouvons aussi croiser ces deux types d'informations pour caractériser des parcelles en fonction des deux paramètres combinés (rayonnement reçu, accumulation d'eau) et représenter ces informations sur une carte. Celle-ci permet de définir des objectifs et techniques de gestion différents selon les situations topographiques des parcelles.

Le climat du sous-bois dépend de la structure du peuplement. Un peuplement très éclairci reçoit au sol plus d'eau et plus de rayonnement solaire. Les effets positifs sont : (a) un meilleur fonctionnement des systèmes racinaires, plus actifs en sol réchauffés, (b) une meilleure pénétration des pluies qui favorisent l'initiation fructifère des champignons, (b) un recyclage plus rapide de la matière organique.

Cependant, un milieu trop ouvert est plus sensible au dessèchement, en période de climat est très chaud et sec. La préconisation est de ce fait de deux ordres : (a) ne pas éclaircir de manière homogène et créer ainsi une alternance de zones plus fermées et de zones plus ouvertes. (b) favoriser une structure verticale riche au sein du peuplement avec un étage dominant qui reçoit bien le soleil au niveau des houppiers des arbres mais aussi des arbres et arbustes des sous-étages qui peuvent protéger le sol d'un rayonnement solaire direct sur l'ensemble de la surface du sol.

La végétation herbacée (arbustes, plantes herbacées, mousses) protège également les fructifications du rayonnement solaire et des vents secs. Elle laisse au sol une matière organique morte qui protège physiquement les fructifications (fougères mortes par exemple) mais aussi stocke de l'eau. Cette eau est libérée sous forme de vapeur d'eau quand l'air devient sec et cela maintient une atmosphère

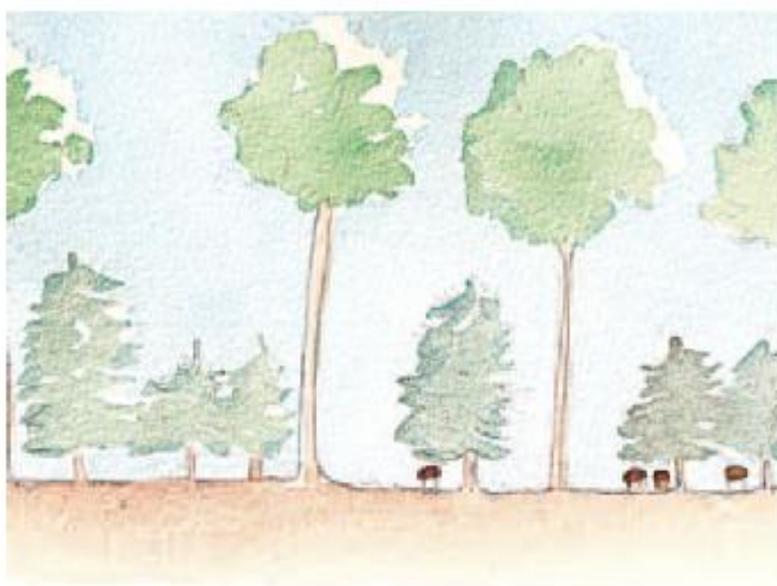
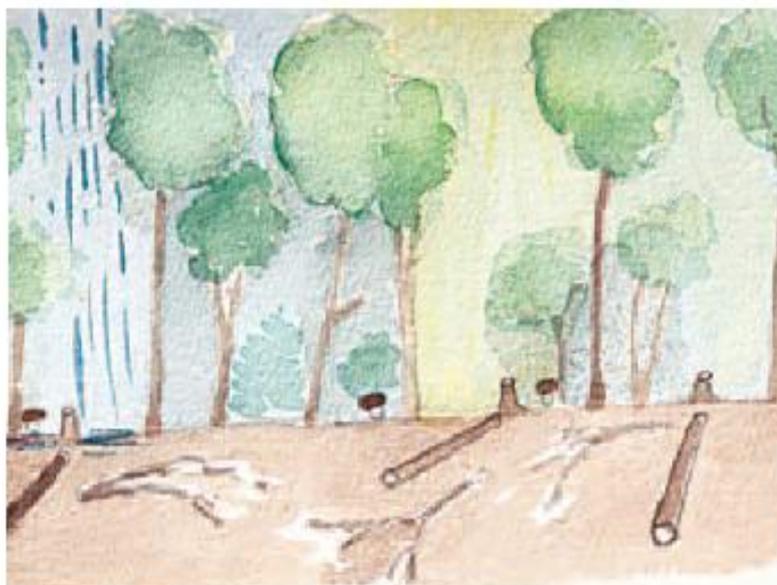


Diversité d'essences
et stratification.



● *Éclaircie par détou-
rage => mosaïque de
milieux ouverts et plus
fermés.*

● *Sous-étage
«protecteur» pour les
fructifications.*



humide à proximité immédiate des fructifications. La litière au sol est enfin très importante pour réguler le climat sur les quelques cm

de la surface du sol. Ce «tapis» de matière organique constitue un «tampon hydrique» entre l'atmosphère et le sol. Le mycélium s'alimente en eau en grande partie dans cette matière organique. Les primordia apparaissent le plus souvent également dans ce milieu organique qui doit donc être favorisé et en tous cas protégé. Les bois morts participent pour une grande part à cette litière forestière et ils ont trois rôles : stocker de l'eau pour les champignons, restituer à terme au sol une source d'humus importante, abriter une biodiversité (champignons décomposeurs, insectes...) nécessaire au fonctionnement durable de l'écosystème forestier.

4 - Tenir compte du sol

Pour un gestionnaire forestier qui veut valoriser au mieux son capital sol à travers des produits forestiers, les champignons représentent une alternative intéressante pour valoriser des sols peu fertiles. Dans ces sols difficiles, les champignons mycorhiziens sont particulièrement nécessaires à la nutrition des arbres. Etant nécessaires, ils sont bien présents.

Qu'est-ce qu'un sol peu fertile ? Ce peut être un sol pauvre en éléments minéraux mais aussi très souvent un sol peu profond, ou encore un sol souffrant de certains problèmes de circulation d'eau. Dans ces situations, la production de bois peut être pénalisée mais à l'inverse la production de cèpes peut être abondante. Les champignons peuvent alors représenter la ressource principale. La préconisation peut être ici de bien différencier dans un massif forestier, les parcelles plutôt favorables au bois et les parcelles plutôt favorables aux champignons. Dès lors, il est possible d'adapter sa sylviculture aux deux situations.

Tenir compte du sol, c'est aussi le protéger du tassement et de l'érosion (attention en particulier aux conditions de débardage !) en

visualisant bien que les premiers centimètres du sol abritent la plus grande part de l'«appareil nutritionnel» de l'arbre – les racines fines mycorhizées prolongées par les réseaux de mycélium – et la plus grande part du «réservoir nutritionnel» des arbres. Ce «réservoir» est en effet en grande partie constituée par la matière organique issue de la litière de feuilles, d'aiguilles et de bois mort. En effet, l'arbre se nourrit chaque année en grande partie grâce au recyclage des éléments contenus dans cette litière.

Protéger le système nutritionnel (racines + champignons) c'est également protéger le potentiel (mycélium) qui donnera ensuite les fructifications.

5 - Agir sur la matière organique

Habituellement, certaines options de gestion conduisent à agir sur la matière organique, sans en percevoir le plus souvent les conséquences à long terme. Une option habituelle consiste à vouloir «nettoyer» son bois en évacuant les bois morts. C'est une erreur des trois points de vue signalés dans le point précédant : cela entraîne une perte de biodiversité, de capacité de stockage d'eau et de protection pour les champignons et une source d'humus en moins. L'option d'exporter des rémanents pour une utilisation en bois énergie (plaquettes) peut conduire à un appauvrissement du milieu, dommageable si on se trouve dans une situation de sols déjà appauvris au départ.

La matière organique est essentielle à la biodiversité fongique et au fonctionnement d'espèces comme les cèpes. Les bois morts favorisent souvent et protègent les fructifications en créant des microhabitats favorables. Dans des pentes soumises à l'érosion, des branchages peuvent retenir les litières de feuilles qui constituent aussi des milieux favorables. Les litières constituées par les parties

mortes de certaines plantes sont très favorables, sans doute parce qu'elles servent de substrat nutritionnel pour les cèpes : la litière d'éricacées (les bruyères et la callune), la litière de molinie, sans doute aussi de la fougères aigle. Beaucoup d'observations restent à faire et d'autres à confirmer.

Dans certaines expérimentations, un broyage (une fois par an) de la strate herbacée à éricacées semble intéressant. Ce broyage accélère la transformation de la matière organique par les champignons qui sont spécialisés pour dégrader ces matières assez difficiles à dégrader. Il semble que les cèpes en fasse partie.

La prudence commande cependant de ne pas chercher à trop accélérer la transformation de la matière organique au risque à terme de déséquilibrer les bilans humiques.

En somme, la matière organique du sol semble avoir pour les cèpes les rôles qu'ont les substrats de cultures pour les champignons saprophytes de culture (Pleurotes, Champignons de Paris,...).



Les pages suivantes vont ainsi présenter des modèles de mycosylviculture. Ce sont des propositions pratiques, des adaptations des modèles actuels. Nous souhaitons qu'après avoir étudié ces modèles, le lecteur puisse transposer ces idées aux écosystèmes forestiers qu'il connaît et qu'il souhaite gérer.



Une façon d'agir sur le climat du sol : favoriser la présence du bois mort qui augmente la réserve en eau disponible pour les fructifications et qui protège ces dernières.

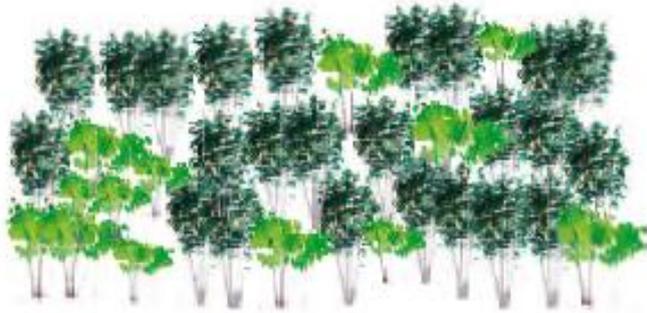
TAILLIS SIMPLE MIXTE

SYLVICULTURE
CLASSIQUE

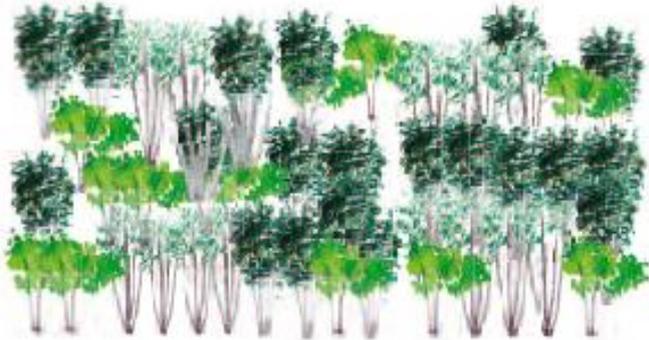
AGE

0

Repousses du taillis de chênes, charmes, châtaigniers...



20



40

Coupe rase



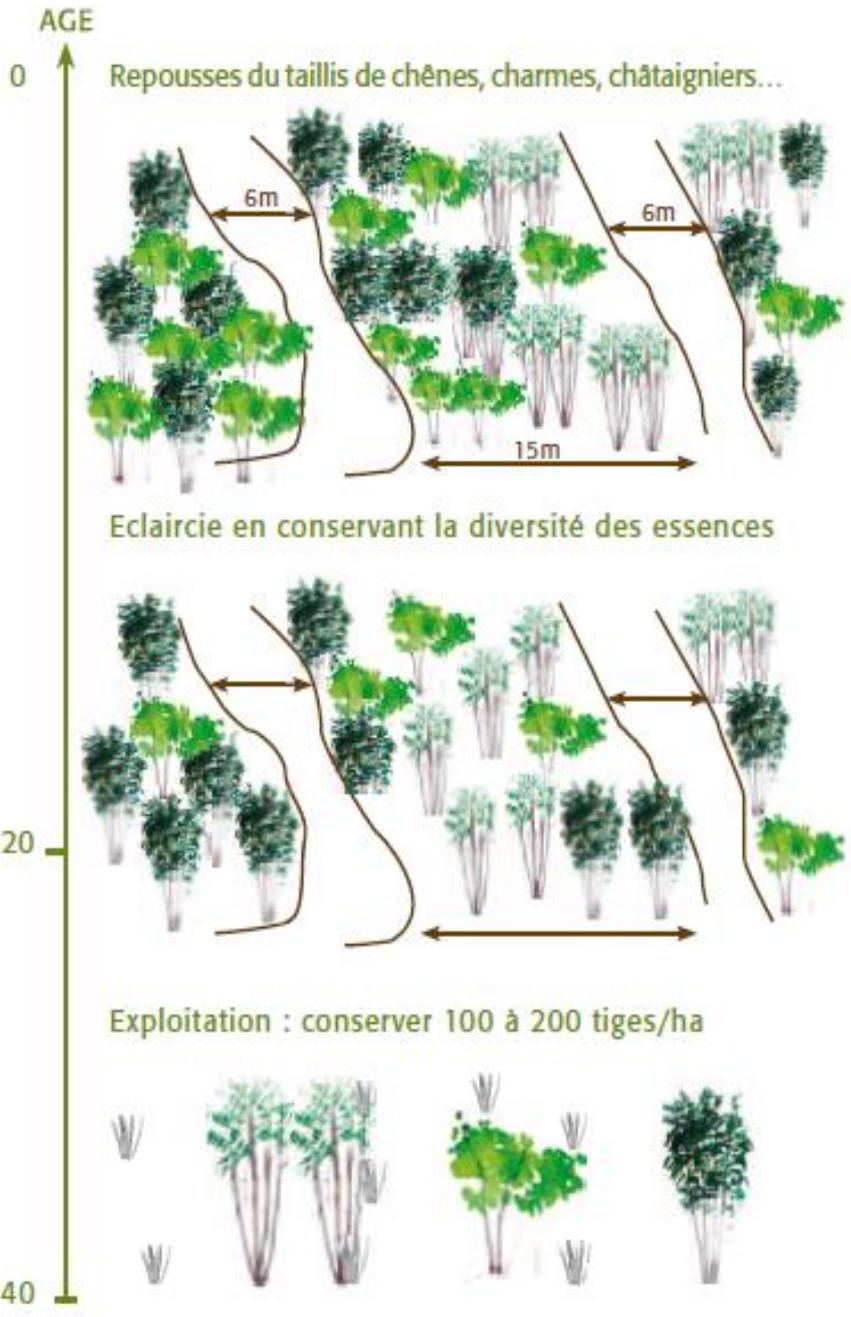
INFORMATIONS

- Modèle caractéristique des coteaux gascons ; ces peuplements à base de taillis souvent médiocres sont destinés à produire du bois de chauffage.
- Aucune intervention : le châtaignier, lorsqu'il est présent, prend rapidement le dessus sur les autres essences. Par la fermeture du milieu, les pousses de champignons se limitent aux bordures de chemins et de prés.



Taillis chênes - châtaigniers

	+	Système très simple
	-	Pas de bois d'œuvre
	+	Diversité des essences
	-	Milieu dense et fermé



CONSEILS

- Dès l'exploitation ouvrir des layons qui seront entretenus régulièrement.
- Pour augmenter la quantité de bois d'oeuvre, il est possible de basculer vers d'autres techniques sylvicoles (enrichissement – détournage).
- L'exploitation échelonnée des inter-bandes permet de conserver une production de cèpes plus durable.
- Important : conserver un équilibre entre les différentes essences.



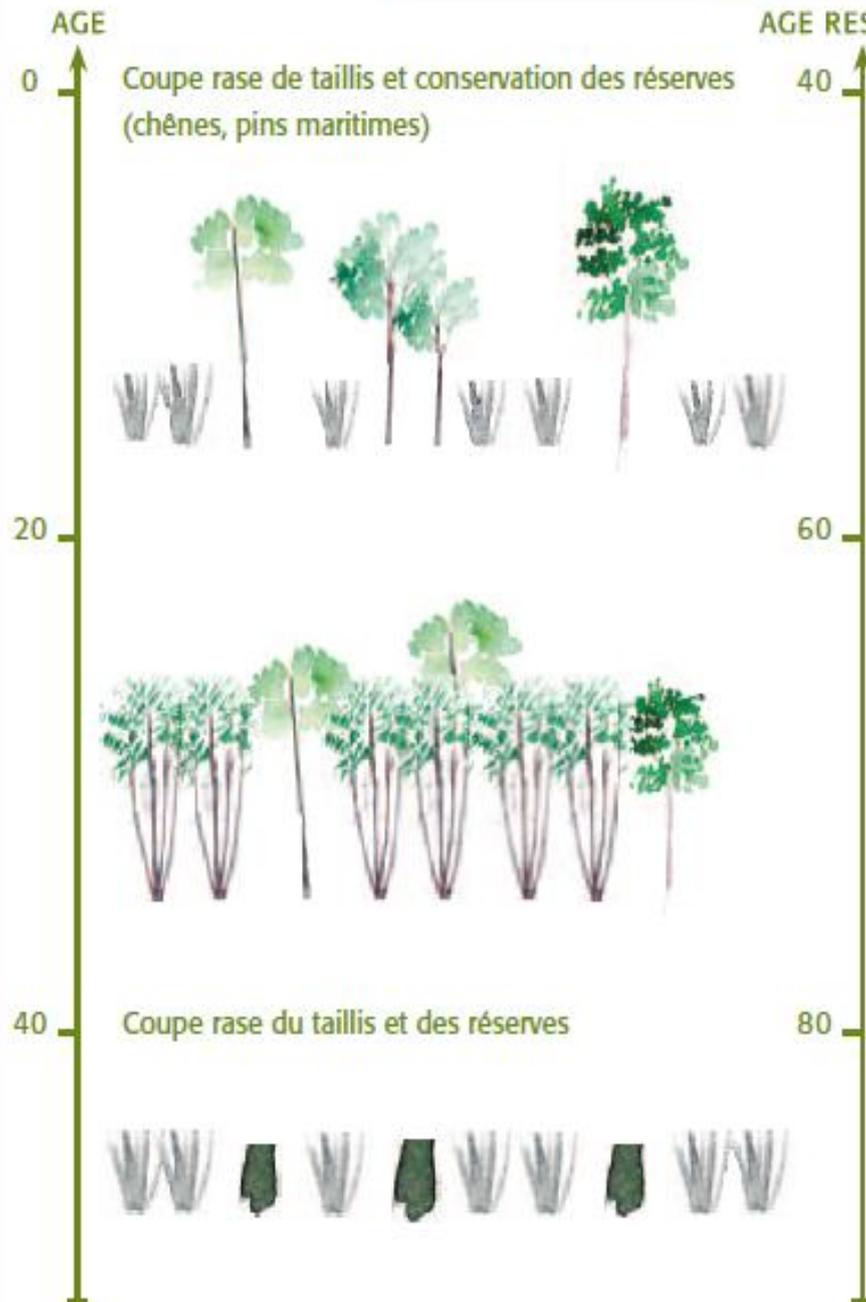
	+	Accès au peuplement facilité
	-	La valeur du peuplement reste faible
	+	Ouverture du milieu
	-	



- ① Eclaircie taillis chênes - charmes.
- ② Eclaircie taillis de châtaigniers.

TAILLIS AVEC RESERVES

SYLVICULTURE
CLASSIQUE



INFORMATIONS

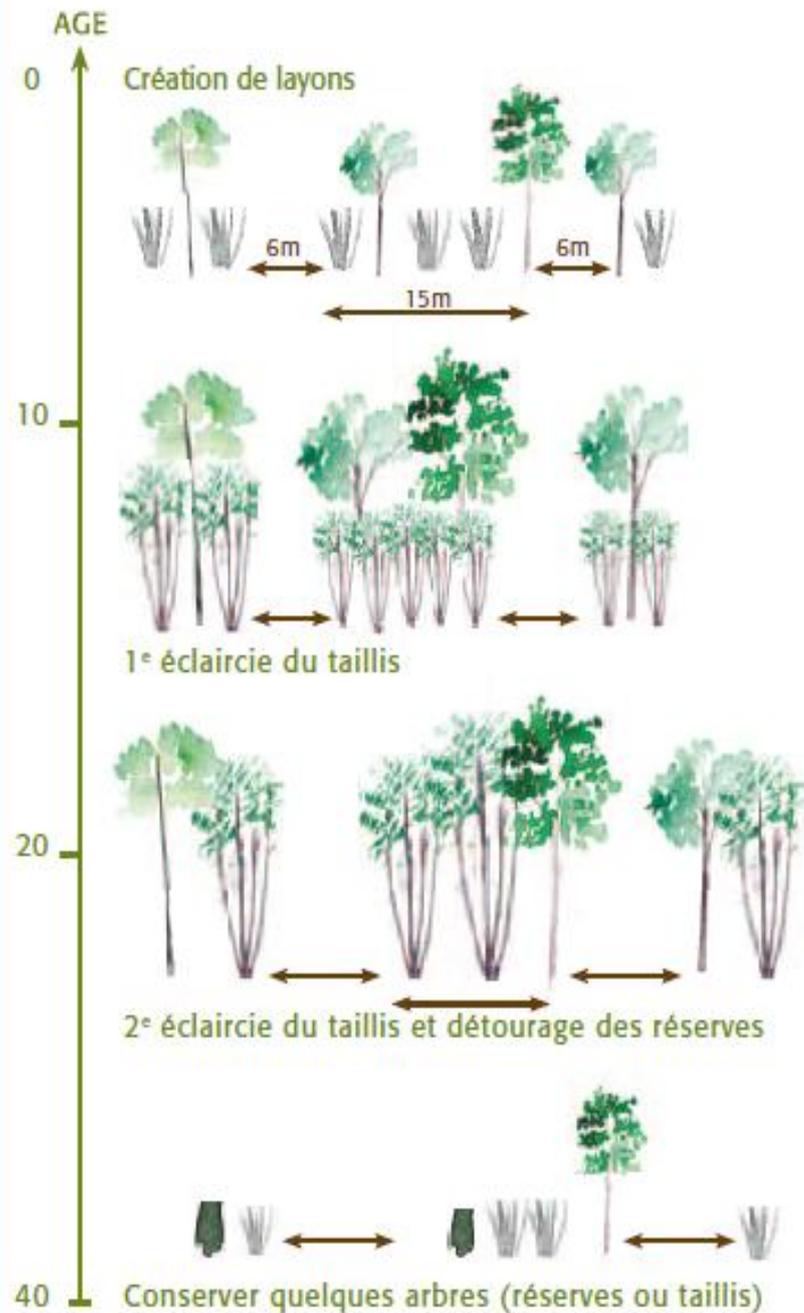
Type de boisement présent en plaine et coteaux. Les plus grosses réserves sont exploitées en priorité ce qui conduit progressivement à une baisse de la qualité des peuplements. Lorsque les réserves sont exploitées en totalité et lorsque la régénération naturelle est faible, ces taillis avec réserves se transforment souvent en taillis simple.



- 1 Taillis châtaigniers avec réserves.
- 2 Coupe rase du taillis.



	+	Exploitation très simple
	-	Appauvrissement du taillis en réserve Forte baisse de la qualité des peuplements
	+	Diversité des essences
	-	Fermeture du milieu après 25 ans Production de cépes localisée dans les bordures ou clairières A la coupe rase, rupture dans la production de cépes



Les travaux réalisés permettent d'entrer plus facilement dans le peuplement forestier, ils facilitent ainsi les travaux sylvicoles. Les layons ainsi que les éclaircies créent des puits de lumière dans le peuplement et contribuent à une augmentation de la production de cèpes.

CONSEILS

- Entretien régulier des layons.
- Favoriser les futures réserves en réalisant des détournages.



- ① Création de layon dans un taillis de chênes avec réserves.
- ② Régénération bruyères après création d'un layon.

	+	Amélioration globale du peuplement Augmentation de la quantité de bois d'oeuvre
	-	Augmentation du nombre d'interventions
	+	Ouverture du milieu (layons et éclaircies) Entrée en production plus rapide et maintien dans le temps des quantités produites
	-	

Les distances entre les layons sont données à titre indicatif, elles seront ajustées au cas par cas.

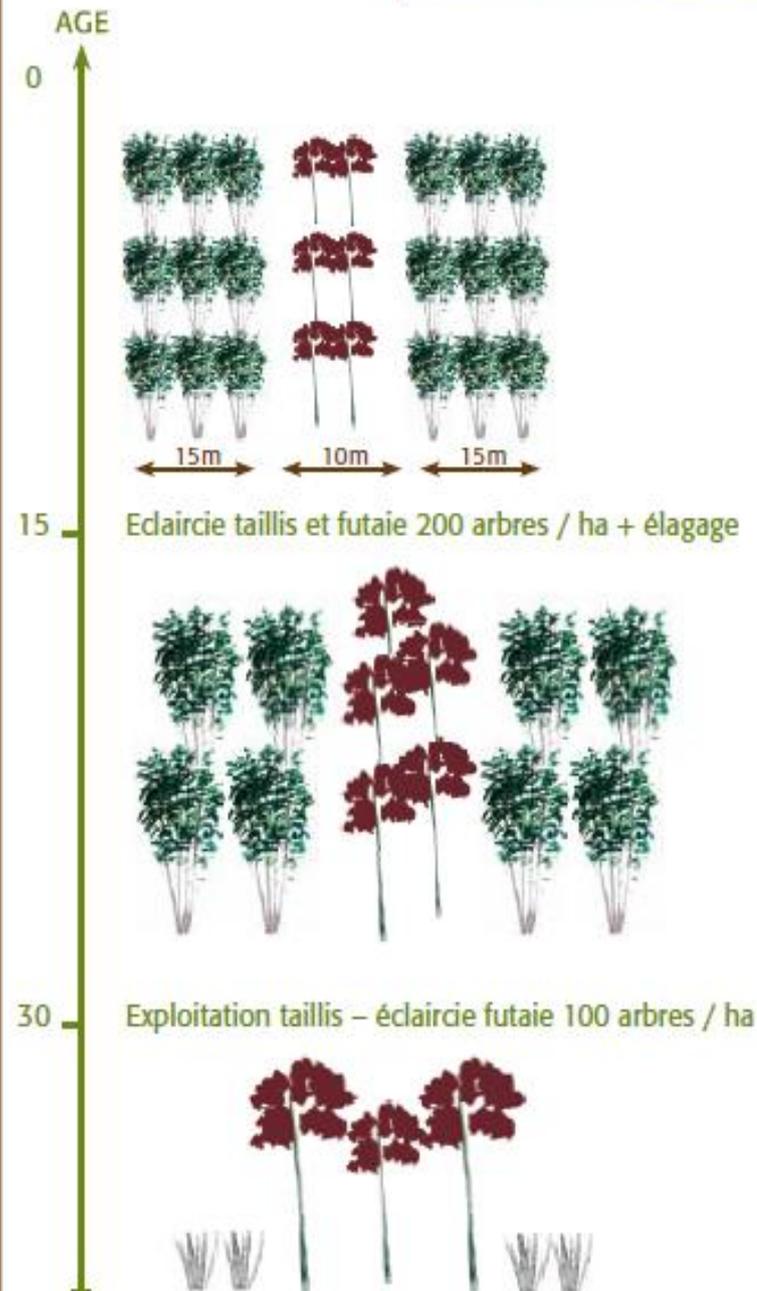
ENRICHISSEMENT DU TAILLIS DE CHÂTAIGNIERS

Sylviculture
Classique

L'objectif est d'augmenter la production de bois d'œuvre du peuplement.

INFORMATIONS

- Ouverture de bandes d'enrichissement : 6m à 12 m.
Inter-bande : 15 à 20 m.
- Densité : 400 arbres/ha chênes rouges ou pins maritimes.
- Maîtriser le taillis pour limiter la concurrence avec les arbres mis en place.

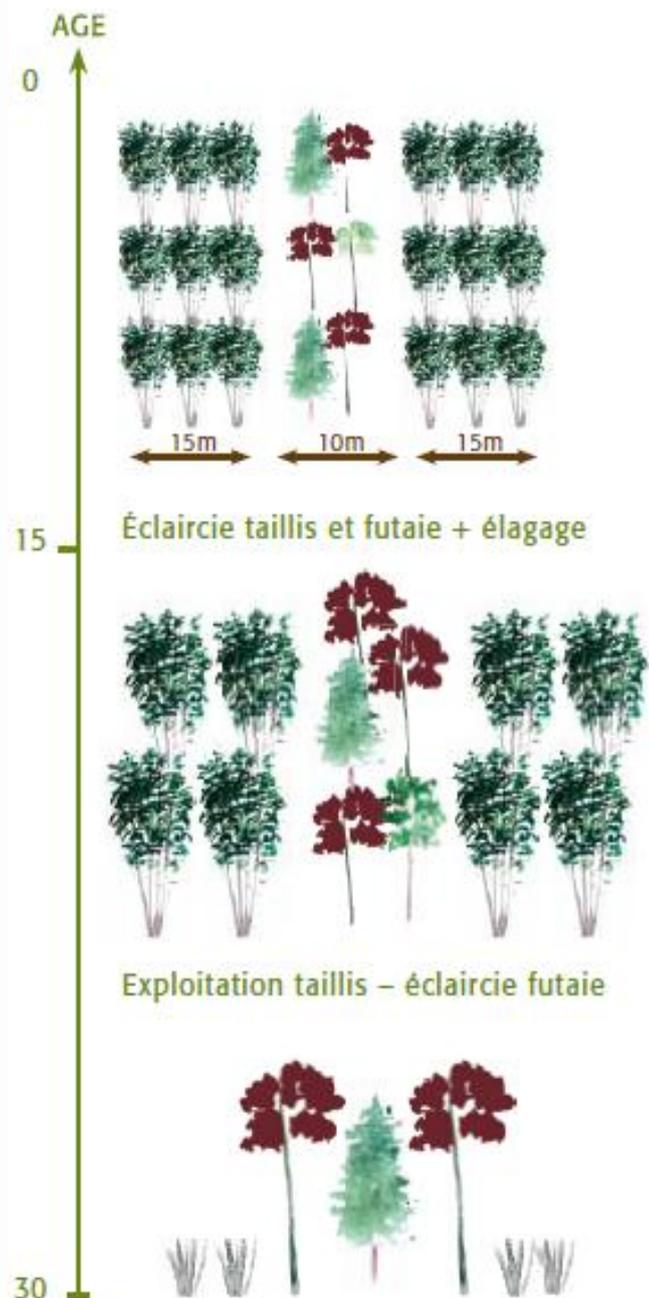


① Bande d'enrichissement de pins maritimes.

② Pin taillis en ligne 3 ans.



	+	Coût faible par rapport à un reboisement en plein Augmentation de la quantité de bois d'œuvre Ré-introduction de réserves dans le taillis
	-	Nécessité d'introduire des essences à croissance rapide Entretiens réguliers indispensables Maîtriser le taillis pour limiter la concurrence avec les arbres mis en place
	+	Ouverture du taillis Production relancée si l'essence introduite est favorable aux champignons
	-	Enrichissement avec des pins maritimes moins favorable



Ouverture de bandes d'enrichissement :

- 300 arbres / ha essence objective : chênes rouges, pins maritimes
- 100 arbres / ha essence de bourrage : épicéas, pins sylvestres, sapins pectinés, bouleaux...

CONSEILS

- Diversifier les essences dans la bande d'enrichissement.
- Entretenir régulièrement les bandes reboisées.
- Conserver des réserves lors de l'exploitation.



❶ Bande de chênes rouges 12 ans après 1ère éclaircie et élagage avant (côté gauche) et après (côté droit) éclaircie du taillis.

❷ Chênes rouge.

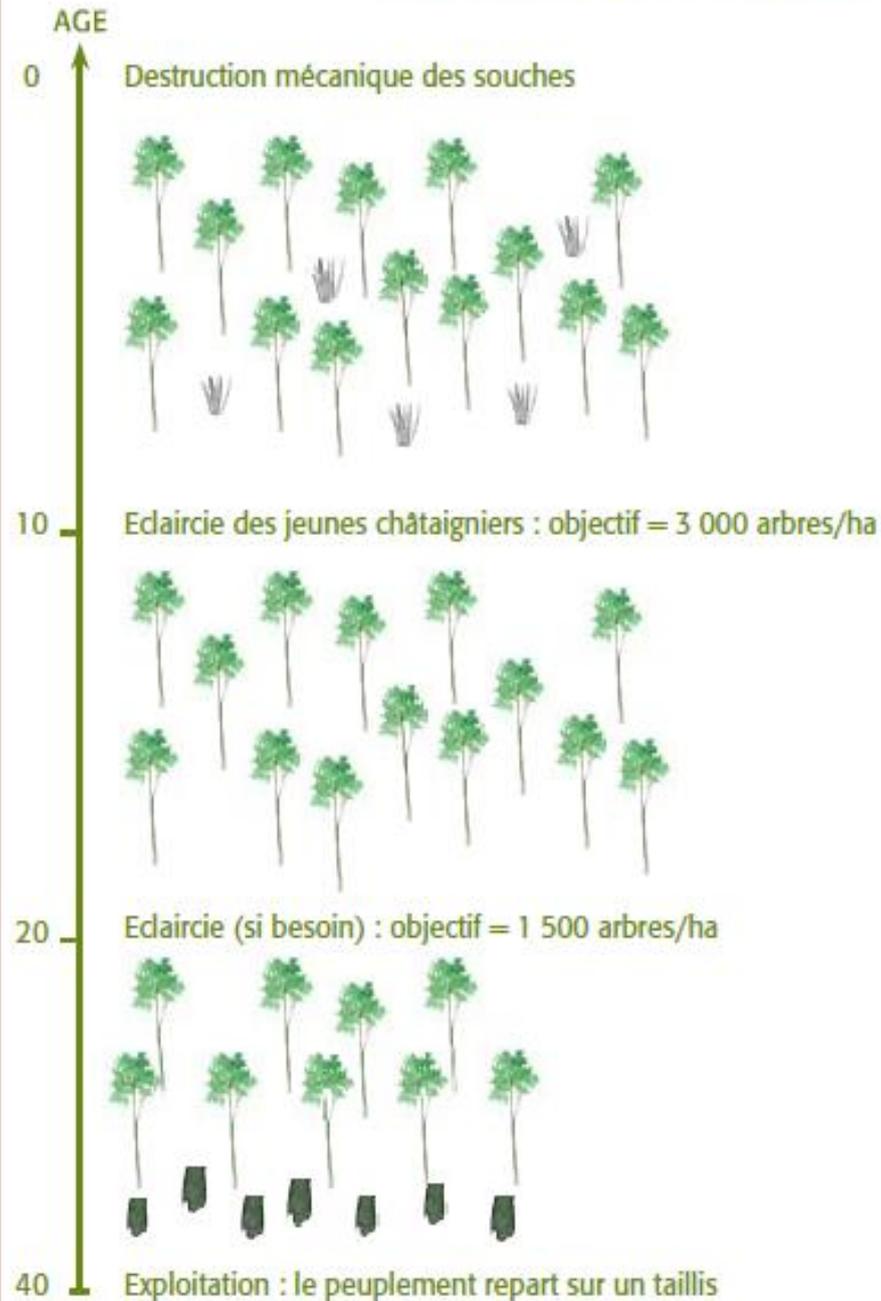
❸ Chêne rouge 12 ans après débourrage.



	+	Introduction d'une diversité des essences
	-	Adapter les entretiens en fonction des essences Entretien régulièrement Difficulté de gérer la concurrence entre les différentes essences
	+	Augmentation du potentiel mycorhizien Diversification des essences
	-	Risque de fermeture du milieu

RENOUVELLEMENT DU TAILLIS DE CHÂTAIGNIER

SYLVICULTURE
CLASSIQUE



L'objectif de cette technique est de rajeunir l'ensouchement et d'assurer la pérennité du taillis.

CONSEILS

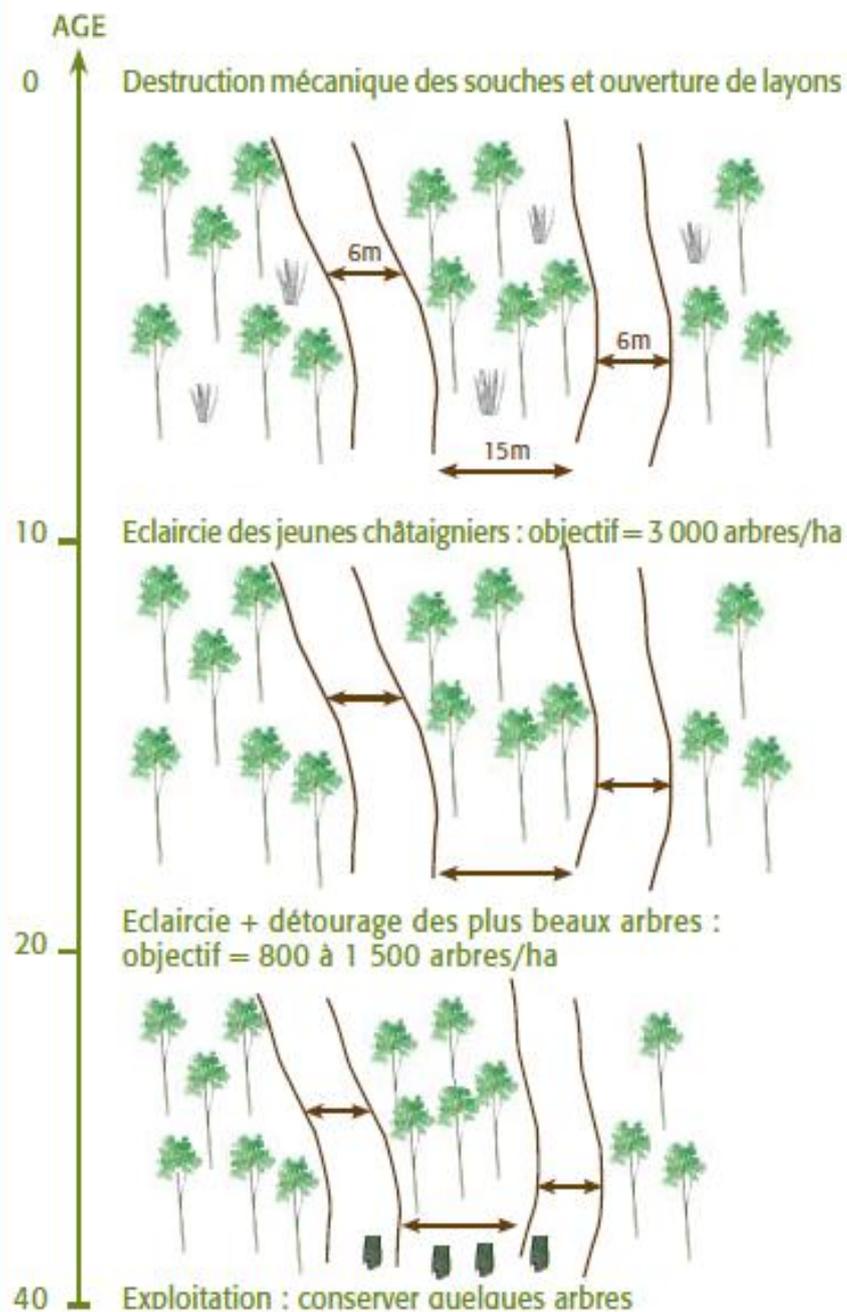
- Exploitation du taillis après fructification (fin d'automne).
- S'assurer de la présence d'une régénération naturelle importante et homogène (attention de ne pas confondre rejet de souche et jeune plant).
- Traitement des souches.



Jeune franc pied de châtaignier.



	+	Renouveler l'ensouchement = améliorer la qualité du peuplement Coût faible
	-	Synchronisation entre l'exploitation et le traitement des souches
	+	Apport de matière organique par la décomposition des souches
	-	Risque de fermeture du milieu



CONSEILS

- Quadriller le peuplement avec des chemins d'exploitation multiplier les effets lisières en alternant les zones ouvertes (meilleure pénétration de la lumière, de la pluie) et des zones fermées, intéressantes pour les cèpes d'été qui peuvent pousser tôt en été.
- Eclaircir plus sévèrement dans les zones de productions.



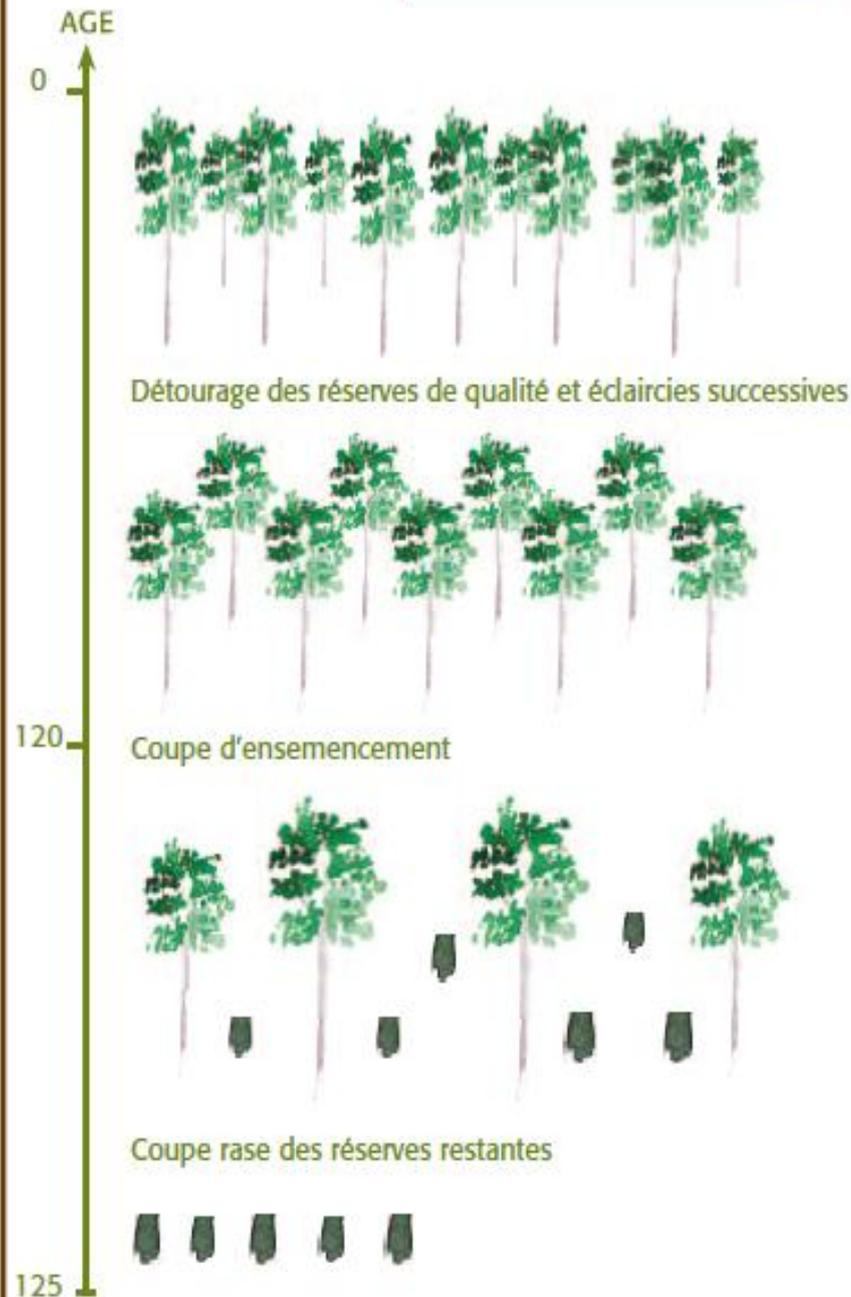
Jeune régénération châtaigniers sous réserve de chênes.



	+	Renouveler le taillis améliorer la qualité du peuplement les layons permettent d'intervenir plus facilement à l'intérieur (détournage éclaircie)
	-	La multiplication des layons augmente la surface non boisée
	+	Ouverture du milieu
	-	Mono-essence

FUTAIE FEUILLUE

SYLVICULTURE
CLASSIQUE



Ce type de peuplement se met en place après une régénération naturelle abondante et homogène. Les éclaircies successives permettent d'améliorer le peuplement forestier et de produire des réserves de qualité. Une coupe d'ensemencement est nécessaire pour renouveler le peuplement. La coupe rase se réalise un fois que la régénération naturelle est en place de manière homogène sur la parcelle.

CONSEILS

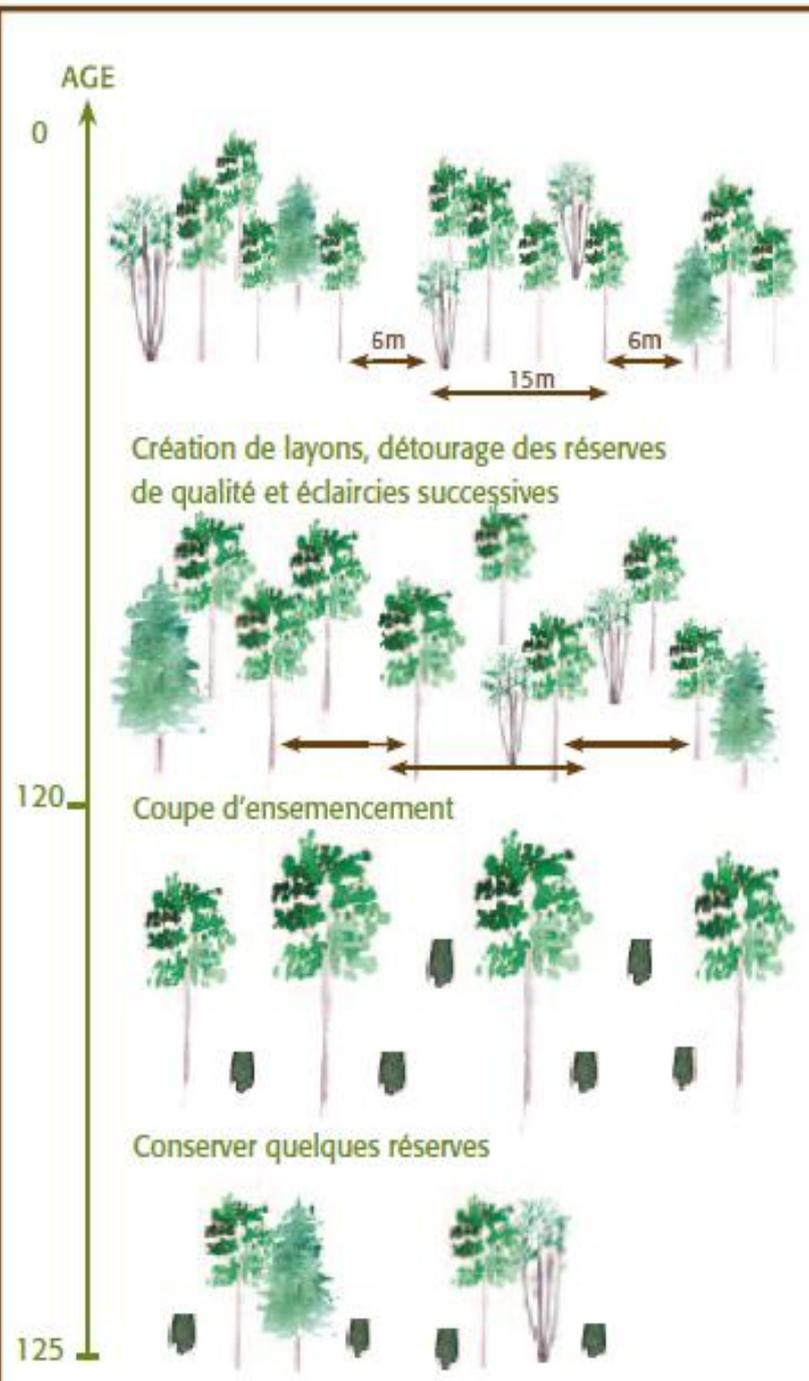
- Ouvrir des layons pour faciliter les travaux de sylviculture.
- Lors de la régénération compléter les espaces vides par des plantations.



Chênes pédonculés – 50 ans après éclaircie.



	+	Production importante de bois d'oeuvre de qualité
	-	Interventions fréquentes Cycle de production très long
	+	
	-	Mono-essence Fermeture rapide du peuplement Rupture du cycle de production lors de la coupe rase



CONSEILS

- Entretenir régulièrement les layons.
- Favoriser des essences de diversification qui supportent l'ombrage.



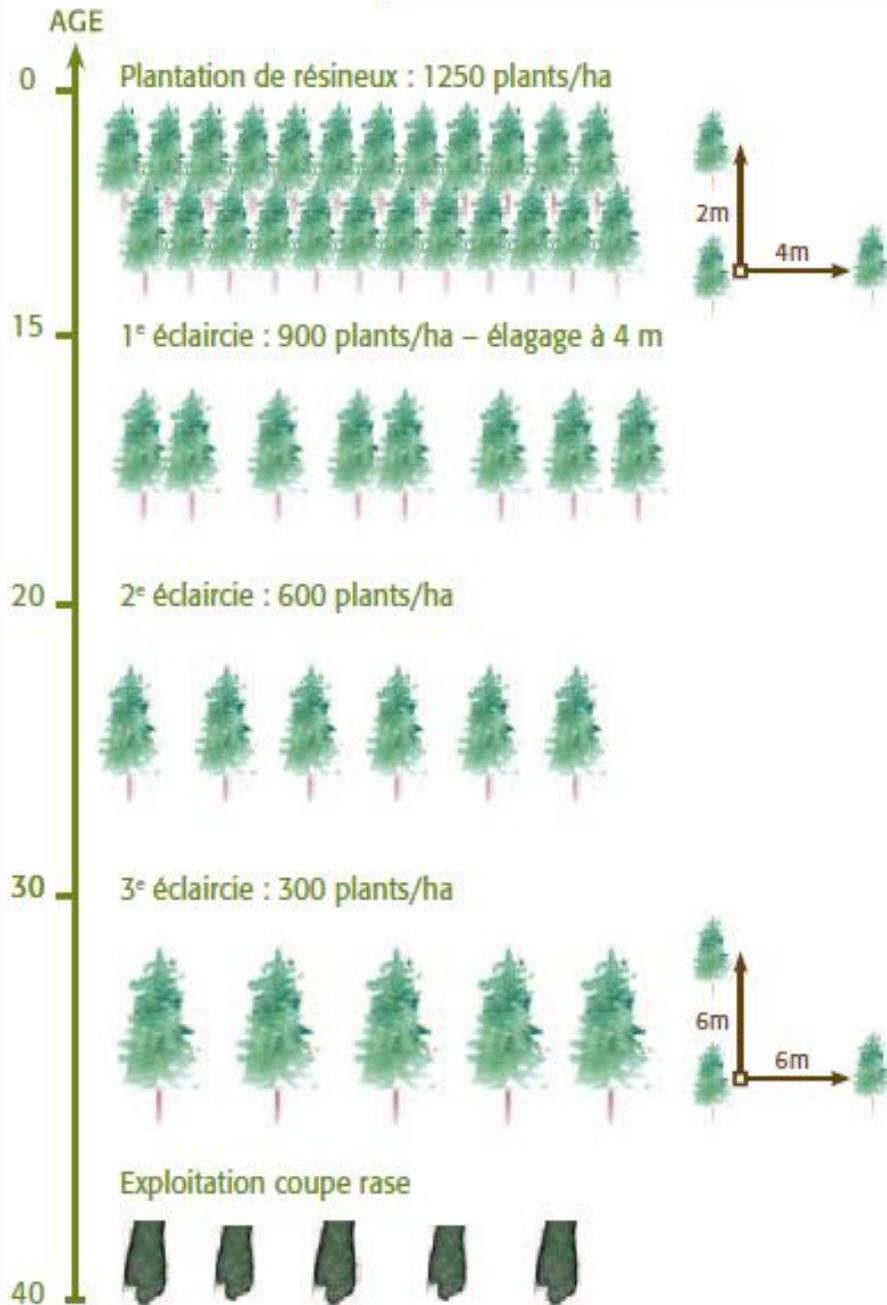
1 Ouverture de layon dans régénération de chênes rouges.

2 Futaie de chênes pédonculés – 80 ans en mélange avec des bouleaux et sapins pectinés.

	+	Production importante de bois d'oeuvre de qualité
	-	Interventions fréquentes Cycle de production très long
	+	Diversité d'essence Pérennité du cycle de production
	-	

FUTAIE RÉSINEUSE

SYLVICULTURE
CLASSIQUE



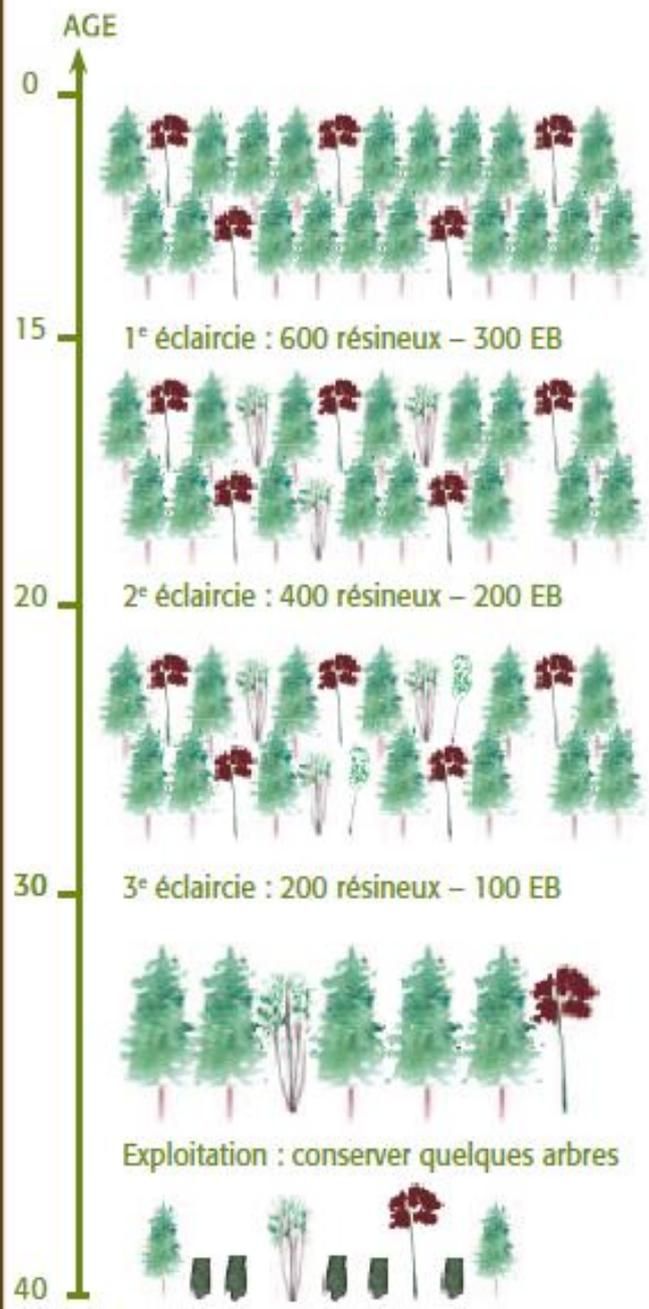
CONSEILS

- Protéger les plantations contre le gibier si nécessaire.
- Faire un travail préalable du sol avant l'implantation.



Futaie résineuse de 35 ans.

	+	Production de bois d'œuvre
	-	Coût de mise en place élevé
	+	Système très productif dans les jeunes plantations (15 à 25 ans)
	-	Mono essence Système peu durable dans le temps (généralement diminution importante de la production après la deuxième éclaircie)



Plantation :

- 800 Résineux (Epicéa, Sapin pectiné ou grandis) – essence objective
- 400 essences de bourrage (EB)
Pins sylvestres, charmes, châtaigniers, bouleaux, hêtres, chênes rouges

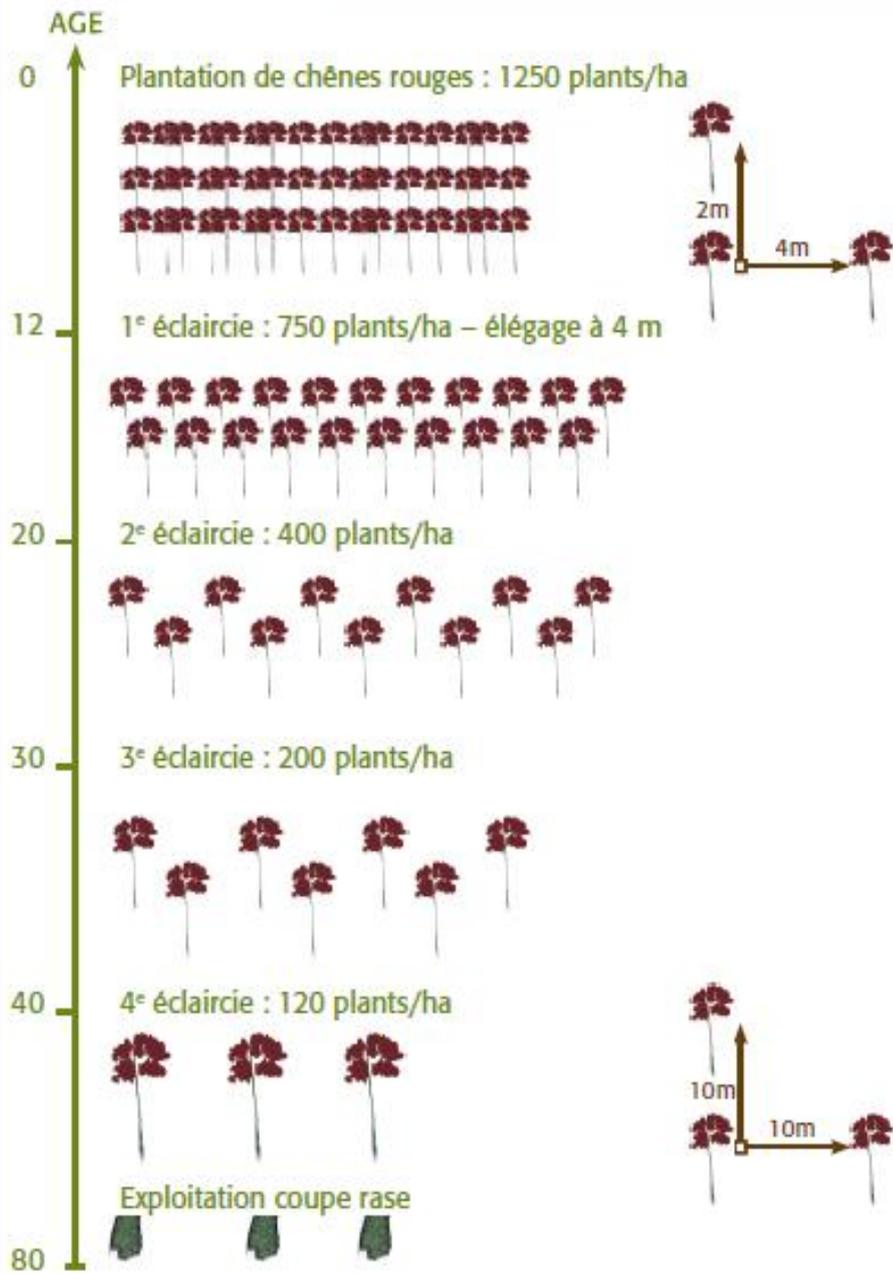
CONSEILS

- Entretenir les inter-bandes régulièrement.
- Détourage des essences objectives en conservant les essences de bourrage.
- Conserver la diversité des essences de bourrage.

	+	Coût de mise en place variable en fonction des essences de bourrage
	-	Difficulté de gérer la concurrence entre les différentes essences
	+	La diversité d'essences permet de maintenir une production de cèpes importante au delà 20 ans
	-	Risque de fermeture du milieu

REBOISEMENT EN PLEIN : EXEMPLE DU CHÊNE ROUGE

SYLVICULTURE CLASSIQUE



L'objectif sylvicole est la production de bois d'oeuvre de qualité.



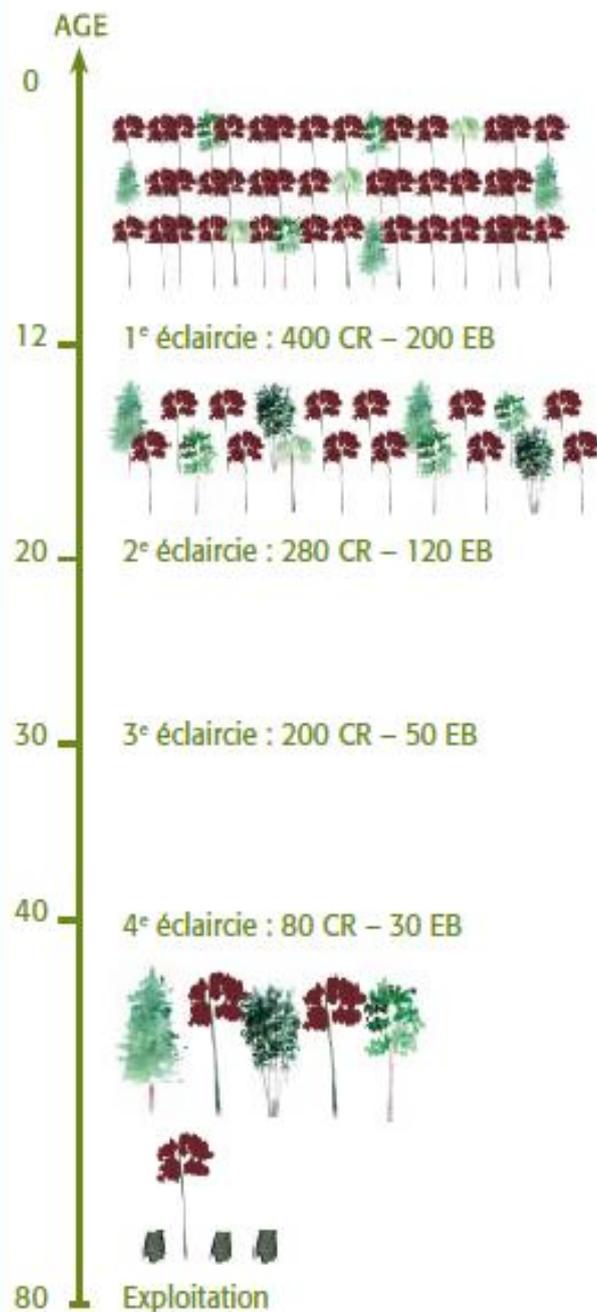
① Jeune plantation de chênes rouges.
 ② Plantation de chênes rouges - 30 ans.

CONSEILS

- Adapter l'essence au sol.
- Protéger les plantations contre le gibier.
- Faire un travail préalable du sol avant la plantation.



	+	Production de bois d'oeuvre Facilité de régénération naturelle
	-	Coût de mise en place élevé
	+	Coupe rase = essence productive précoce après précédent favorable
	-	Risque de fermeture du milieu après 25 ans Mono essence



Plantation : 800 chênes rouges (CR) – essence objective.

400 essences de bourrage (EB).

Epicéas, pins sylvestres, charmes, châtaigniers, bouleaux, sapins pectinés, hêtres.

CONSEILS

- Entretenir les inter-bandes régulièrement.
- Conserver la diversité des essences de bourrage.
- A l'exploitation : conserver quelques arbres en bosquets.



1 Jeune boisement mélangé.

2 Peuplement de chênes rouges + bouleaux + épicéas + châtaigniers.



	+	Coût de mise en place moins élevé en fonction des essences de bourrage
	-	Difficulté de gérer la concurrence entre les différentes essences
	+	Diversité d'essences Détourage des chênes rouges en conservant les essences de bourrage
	-	Risque de fermeture du milieu

LE DÉTOURAGE

Le détourage est une éclaircie forte localisée autour d'arbres d'avenir appelés aussi «arbres objectifs». Elle consiste à supprimer les arbres qui entrent en concurrence directe avec les houppiers d'une faible densité d'arbres repérés pour leur potentiel de production de bois d'œuvre de qualité et appelés «arbres d'avenir». (Larrieu L, 2007 et Gonin et al., 2005).

C'est une éclaircie «par le haut», qui enlève des arbres dominants ou co-dominants. Les arbres du peuplement qui ne concurrencent pas un arbre d'avenir sont dans la plupart des cas conservés.

Le raisonnement de gestion se fait à l'échelle de l'arbre et non du peuplement (Claessens, 2004 et Larrieu, 2007). Le choix des arbres d'avenir tient compte de l'adaptation de l'essence aux conditions stationnelles, à l'absence de défaut majeur de la bille de pied et au pouvoir de réaction de l'arbre jugé à travers la forme et le volume de son houppier.

Les essences connues pour produire un bois recherché sont privilégiées (Chênes, Merisier, Frêne commun...) mais on n'exclue pas de favoriser des essences «secondaires» comme le Bouleau verruqueux. Les objectifs sont d'obtenir (Baar, 2004) :

- Des arbres vigoureux, des cimes développées et équilibrées assurant une croissance rapide, un bois sain et un tronc cylindrique,
- Des fûts de qualité sur 6-8 m de hauteur et de grosse circonférence (150 cm au minimum),
- 70 à 90% de la valeur de l'arbre compris dans la bille de pied,
- Une plus-value élevée à la coupe finale.

Avant détourage



Après détourage



Parcelle de Marquerie après détourage

1 - Une technique adaptable partout

Le détournement d'arbres d'avenir peut être utilisé dans tous les types de peuplements, homogène ou non, dans tous les groupes d'arbres issus de régénérations naturelles ou de plantations (Baar et al., 2004). Cette technique est également adaptée aux forêts où les accrues sont importantes.

2 - Description de la technique

Le détournement implique de percevoir le peuplement à trois vitesses d'évolution. Au sein de celui-ci, on trouve deux sous-populations conduites de manière intensive avec un cycle économique court : l'une à vocation de production ligneuse de qualité (cycle de coupe de 80-150 ans), l'autre pour la production de bois de moins bonne qualité (cycle de coupe de 5-8 ans). Enfin, une dernière sous-population dont on respecte le cycle sylvigénétique naturel qui permettra d'assurer le bon fonctionnement de l'écosystème (Larrieu, 2007).

Un peuplement détourné comporte 3 types d'arbres :

- Les arbres d'avenir, au nombre de 60 /ha au maximum qui sont sélectionnés pour produire du bois d'œuvre sur un cycle court (30 à 120 ans).
- Des arbres d'accompagnement de même grandeur, qui sont enlevés lors des passages en éclaircie s'ils gênent par leur houppier les arbres d'avenir ; leur bois est valorisé en fonction de sa qualité commerciale et de sa grosseur.
- Des arbres qui ont une bille de faible valeur commerciale et que l'on laisse boudier leur cycle sylvigénétique complet ; ils assurent la présence dans le peuplement de milieux de vie indispensables à un grand nombre d'espèces saproxyliques. 10 à 20% de la surface, non incluse la place occupée par les bois morts au sol, peut être dédiée à la conservation ou au recrutement de ces arbres à forte valeur biologique.

Le sous-étage est dans tous les cas conservé, excepté dans les passages délimités réservés à l'exploitation des arbres coupés.

3 - Les techniques d'exploitation

Lors de l'exploitation, il faut veiller à créer des couloirs d'exploitation et des itinéraires adaptés afin de limiter la perturbation du milieu et de l'humus du site. Le passage des engins se fait sur un sol sec afin de ne pas créer d'ornières.

Ces couloirs disposés tous les 15 à 20 m ont une largeur de 4 m au minimum (Gonin et al., 2005). Dans le cas de forte pente, les layons sont orientés dans le sens de la pente, pour permettre le passage des engins de débardage et éviter les blessures aux arbres d'avenir (Gonin et al., 2005).

Les bois stockés en bordure de route sont enlevés rapidement ; dans le cas d'exploitation en hiver, ils sont retirés avant début mai, afin d'éviter que les pontes d'insectes saproxyliques ne soient détruites par l'utilisation industrielle de ces bois (Larrieu, 2007).

L'intervention minimaliste ne permet pas dans ce premier temps une grande mobilisation de bois mais présente de nombreux avantages :

- Possibilité d'une production d'avenir de bois d'œuvre.
- Modification prudente d'un écosystème favorable aux fructifications de cèpes.
- Maintien de la biodiversité des essences forestières (Chêne pédonculé, Chêne sessile, Hêtre, Bouleau, Merisier, Châtaignier) qui favorise elle-même une biodiversité des champignons mycorhiziens et ainsi un meilleur fonctionnement de l'ensemble de l'écosystème.
- Maintien des bois morts sur pied et des arbres à cavités qui offrent autant de supports pour la biodiversité. Maintien des bois morts au sol qui offre des supports à la biodiversité en même temps qu'ils constituent des microhabitats favorables aux fructifications de cèpes et d'autres champignons comestibles (supports nutritionnels, zones d'accumulation d'eau et de réserve en eau). Ces bois morts constituent en outre des sources essentielles d'humus, nécessaires à la préservation des sols.



Ci-dessus :
débroussaillage respectueux
des sols à l'aide d'un
treuil à cabestan, pla-
cette de Marquerie,
(Photos Thomas
BORDERIE).

MYCOSYLVICULTURE ET

GESTION DURABLE

La gestion de la production de champignons sylvestres comestibles, comme facteur de préservation des écosystèmes forestiers

Jean Rondet – EPLEFPA – Vic Bigorre

Fernando Martinez Pena – DIEF Valonsadero-CYL

Vincent Pontois – ONF Midi-Pyrénées

Laurent Rigou – CACG Tarbes

La mycosylviculture est une réponse concrète à des problèmes de dégradation des espaces forestiers européens. Elle offre en effet des moyens conceptuels et pratiques pour un diagnostic plus complet de l'état des forêts et des solutions de gestion originales mais en les justifiant également par des avantages sociaux et économiques. Nous voulons montrer dans cet article comment la gestion des champignons comestibles peut servir de fil conducteur à une démarche de gestion véritablement durable.



Fig.1 – Un exemple d'écosystème qui pourrait être amélioré en appliquant quelques principes prônés par la mycosylviculture. Peuplement de hêtres (*Fagus sylvatica*) à l'étage de la Hêtraie-sapinière. La gestion ancienne a conduit à un sylvo-faciès éloigné de l'habitat naturel. L'exploitation du charbon de bois a conduit autrefois à la disparition du sapin pectiné dans ce peuplement. Ensuite, une exploitation intensive a conduit à un peuplement trop homogène, sans très gros bois ni gros bois mort.



Une problématique de perte de biodiversité forestière et de dégradation d'habitats forestiers en Europe

La superficie absolue des forêts de l'UE est en accroissement mais la qualité environnementale des écosystèmes forestiers est en déclin, en particulier par une perte de biodiversité. Le risque est à terme la dégradation ou la disparition de nombreux habitats et de forêts elles-mêmes.

De nombreuses études et rapports signalent une érosion de la biodiversité forestière européenne. De nombreuses résolutions ont été formulées, qui ne conduisent pas au succès escomptés. Les analyses mettent en avant les distorsions entre les mesures européennes et nationales et leurs déclinaisons dans les territoires locaux.

L'enjeu de préservation de la biodiversité ne fait pas l'objet d'une véritable appropriation, au profit d'enjeux économiques ou sociaux qui paraissent toujours plus évidents, immédiats et importants, y compris pour les acteurs impliqués à tous niveaux dans la gestion forestière.

Les incitations en matière de politique forestière ont parfois des objectifs éloignés de la conservation de la biodiversité. L'encouragement à la production de biens jugés stratégiques, par le biais d'aides financières et de mesures fiscales, conduit principalement à une sur-exploitation d'une ou de quelques espèces et/ou de l'écosystème, au détriment de la biodiversité générale. Cette tendance est pourtant peu perçue en dehors du cercle des acteurs très spécialisés de l'environnement : Les méthodologies de description des habitats demandent encore à être précisées et donc à fortiori les outils méthodologiques permettant de préciser les impacts des différentes formes de gestion sur la biodiversité. Les outils qui existent cependant rencontrent des freins dans leur diffusion, du fait de ce qu'ils signalent à l'évidence. Le manque de connaissances et d'utilisation d'outils d'évaluation pertinents conduit souvent à des négligences plutôt qu'à l'application d'un principe de précaution.



Un progrès vers l'atteinte de véritables équilibres entre les fonctions de la forêt suppose un rapprochement et un échange de connaissances et de cultures entre les différents acteurs et utilisateurs de la forêt, à tous niveaux. Ce partage est toujours l'occasion d'innovations et de synergies inattendues. A travers ces dynamiques de projet, les acteurs régionaux et locaux doivent s'approprier la notion de biodiversité, comprendre l'urgence des mesures de préservation et dans le même temps percevoir les opportunités de développement offertes par une mise en cohérence locale des politiques forestières et des politiques environnementales. La valorisation des habitats, des milieux, des paysages et des ressources peut en effet être mis en synergie avec un développement social et économique.

La valorisation de la ressource « champignons comestibles : un enjeu pour un développement durable des territoires forestiers.

Dans les territoires d'application du projet Micosylva, une réflexion est engagée sur la notion de « multifonctionnalité » des forêts et sur les moyens de sa mise en oeuvre effective. La valorisation des champignons comestibles peut apporter une contribution importante à cette évolution positive sous certaines conditions. A travers la valorisation des champignons comestibles, la mycosylviculture s'intéresse concrètement aux moyens de gérer simultanément et durablement deux produits très différents de la biodiversité que sont les arbres d'une part et les champignons sylvestres comestibles d'autre part.

Rappelons que cet intérêt se justifie avant tout par un intérêt économique. La valeur importante des champignons font de cette ressource biologique une ressource économique à part entière. Par ailleurs, il semble justifié de considérer que cette deuxième ressource forestière peut permettre une meilleure rentabilité des efforts (en particulier financiers) liés à la gestion forestière, actuellement uniquement supporter par la filière bois.

En terme de comparaison, l'exemple de la forêt Pyrénéenne est éclairant. En moyenne sur les vingt dernières années, la hêtraie sapinière de montagne, relativement productive du point de vue du bois a rapporté environ 30 euros/ha/an (4 m³ X 20 euros en produit pour 50 euros en charges d'exploitation). La production des seuls cèpes (*Boletus edulis* principalement) correspond à environ 150 euros/ha/an (10 Kgs X 15 euros).



Récolte de *B.edulis*



Boletus pinophilus récolté sous peuplements de hêtres dans les Pyrénées. C'est un champignon qui a une très forte valeur marchande.

Mais l'intérêt se justifie également du point de vue de la préservation des écosystèmes. En effet, vouloir gérer simultanément ces deux productions impose une approche globale de l'écosystème forestier considéré alors comme un ensemble fonctionnel **Arbres - «Interface fongique» - Sol.**

Gérer une forêt revient ainsi non pas à gérer un peuplement d'arbre mais à gérer simultanément un peuplement d'arbres, une «interface fongique» et un sol.



Illustration d'une chênaie en Dordogne. « Arbres-interface fongique - sol » : un ensemble fonctionnel.

Un outil pour la gestion durable des territoires forestiers : le diagnostic mycosylvicole.

Une attention portée au fonctionnement de l'ensemble fonctionnel Arbres-interface fongique-sol conduit à envisager un diagnostic plus complet permettant au final une gestion plus fine de quatre facteurs :

- 1) le potentiel sols/climat.
- 2) la composition des peuplements.
- 3) la structure des peuplements.
- 4) la matière organique.

1) Gérer une forêt en se basant sur le diagnostic du potentiel Sols/Climats

A l'échelle d'un territoire important, il est nécessaire d'utiliser une approche multi-échelle des facteurs sols.

La méthode employée se base sur le concept de secteur de référence et implique un travail en quatre étapes :

a) Les relations entre le sol et le développement des champignons

ectomycorhiziens sont en premier lieu analysées et comparées sur des parcelles limitées sur lesquelles il est possible de réaliser des observations fines quant au sol (nature du sol, fonctionnement du sol par rapport aux facteurs climatiques - comportement hydrodynamique en particulier-, niveau de productivité en « champignons cibles » (une espèce dont on connaît

maintenant bien ou assez bien l'écologie ou un petit nombre d'espèces de comportements proches). On compare des parcelles de faibles, moyennes et fortes productivités. Les fructifications sont également géolocalisées, idéalement pendant plusieurs saisons mais plus aisément sur dires d'observateurs fiables.



Fig.4 : observation des sols (sur la photo : sol, fructifications de *B.pinophilus*, racelles mycorhizées.

Fig.5 : Géopositionnement des fructifications observées directement. En fond de photo, le « spécialiste cueillette de *B.pinophilus* » de cette petite vallée de montagne.

b) Les paramètres pédoclimatiques déterminants ces différentes productivités, ou « paramètres d'extrapolation » sont identifiés : nature du sol, type d'humus, topographie, rayonnement solaire.

c) Ces paramètres sont ensuite extrapolés à l'échelle du massif forestier, à l'aide d'une part de référentiels pédologiques, catalogues de stations forestières... (sols, humus) et d'autre part à l'aide de modèles mettant en relation les données topographiques (Modèles Numériques de Terrains), le rayonnement solaire, la position des parcelles dans la pente et la relation entre cette position et les circulations et accumulations d'eau dans les sols.

d) Les performances du massif en tant que territoire producteur de champignons comestibles sont alors évaluées; les plus favorables au développement des champignons sont localisées. L'objectif est à terme de proposer une gestion différente pour les zones très productives en cèpeset pour les zones moins productives

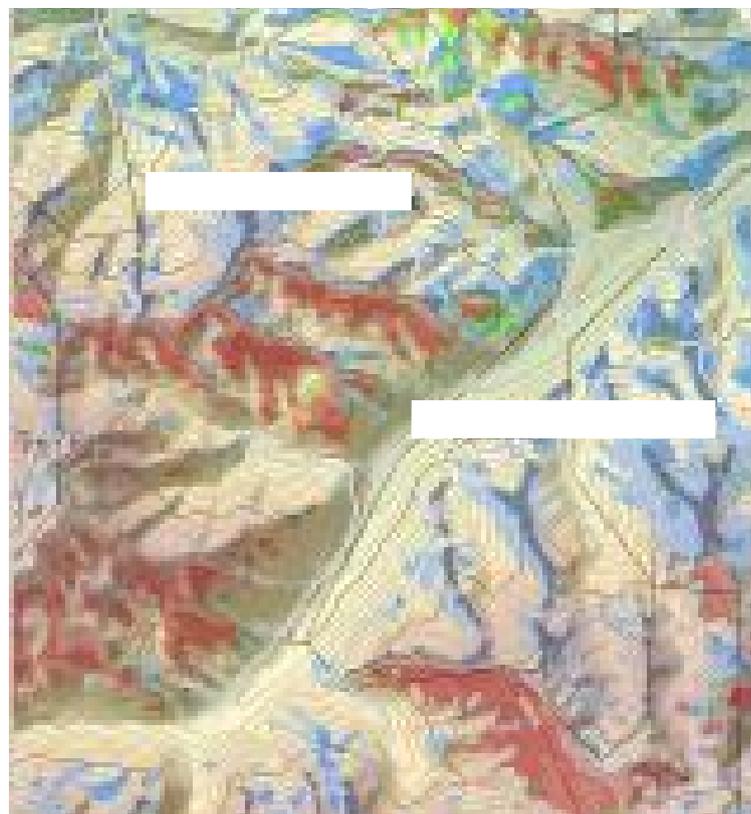


Fig.6 : Cartographie d' un territoire pyrénéen montrant, en rouge, les zones potentiellement très favorables à B. pinophilus (et moyennement favorables en bleu).
Source : Micosylva. Etude réalisée par L.Rigou-CACG et G. Arlandes - « Pyrénées cartographie ».
(Les noms de lieu sont volontairement maqués)

Cette première approche du potentiel pédoclimatique du territoire vis à vis de la production d'une espèce fongique permet de localiser les parcelles forestières sur lesquelles il est particulièrement intéressant de réaliser une gestion permettant d'optimiser, **durablement**, la production effective de cette espèce.

La notion de durabilité est ici essentielle car certains écosystèmes qui se révèlent durant un temps très productifs en certaines espèces (les cèpes notamment) ne le sont pas durablement car n'étant pas gérés globalement (arbres, biodiversité, sols...) durablement (fig.7).

Ainsi, le « potentiel pédo-climatique » de production de champignons comestibles ne pourra s'exprimer vraiment et durablement qu'à travers la gestion des 3 autres facteurs signalés plus haut : (2) la composition des peuplements, (3) la structure des peuplements, (4) la matière organique.



Fig.7 : illustration d'un peuplement d'épicéas (*Picea abies*) en Corrèze. Les épicéas des zones de moyennes montagnes françaises ont produit beaucoup de cèpes (*B.edulis*) entre 17 ans et 30 ans d'âge de plantation. Ensuite, la production diminue de manière drastique, soit du fait de la première éclaircie systématique, soit par vieillissement du peuplement. Dans la même Région, des peuplements mélangés issus de reboisements spontanés par *Picea abies* mais aussi des essences feuillues indigènes sont très productifs aussi et beaucoup plus proches des habitats naturels.

Rappelons que cet intérêt se justifie avant tout par un intérêt économique. La valeur importante des champignons font de cette ressource biologique une ressource économique à part entière. Par ailleurs, il semble justifié de considérer que cette deuxième ressource forestière peut permettre une meilleure rentabilité des efforts (en particulier financiers) liés à la gestion forestière, actuellement uniquement supportés par la filière bois.

2) - Gérer la composition des peuplements

A nouveau, il est important ici de bien distinguer les notions de «production» et de «production durable ». On peut par exemple aujourd'hui avoir dans les Pyrénées de belles productions de cèpes sous des peuplements monospécifiques de hêtres ou de sapins alors même que l'on se situe à l'étage de la hêtraie-sapinière. Cependant, on peut avoir des productions équivalentes en peuplements mélangés, y compris avec des essences d'accompagnement. On peut même estimer qu'un peuplement mélangé présente une meilleure adaptabilité aux aléas climatiques en diversifiant les essences-hôtes des cèpes. Par ailleurs et surtout, on peut estimer que l'écosystème fonctionnera mieux et sera plus durable en retrouvant une plus grande biodiversité. Une préconisation est donc de réorienter la gestion vers une composition plus proche de l'habitat naturel (Hêtraie-sapinière) (fig. 8



Fig 8. : Situé dans le même massif que le peuplement de hêtres de la fig.1, ce peuplement mélangé de hêtres et sapins pectinés (*Abies pectinata*) coorespond mieux à l'habitat naturel.

3) - Gérer la structure des peuplements

Plusieurs articles de cet ouvrage expliquent les relations entre structure des peuplements et productions de cèpes. Le traitement en futaie jardinée offre des conditions excellentes : proximité d'arbres adultes en étage dominant (qui alimentent les mycéliums via la sève élaborée) et de collectifs de petits arbres qui développent une mycorhization importante pour supporter la concurrence nutritionnelle dans les sols. L'étage dominant est ouvert et permet une bonne pénétration des pluies et de l'ensoleillement tandis que les collectifs de petits arbres créent des microhabitats favorables en protégeant le sol et les champignons en croissance contre un ensoleillement direct.





Le renouvellement des arbres conduit à un rajeunissement constant favorable aux cèpes qui sont des espèces plutôt pionnières. Les diversités des âges des arbres, des strates, des microhabitats favorisent une biodiversité garante d'une durabilité de l'écosystème et donc des productions. Des préconisations peuvent être : de maintenir le traitement en futaie jardinée ou bien de réduire les surfaces des parquets de régénération (une surface de 2000 m² a par exemple été préconisée en Navarre), de maintenir une certaine surface non exploitée pour garantir toujours la proximité d'arbres adultes au voisinage des plages de régénération. Ce dernier point rejoint une préconisation en terme de maintien d'une biodiversité dans les forêts gérées pour le bois. Il est également intéressant de proposer une alternative aux dépressage puis éclaircie systématique dans les jeunes peuplements, en préconisant une « éclaircie par détourage » qui favorisera cette structure irrégulière intéressante pour les cèpes. La production fongique pourrait être considérée comme un argument économique (ou « social » dans ce contexte pyrénéens où les cèpes constituent des réserves de produits alimentaires de luxe pour les repas améliorés de l'année) justifiant les surcoûts imposés par ce travail d'éclaircie (et plus tard d'exploitation) plus exigeant.

La prévention contre les dégâts des cervidés est un argument complémentaire (Les abrouissements sont en effet beaucoup plus systématiques et destructeurs dans les systèmes réguliers de jeunes arbres dépressés de manière systématique sur des surfaces importantes).

4 - Gestion de la matière organique

Toujours dans cet exemple des cèpes, transposable à un certain nombre d'espèces comestibles intéressantes, le développement des champignons est fortement conditionné par la présence des constituants de la « litière » forestière. Le mycélium a une fonction de dégradation des feuilles et aiguilles. Les litières de feuilles, les mousses et les bois morts constituent des microhabitats favorables (stockage d'eau pour alimenter la croissance des champignons et protection contre l'air sec et l'ensoleillement direct). Les préconisations sont de protéger les litières de feuilles (tout en favorisant leur transformation par l'ouverture du milieu qui accompagne dans tous les cas la gestion forestière), de laisser les petits bois au sol (branches) qui retiennent justement la litière dans les pentes face aux facteurs érosifs (eau, neige...), de laisser des gros bois également (en particulier dans les pentes) qui permettent : (i) des circulations le long des troncs et accumulations d'eau qui favorisent l'initiation fructifère, (ii) un stockage d'eau qui pourra « alimenter » la fructification, (iii) le maintien d'une ambiance favorable entre le sol et le dessous des troncs.



Fig 10 et 11. : Maintien de la litière de feuilles dans des pentes soumises à l'érosion (par la neige en particulier) par des bois morts.

Les champignons comestibles : des indicateurs pour la gestion

Les observations menées dans le programme Micosylva confortent l'hypothèse générale que les fortes productivités en cèpes sont en relation avec des caractères de déséquilibre des écosystèmes forestiers. Cela signifie aussi que les cèpes sont des auxiliaires importants des arbres dans des conditions difficiles. Ces facteurs de déséquilibres peuvent être naturels (exemple des sols très superficiels). Ils peuvent aussi avoir été provoqués : exportations excessives de bois au fil des siècles et épuisement des réserves minérales, (fig.12), simplification excessive des peuplements, conduisant souvent à une dégradation des formes d'humus (exemple de l'évolution de peuplements mixtes résineux-feuillus vers des peuplements résineux purs : *Pinus sylvestris*/*Quercus pyreneica* ==> *Pinus sylvestris*) et à une acidification des sols conduisant à une végétation herbacée également acidifiante (éricacées...). Dans les situations de très fortes productivités observées en cèpes («Zones topoclimatiques » idéales + facteurs de déséquilibres marqués dans les peuplements), l'indication générale est la nécessité d'une démarche de restauration des milieux, adaptée bien sûr à la résolution du facteur de déséquilibre.

Une moindre exportation de bois peut résoudre à terme un problème d'appauvrissement des réserves minérales

(par moindre exportation et par ouverture modérée du milieu pour limiter minéralisation et lixiviation), protection de la matière organique (maintien des bois morts, protection des litières...), composition mieux équilibrée du peuplement (préservation des essences d'accompagnement...).



Fig.12 : Hêtraie-Sapinière (*Fagus sylvatica* et *Abies pectinata*) (Pyrénées françaises).

Dans ce peuplement, la production de cèpes est très importante (environ 60 Kg/ha/an). Le sol a été très appauvri par des exploitations de bois excessives au fil des siècles. La préconisation de gestion est ici d'éviter d'exporter du bois pendant longtemps et de rétablir une irrégularité dans ce peuplement théoriquement traité en « futaie jardinée ». Un détourage d'une quinzaine de jeunes arbres tous les 20 ans et le maintien des gros bois actuels rend cet objectif réaliste. La production de cèpe compense très largement le manque à gagner théorique en bois. La survie du peuplement est au prix de cette non-exportation

La productivité en cèpes peut justifier souvent une moindre valorisation du bois et certains aménagements destinés à l'amélioration de l'état des écosystèmes. .

En toute logique, la «gestion restauratrice» conduira à terme à une baisse de productivité en cèpes dans ces zones très productives! Cependant, l'échéance sera lointaine et la production restera forte en raison du fort potentiel topo-climatique.

Dans toutes les autres zones du territoire, le respect des préconisations évoquées plus haut garantira une production assez intéressante de cèpes (10 Kg/ha/an) qui est donc l'un des éléments justifiant une gestion moins intensive et plus durable des peuplements.

La mycosylviculture : une discipline permettant de porter un diagnostic sur l'état des écosystèmes et de préconiser des modèles de gestion adaptés.

Ainsi, en fonction du diagnostic réalisé sur la « qualité » (La « qualité » pouvant être définie comme un certain « niveau de préservation », un « état d'équilibre », un « niveau de résilience »,etc...) des écosystèmes forestiers et bien sûr des objectifs de gestion définis à partir de critères économiques et sociaux, on pourra définir trois modes de « gestion mycosylvicole » :

une « gestion durable » des écosystèmes équilibrés, une « gestion amélioratrice » pour les écosystèmes présentant certains facteurs de déséquilibre, faibles et n'ayant pas encore compromis la préservation de ces écosystèmes, une « gestion restauratrice » pour les écosystèmes dont la durabilité est compromise (par une dégradation des sols en particulier ou par des sylvo-faciés non adaptés aux contextes topo-pédo-climatique...). Avec le temps et l'amélioration des écosystèmes, la gestion pourra évoluer selon le cycle d'intervention illustré sur le schéma suivant (fig.13)..

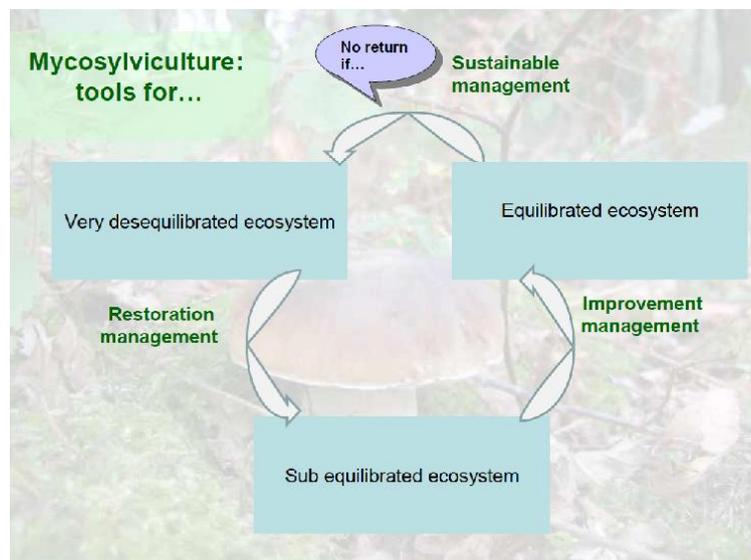


Fig.13 : La mycosylviculture : des préconisations différentes, dans trois situations différentes.



Le réseau Micosylva permet d'illustrer un ensemble de situations de massifs forestiers dans lesquels la mycosylviculture peut apporter ces réponses diverses en termes de gestion. Une gestion restauratrice sera adaptée à la situation d'un secteur pyrénéen situé sur la commune de Hèche (parcelle Micosylva N°), caractérisé par un appauvrissement très important des sols à la suite d'une trop forte exploitation de bois durant des siècles. Elle sera également adaptée aux situations de dépérissement des suberaies (et chênaies à chêne vert) observées dans l'Alentejo (cf. Diagnostic mycosylvicole des Suberaies de l'Alentejo). Il nous apparaît ensuite que l'ensemble des autres sites du réseau permettent d'illustrer autant de cas de préconisation de gestion restauratrice. Selon notre grille de diagnostic mycosylvicole qui prend donc en compte des facteurs peu considérés par la gestion classique, tous ces sites révèlent en effet au moins quelques points faibles, essentiellement liés à des pratiques de gestion mais aussi sans doute à des évolutions du climat et ces points faibles méritent des améliorations.

La mycosylviculture : un thème fédérateur pour des projets de gestions territoriales.

Les projets de gestion territoriale initiés dans le cadre de **Micosylva** visent une action ciblée sur le niveau d'articulation entre les politiques européennes, nationales et régionales d'une part et les mises en oeuvre locales de ces politiques à travers des projets de territoire. Cette action vise à promouvoir l'exemplarité d'expériences réussies dans ce domaine et leurs transpositions à plus larges échelles. Les partenaires impliqués ont une légitimité et une expérience dans une mission d'interface entre politiques forestières et environnementales et animation participative des territoires. Le partenariat permet de pérenniser un réseau de référence et d'échange de bonnes pratiques de gouvernance relatives à une diversité représentative de territoires forestiers, à la fois en forêt publique et privée, en forêt de production, en forêt de protection (Sites Natura 2000 en particulier).

BIBLIOGRAPHIE

- Gonin P. et Larrieu L., 2009 - *Biodiversité et gestion forestière : illustration dans une forêt pyrénéenne. Forêt de Hèches - Vallée de la Neste (Hautes-Pyrénées)*. Document fourni au stage de biodiversité de juin 2009, CNPPF-IDF, 51p.
- Guinberteau J., Courtecuisse R., 1997 - *Diversité des champignons (surtout mycorhiziens) dans les écosystèmes forestiers actuels*, Revue Forestière Française, XLIX, n°spécial 1997, p. 222-234.
- Larrieu L., Nys C. et Jabiol B., 2006 - *Prise en compte de la fragilité chimique des sols forestiers dans les conseils de gestion. Illustration pour une sapinière-hêtraie montagnarde sur roche acide (Vallée d'Aure, Hautes-Pyrénées)*, Revue forestière Française, LVIII, pp.531-548.
- Leprince F., Rondet J., Seegers N. et Guinberteau J., 2005 - *Favoriser le cèpe, Forêt entreprise*, 164, pp.18-22.
- Le Tacon F., 1997 - *Vers une meilleure prise en compte des champignons mycorhiziens dans la gestion forestière*, Revue Forestière Française, XLIX, n°spécial 1997, p. 245-255.
- Olivier, J.M., Guinberteau J., Rondet J., Mamoun M., 1997 - *Vers l'inoculation contrôlée des cèpes et bolets comestibles*, Revue Forestière Française, XLIX, n°spécial 1997, pp. 222-234.
- ONF, 2008 - *Forêt communale de Bagnères-de-Bigorre (1941.24 ha)*, Procès verbal de révision d'aménagement (2009-2023), Service Départemental des Hautes-Pyrénées, Tarbes, 106p.
- Peyre B., 2006 - *L'économie du Champignon en Corrèze : Réalités et perspectives*, CDCE, 2006, 143 p.
- Rondet J., Leprince F., Guinberteau J., Olivier J.M et Cazanova FX., 2001 - *Les cahiers du Cèpe – 1. Bases de la production*, LEGTAF de Vic en Bigorre, 85 p.
- UGS CoFor, 2009 - *Schéma stratégique forestier des Pyrénées*, 38 p.
- Documents et études générés par le programme Micosylva ayant permis la rédaction de ce guide de mico-sylviculture.
- Diette S., 2009 - *Inventaire pied à pied sur les placettes Micosylva du département des Hautes-Pyrénées*, Alcina, 12 p.
- Corriol G., Hanneire C., 2010 - *Diagnostics phyto-sociologiques et mycocoenologiques des placettes d'études : Bagnères de Bigorre (Hautes-Pyrénées) ; Marquerie (Hautes-Pyrénées) ; Hèches (Hautes-Pyrénées) ; Gourdon-Murat (Corrèze)*, Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées, 49 p.
- Rigou L., 2010, *Recueil des fiches sols des placettes myco-sylvo-démonstratives*, Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne, 12 p.
- Zimmerlin A., Borderie T., 2011, *Recueil des diagnostics des placettes myco-sylvo-démonstratives : Bagnères de Bigorre (Hautes-Pyrénées) ; Marquerie (Hautes-Pyrénées) ; Hèches (Hautes-Pyrénées) ; Gourdon-Murat (Corrèze)*, Chambre Départementale d'Agriculture des Hautes-Pyrénées, 141 p.
- Zimmerlin A., Borderie T., 2011, *Diagnostic du massif forestier de l'«Association des Propriétaires Forestiers et Agricoles de Bigorre»*, Chambre Départementale d'Agriculture des Hautes-Pyrénées, 30 p.
- Zimmerlin A., 2010, *Matériel et méthode des diagnostics des placettes myco-sylvo-démonstratives suivies par la Chambre d'Agriculture des Hautes-Pyrénées*, 17p
- Diette S., 2009 - *inventaire pied à pied sur les placettes Micosylva du département de la Dordogne*, Alcina, 9 p.
- Rigou L., 2009, *Recueil des fiches sols des placettes myco-sylvodémonstratives*, Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne, 16 p.
- Boisvert B., Mares B., Lefèvre J., Neveu T., Derk F., Prince C., 2007, *Diagnostic de territoire, Charte forestière du Sud Périgord*, 77 p
- Prince C., 2010, *La forêt et le bois en Périgord, Interbois Périgord*, 8 p
- Seegers N., 2011, *Diagnostics des placettes mycosylvo-démonstratives*, Chambre d'agriculture de la Dordogne, 46 p.

La Mycosylviculture

Chapitre 6 : formation et sensibilisation

Ce document est réalisé dans le cadre du projet Micosylva. Micosylva est un projet scientifique et technique européen cofinancé par des aides FEDER-INTERREG.

L'objectif est de promouvoir en Europe une gestion multifonctionnelle et durable des forêts qui intègre et valorise les fonctions écologiques et socio-économiques des champignons sylvestres comestibles. Afin de réaliser ce projet, sur la base d'une coopération entre 8 partenaires, espagnols, français et portugais, un réseau de 18 zones myco-sylvodémonstratives a été mis en place dans le sudouest de l'Europe (appelé aussi espace SUDOE).

Fort de ce réseau de référence, la finalité du projet est de construire durablement dans l'espace SUDOE, une stratégie commune de préservation des écosystèmes forestiers tout en montrant le rôle essentiel des champignons.

Coordination :

Jean Rondet et Fernando Martinez Peña

Auteurs du chapitre 5 :

Jean Rondet – EPLEFPA Vic en Bigorre, France

Fernando Martinez Peña – DIEF Valonsadero, Soria, Espagne

Anna Sanchez – ADPM, Mertola, Portugal

Christianne Colombel – EPLEFPA Vic en Bigorre, France

Dessins, aquarelles :

Jean Rondet et Françoise Boutet

Sommaire



Chapitre 6 : Formation et sensibilisation

LE RESEAU MICOSYLVA DE SITES DE DEMONSTRATION DE LA MYCOSYLVICULTURE	4
SENSIBILISATION DES PUBLICS A L'UNIVERS DES CHAMPIGNONS SYLVESTRES	15
SEQUENCE PEDAGOGIQUE SUR UNE PLACETTE MICOSYLVA	32
UNE TRAME DE QUESTIONS-REPONSES SUR LES CEPES	12

LE RESEAU MICOSYLVA DE SITES DE DEMONSTRATION DE LA MYCOSYLVICULTURE

Jean Rondet, Fernando Martinez Pena

Quel est ce réseau et quel est son rôle ?

Le projet Micosylva visait à créer en Europe et au-delà un « outil » de démonstration d'un nouveau concept de la sylviculture appelé la Mycosylviculture.

Cet outil comprend un ensemble de ressources méthodologiques permettant de mieux analyser le fonctionnement des écosystèmes forestiers et donc de mieux les gérer. D'autre part, un réseau de 18 placettes forestières d'environ un hectare chacune permet de mettre en oeuvre ces méthodes d'analyses et d'appliquer concrètement des travaux d'amélioration. Ces placettes permettent ainsi d'illustrer concrètement ce concept de mycosylviculture.

Quels sont les rôles de ces placettes ?

Elles ont principalement un rôle pédagogique. Rappelons que le projet « Micosylva » n'est pas un projet de recherche mais bien un projet visant à diffuser des connaissances scientifiques auprès des différents publics intéressés par la forêt, sa connaissance et sa gestion.



Fig.1 - Propriétaires forestiers et Nathalie Seegers, technicienne "mycosylviculture" à la chambre d'agriculture de la Dordogne-France.

Depuis plusieurs années, la Chambre d'Agriculture organise des actions de sensibilisation auprès des propriétaires forestiers, en relation avec le Centre Régional de la Propriété Forestière. Le programme Micosylva a donné une nouvelle impulsion à ce travail.

Cependant, l'établissement de cet ensemble de méthodologies et de méthodes d'analyse regroupé sous le terme générique de « diagnostic mycosylvicole » a demandé durant le temps du projet un travail de partage et de synthèse de connaissances. Ce travail a été mené au sein d'un Comité scientifique (fig.2) constitué de spécialistes de trois disciplines généralement trop éloignées les unes des autres : la sylviculture, la pédologie, la mycologie. Cette « rencontre » interdisciplinaire a permis de mettre l'accent sur des relations fonctionnelles importantes au sein des écosystèmes forestiers mais jusque là peu prises en compte par les gestionnaires.



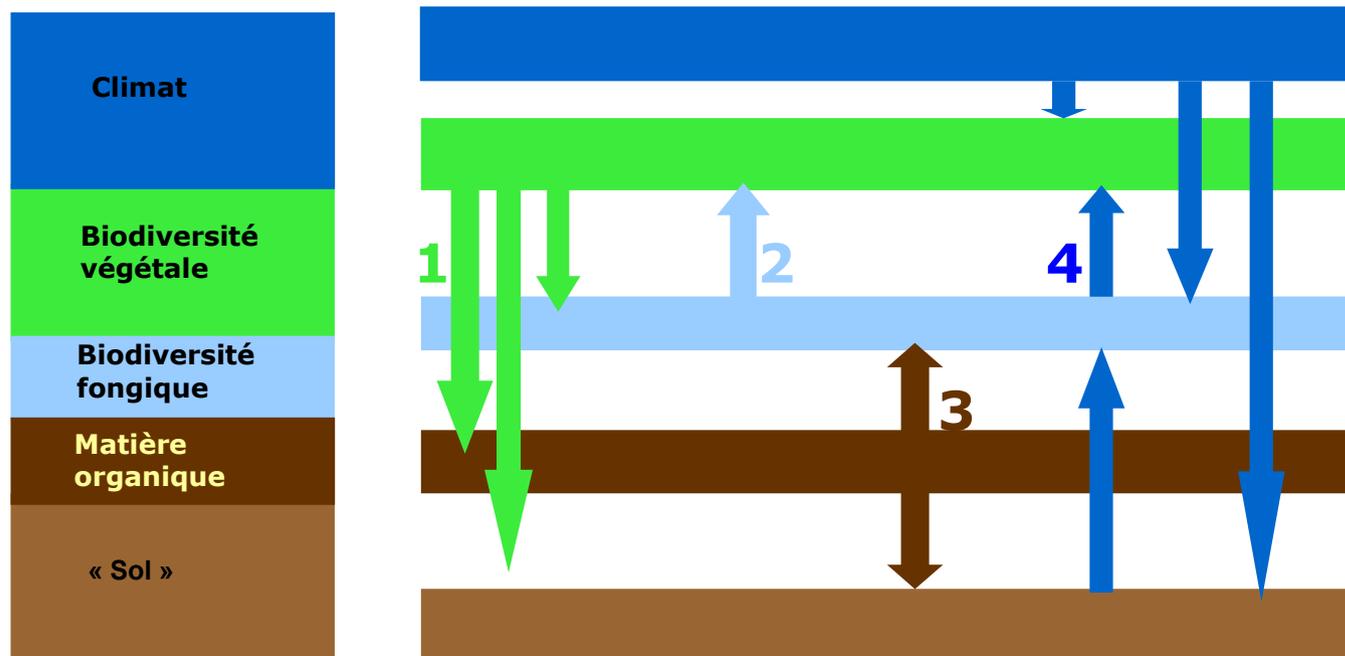
Fig. 2 - Rencontre du Comité Scientifique Micosylva dans les Hautes-Pyrénées (Photo J.Rondet)

L'un des fondement du projet de diffusion de connaissances : définir et transmettre le nouveau concept de « mycosylviculture ».

Dans la nouvelle approche méthodologique proposée, les champignons occupent en fait une place centrale, pour deux raisons.

La première est que la compréhension du fonctionnement des champignons impose une approche plus riche de l'écosystème forestier. Ce dernier est en effet un système global dans lequel les champignons constituent une interface fonctionnelle essentielle entre le sol et le peuplement forestier. Une vision de la forêt qui oublie cette interface est une vision simplificatrice qui conduit à ne pas prendre en compte certaines conditions essentielles au fonctionnement correct de cette interface. Et nous pouvons constater aujourd'hui en étudiant de nombreux systèmes forestiers gérés que nous sommes en train de perdre certaines de ces conditions : des sols se dégradent, la biodiversité générale diminue et avec elle la biodiversité fongique. Mais nous ne voulons pas répéter les informations suffisamment explicitées dans les articles précédents. Le schéma de la page suivante (fig. 3) résume ces interactions.

Fig.3- Rôle des champignons dans les interactions entre les grands éléments de l'écosystème :



1- La biodiversité végétale conditionne la biodiversité fongique et en particulier la présence d'une diversité de champignons mycorhiziens.

1 et 3 - Les végétaux conditionnent également la biodiversité fongique à travers la constitution de l'essentiel de la matière organique qui sert de support de vie à une diversité de champignons saprotrophes et, pour une part, à de nombreux champignons mycorhiziens.

2- « En retour », la biodiversité fongique permet à une diversité de plantes de vivre en leur permettant de mobiliser les réserves minérales et azotées du sol minéral et de ses fractions organiques.

4- Enfin, les champignons ont une place très importante dans les interactions liées au climat. En effet, le climat conditionne directement les plantes d'une part et les champignons d'autre part. Mais l'action du climat sur les plantes s'exerce également indirectement, à travers le fonctionnement des champignons mycorhiziens dont une fonction essentielle est de mobiliser les réserves en eau du sol. Ainsi, les champignons mycorhiziens ont un rôle majeur dans la capacité des peuplements à surmonter les problèmes de stress climatiques.



La deuxième raison qui justifie de mettre les champignons en avant dans cette nouvelle approche apparaît parfois comme une provocation. Il est en effet difficile à accepter que les champignons, ces organismes si fragiles, si fugaces, qui apparaissent sous des arbres beaucoup plus impressionnants représentent une valeur économique égale et souvent bien supérieure à celle du bois, dans de nombreux écosystèmes forestiers pourtant gérés pour le bois. A partir de ce constat, il ne s'agit certainement pas d'entamer une querelle entre tenants de la production de bois et tenants de la production de champignons mais bien d'expliquer que des modes de gestion légèrement adaptés peuvent assurer une production conjointe de bois et de champignons.

On peut dire d'une manière différente que la valeur économique de cette deuxième production, fongique donc, peut venir compléter la valeur bois pour déjà couvrir les charges de la gestion forestière et ensuite améliorer le revenu de la forêt (fig.4).

Cette valeur économique s'accompagne par ailleurs d'une valeur sociale dans le sens ou la prise en compte des champignons dans une gestion ainsi multifonctionnelle permet une meilleure appropriation de la forêt par une communauté élargie d'acteurs forestiers. Dans certains contextes, cela impose alors une résolution de nouveaux conflits d'usages (entre les acteurs déjà établis et les nouveaux acteurs intéressés par cette ressource dite « complémentaire »). Ces conflits peuvent en fait avoir l'intérêt de stimuler une nouvelle réflexion collective sur les fonctions des espaces forestiers. Dans d'autres contextes (où le bois a peu de valeur ou bien encore dans des situations où des propriétaires privés en s'intéressent pas au bois faute de connaissances par exemple), l'intérêt à produire mieux des champignons peut conduire à s'intéresser à la gestion des forêts.

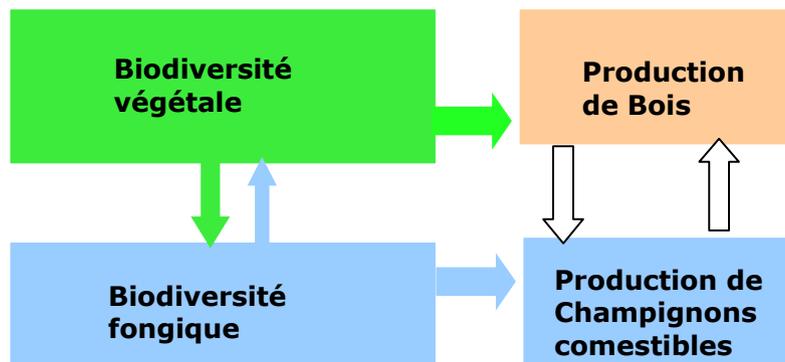


Fig. 4 : deux productions en synergie

Que veut-on démontrer sur ces placettes forestières à vocation pédagogique ?

Le principe est donc d'amener sur ces placettes différents groupes de personnes désireuses de s'informer sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers, pour des raisons diverses...

Dans ces groupes, les personnes partent de conceptions et d'intérêts différents, comme le veut l'illustrer le dessin suivant (fig.5)

Il s'agit bien à priori pour ces personnes d'apprendre des choses nouvelles et donc en fait de modifier leur compréhension, leur vision de la forêt. L'apprentissage est bien cela. Ainsi, par exemple, la personne qui viendrait avec l'objectif de comprendre comment faire pousser des champignons en forêt pourrait repartir en s'intéressant autant aux arbres qu'aux champignons,



Fig.5 Devant la même forêt, des intérêts différents

ou bien plus à la préservation de la biodiversité qu'à la production de champignons. Pour que cet apprentissage se passe, il faudra que les « apprenants » acquièrent des connaissances suffisamment précises et suffisantes pour être capables de développer une compréhension globale du fonctionnement de l'écosystème (fig.6) et de connaître les moyens de gérer cette réalité complexe.



Fig. 6- Dessin illustrant la complexité de l'écosystème forestier à travers les rôles des communautés fongiques (Voir à ce propos les articles initiaux de cet ouvrage).

Un public qui nous est particulièrement important dans ce programme est représenté par les gestionnaires forestiers.

Si nous considérons ces acteurs, ils vont venir avec un double objectif : d'une part comprendre comment fonctionne l'écosystème visité et d'autre part ils vont vouloir repartir avec les moyens de pouvoir transposer chez eux, dans une Région différente et sur des forêts différentes ce qu'ils auront appris ici.

Il s'agit donc de donner au public à la fois une illustration concrète de ce que l'on entend par mycosylviculture mais également des **méthodes de diagnostic** qu'ils puissent utiliser sur leurs territoires particuliers (fig.7)

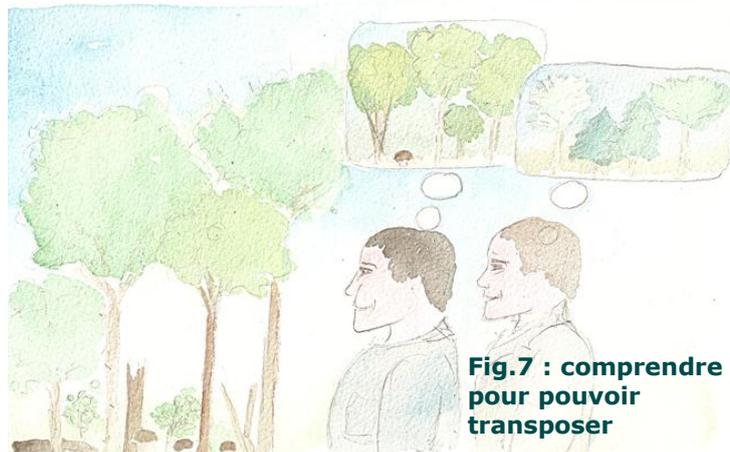


Fig.7 : comprendre pour pouvoir transposer

Quelles sont ces méthodes de diagnostic appliquées et démontrées sur les placettes du réseau micosylva ?

Dans la chronologie du projet, il nous a fallu suivre les quatre étapes suivantes : (i) définir un ensemble de critères d'observation des écosystèmes forestiers étudiés, (ii) proposer et appliquer des méthodes efficaces, ni trop compliquées ni trop coûteuses, pour étudier ces paramètres, (iii) mettre en évidence des relations importantes existant entre ces différents paramètres, (iiii) déduire des principes de gestion qui permettent dans un écosystème d'améliorer ces relations fonctionnelles.

Par exemple, nous pouvons mettre l'accent sur les relations existant entre trois éléments : les relations entre la structure du peuplement (1) et la pénétration des agents climatiques jusqu'au sol (2), puis sur les relations entre cette pénétration des agents climatiques (2) et la fructification des champignons (3).

Nous pouvons rajouter dans cet exemple d'analyse des relations entre les différents critères observés un quatrième paramètre qui est la structure du sol et son comportement vis à vis de la circulation de l'eau. Il s'agit du "comportement hydrodynamique du sol" (4) Ainsi, en étudiant bien dans un premier temps les différents paramètres de l'écosystème, on peut ensuite enrichir progressivement sa compréhension des relations fonctionnelles (compréhension basée d'abord sur la compréhension du système 1+2+3 puis compréhension d'un système plus complexe (1+2+3+4).

Donc, nous souhaitons sur ces parcelles transmettre aux acteurs forestiers trois choses : (i) **une grille d'analyse** suffisamment complète pour ne pas laisser dans l'ombre des paramètres importants, (ii) **un savoir-faire concernant les méthodes d'analyse** de ces différents paramètres, (iii) **une capacité à explorer les relations** entre ces paramètres et à en déduire dès lors les façons d'optimiser ces relations. C'est cette triple acquisition qui va permettre ensuite aux acteurs forestiers de transposer la démarche de « diagnostic mycosylvicole » sur d'autres écosystèmes.

Comment avons-nous procédé dans ce projet pour élaborer ce cadre méthodologique qui définit le « diagnostic mycosylvicole » ?

Un comité scientifique s'est déplacé au cours des deux années sur différents écosystèmes des Régions partenaires. A ces occasions nous avons partagé nos vues sur les paramètres importants à prendre en compte ; nous avons partagé également nos connaissances sur les méthodes d'analyse possibles pour étudier ces paramètres et puis nous avons partagé nos connaissances et nos hypothèses sur les relations entre ces paramètres (fig.7)

Bien sûr, en appliquant concrètement les méthodes d'observation sur ces placettes, nous avons pu enrichir notre compréhension des relations fonctionnelles entre paramètres de l'écosystème. Ainsi par exemple, en observant le comportement de différents sols vis à vis de la pluie, nous avons éclairci notre compréhension de la relation entre le comportement hydrodynamique du sol et la fructification des cèpes, champignons importants du programme (fig.8). Le processus est dynamique et toujours en progrès car bien sûr l'amélioration de la compréhension invite à approfondir l'analyse des paramètres pour mieux explorer ces relations. C'est pourquoi le réseau de placettes micosylva offre également aujourd'hui un matériel intéressant pour des programmes de recherche.



Fig.8- Le comité scientifique « penché » sur le cas de la fructification des cèpes dans un sol particulièrement favorable à celle-ci.



Fig.9- Le même écosystème illustré en aquarelle. La représentation met en évidence un sol particulier constitué d'un horizon organique très superficiel abritant le mycélium de cèpe comme « posé » sur les horizons suivants très compacts et assez imperméables. Ainsi, des pluies très peu importantes suffisent à initier les pousses.(voir à ce propos l'article sur l'écologie des cèpes). Ce cas est éclairant pour expliquer des situations similaires dans des écosystèmes pourtant différents d'autres pays.



Neuf exemples de sites micosylva : description succincte et synthèse des préconisations.

Fig. 10- Chênaie à chênes pédonculés.

Une production de cèpes intéressante mais un peuplement qui montre des signes de dépérissements. Une régénération est prévue dans les trouées importantes à partir d'essences en mélanges bien adaptées à la situation locale (sapins pectinés, pins sylvestres, chênes sessiles...

fig.11- Hêtraie-Sapinière (*Fagus sylvatica* et *Abies pectinata*)

Productions intéressantes de bois et de champignons. Système forestier assez équilibré avec cependant un manque d'essences d'accompagnement, de très gros bois vivants et de gros bois morts. Le sol, fragile, réunissant l'essentiel de la fertilité dans les premiers horizons, doit être protégé. La porosité de ce sol jusqu'en profondeur explique une production moyenne de champignons dans le contexte climatique actuel.

Les préconisations de gestion consistent simplement en l'application de mesures visant à rétablir un meilleur équilibre du point de vue des éléments cités ci-dessus en faiblesses.



Fig.12- Pessière (*Epicea commun* - *Picea abies*)

Les épicéas du centre de la France ont produit beaucoup de cèpes dans les années 75 à 95). Cette parcelle représente bien une situation très fréquente où ces épicéas ont vieilli, ne sont pas remplacés (au profit le plus souvent du douglas -*Pseudotsuga menzeii*). Ici, une solution de détournement des épicéas est préconisée pour rouvrir d'une manière « douce » le peuplement et relancer la production des cèpes (et des arbres) + une solution de régénération mixte : naturelle à partir d'essences présentes inintéressantes + enrichissement avec un mélange d'essences vectrices de mycélium de cèpes (cf. article écologie des cèpes) et d'essences-hôtes intéressantes.





Fig13- Chênaie à chênes verts. Comme malheureusement dans bien des zones du Baixo-Alentejo, au Sud de Lisbonne, les chênes verts dépérissent. Le *Phytophthora cinnamomi* est un agent parasite qui est impliqué dans ce phénomène. D'autres facteurs sont en cause, comme d'ailleurs dans la suberaie – chênaie à Chêne liège. (cf. à ce propos le diagnostic sur la suberaie dans cet ouvrage). Les solutions de gestion envisagées reposent sur un ensemble de préconisations de techniques forestières et agricoles mais elles supposent une forte implication des gestionnaires et utilisateurs de ces espaces.



Fig.14- Pinède à Pin sylvestre (+ chênes pubescent + chênes verts).

Ce peuplement mélangé est un exemple intéressant qui montre qu'une production intéressante de Lactaire délicieux est possible dans un peuplement mélangé, dans un contexte où la gestion conduit plutôt à des peuplements purs, moins intéressants en terme de biodiversité bien sûr.

L'ouverture du milieu, le rajeunissement régulier des peuplements lié à la gestion favorise la croissance des arbres et la production de Lactaire délicieux (cf. l'article sur l'écologie de cette espèce). Cependant, des solutions alternatives à l'éclaircie systématique et aux autres techniques préconisées habituellement. Cela pour atteindre conjointement les objectifs « Bois, Biodiversité, Champignons comestibles ».



Fig.15-Chênaie à Chêne pédonculé et Chêne tauzin (*Q.pyreneica*). La vocation de ce peuplement est avant tout de produire des cèpes, dans une situation de bordure d'étang très favorable habituellement en Dordogne -France.

Une solution de gestion est préconisée pour améliorer les conditions micro-climatiques en sous-bois, dans un contexte de changement climatique : l'installation d'un sous-étage, à partir d'essences résineuses et feuillus.



Pinède à Pin sylvestre (+quelques chênes tauzins)

Cette pinède de Soria (Castille et Leon) produit à la fois du bois et des cèpes (*Boletus edulis* et *B. pinophilus*) en grandes quantités. Par ailleurs, ces peuplements servent de parcours aux animaux d'élevage (bovins). Les préconisations de gestion concernent les conditions de régénération (la régénération ne doit pas perturber les sols pour profiter des inoculum de cèpes présents naturellement). Par ailleurs, une évolution des pratiques semble nécessaire pour favoriser une moindre régularité des peuplements, l'essence d'accompagnement que représente *Q. pyrenaica*, une plus grande quantité de gros bois mort au sol, une pression animale moins forte.



Hêtraie-Sapinière (*Fagus sylvatica* et *Abies pectinata*)

Dans ce peuplement, la production de cèpes est très importante (environ 60 Kg/ha/an) et représente une grande valeur pour les propriétaires organisés en groupement forestier. Le sol a été très appauvri par des exploitations de bois excessives au fil des siècles. La préconisation de gestion est ici d'éviter d'exporter du bois pendant longtemps et de rétablir une irrégularité dans ce peuplement théoriquement traité en « futaie jardinée ». Un détournement d'une quinzaine de jeunes arbres tous les 20 ans et le maintien des gros bois actuels rend cet objectif réaliste. La production de cèpe compense très largement le manque à gagner théorique en bois. La survie du peuplement est au prix de cette non-exportation



Taillis de châtaigniers + qqes réserves de chênes

Ce peuplement produit tous les quarante ans du châtaignier valorisé traditionnellement en plancher et autres usages. La crise du bois compromet les meilleurs débouchés. Ce type de peuplement produit beaucoup de cèpes. Les préconisations de gestion comprennent le maintien des chênes, des bandes de coupe réduites en surface et plutôt le détournement des arbres intéressants pour une conversion du taillis en futaie. Les hypothèses liées au changement climatique invitent à envisager un enrichissement en des essences mieux adaptées au climat (cf. propositions faites en Dordogne sur ce type de peuplement).



De l'échelle « placette ou parcelle » à l'échelle « massif ».

Le réseau de sites Micosylva comprend des placettes à vocation de démonstration, de pédagogie et éventuellement, sur d'autres programmes, de recherche. Il est cependant essentiel que les sites micosylva intègrent également la dimension « massif » qui intéresse bien sûr les gestionnaires.

D'une manière générale, en ayant compris les principaux points forts et points faibles d'un type de système forestier à l'échelle d'une placette (ou bien sûr de plusieurs placettes comparées), on pourra chercher à évaluer les espaces forestiers environnants du point de vue de ces points forts-points faibles...

Cette évaluation pourra se faire en se déplaçant et en visitant concrètement les forêts ; On pourra aussi utiliser les documents forestiers existant. On pourra enfin utiliser des méthodes de modélisation telles que celles présentées dans cet ouvrage.

Une dernière question maintenant pour stimuler le débat et aller vers une conclusion provisoire !

Cette question est la suivante : est-ce que ce « diagnostic mycosylvicole », qui veut prendre en compte de nouveaux paramètres pour décrire la forêt ne complique pas la tâche du gestionnaire ?

Pour le dire plus simplement, est-ce que cela ne nous éloigne pas d'une compréhension simple de la forêt ?

A la lecture des exposés précédents, une remarque peut surgir dans notre esprit : « Si on prend en compte les sols, les champignons, le bois mort, la structure verticale, etc...on ne va plus rien pouvoir faire, on ne pourra pas appliquer des règles simples de gestion ! »

Que répondre à cela ?

Peut-être ceci :

Si nous voulons gérer des écosystèmes qui se sont débrouillés 50 millions d'années sans nous, peut-être faut-il être modeste et respecter plus les caractéristiques de forêts plus proches de la naturalité...Pour cela, il faut peut-être perdre l'illusion que l'on peut trop simplifier notre compréhension de la forêt. Parce qu'en fait, en voulant simplifier notre compréhension, pour des facilités de gestion, nous avons peut-être créé des forêts simplifiées à l'excès. Il se peut que ces écosystèmes ne fonctionnent plus correctement, par une disparition progressive (et sans que l'on ait bien souvent les indicateurs pour mesurer cette perte !) d'éléments essentiels. Une riche biodiversité fongique fait partie de ces éléments.

Donc, nous pourrions dire modestement que le diagnostic mycosylvicole nous aide à faire le constat de nos ignorances, des éléments oubliés dans les diagnostics classiques, des recherches à développer et, en attendant, des évidents principes de précaution à respecter, quand on croit à priori qu'un élément de la forêt est inutile !

SENSIBILISATION DES PUBLICS A L'UNIVERS DES CHAMPIGNONS SYLVESTRES

Jean Rondet- Etablissement Public d' Enseignement et
de Formation Professionnelle Agricole et Forestier

Anna Sanchez – ADPM, Mertola

1-Problématique et enjeux

Les champignons sylvestres constituent un sujet qui cristallise des représentations anciennes, confuses souvent, associées à des éléments peu rationnels ou anecdotiques. Dans les représentations du monde vivant, ils ont une place à part, isolée, reliée au mystère, à l'inconnu. Leur caractère caché ou fugace, fragile, leur dénie un rôle important dans les écosystèmes : n'existe en effet que ce qui se voit à l'évidence et n'ont d'importance que des éléments de grandes tailles et qui durent dans le temps ! Le monde fongique n'est en grande partie qu' apparent à la loupe et au microscope et ces instruments n'ont été utilisés que tardivement dans l'histoire des sciences forestières...

Ainsi les arbres sont-ils considérés comme tellement plus importants que les champignons et ont-ils une place tellement plus « sérieuse », du point de vue des gestionnaires !

Qui sait pourtant, pour donner un exemple démonstratif, que l'un des plus grands organismes

terrestres actuels est peut-être bien un champignon dont le mycélium s'étend dans le sol sur une surface de quinze hectares *?

Qui sait vraiment, encore, que les arbres en peuvent vivre sans champignons, avec lesquels ils constituent en fait un seul organisme ? Ou qui, après avoir lu cela, sait en tirer vraiment l'évidente conséquence : il faut gérer les deux en même temps ?

En résumé, pour la plupart des gens, y compris les acteurs impliqués dans la gestion (et donc l'avenir !) de nos forêts, les champignons représentent une réalité confuse, mystérieuse ou amusante, mais en aucun cas quelque chose de vraiment important.

Et donc, la tâche est ambitieuse de vouloir transformer les représentations des publics adultes (dont les acteurs forestiers d'aujourd'hui) ! Elle est cependant heureusement plus aisée sans doute en ce qui concerne les enfants (dont les acteurs forestiers de demain !).

Quoiqu'il en soit, toutes les personnes déjà sensibilisés à cette question reconnaissent le caractère essentiel et urgent en réalité de cette tâche, si nous souhaitons voir évoluer les pratiques de gestion des milieux terrestres.

*Dans son article de cet ouvrage, A. Martins rappelle qu'en 1992, la revue 'Nature' révéla la découverte au Etats-Unis, d'un champignon dont le mycélium occupe 15 hectares, pèse dix tonnes, vit au même endroit depuis 15 siècles. . (Buyck, 1994).

2- Méthodologie globale proposée pour faire évoluer les connaissances et représentations du monde des champignons sylvestres.

Les organismes scientifiques ou techniques impliqués dans des actions concernant les champignons sylvestres souhaitent mettre en place des actions spécifiques de sensibilisation et de formation et souhaitent pour cela définir des contenus de formation et créer des outils pédagogiques.

Cette démarche répond bien sûr à l'idée générale qu'il est possible d'avoir un impact positif sur l'Environnement à travers le moyen indirect de la sensibilisation des acteurs et utilisateurs des espaces (forestiers dans notre cas) et que peut-être même que c'est la seule solution durable. Cela justifie les moyens qui sont ou qui devraient être consacrés à l'Education à l'Environnement et au Développement Durable (EEDD). Encore faut-il cependant que les animateurs nature et enseignants soient eux-mêmes informés à la fois des contenus à transmettre et de la façon de les transmettre. Or, à notre avis, ce thème pédagogique est encore tout neuf ou presque et il faut tout inventer ou presque.

La méthodologie générale proposée est la suivante :

1- Travailler au sein d'un groupe suffisamment représentatif d'animateurs et d'enseignants pour concevoir initialement des contenus et des façons de

transmettre (les outils pédagogiques entrent dans le thème général de « la façon »).

2-Formaliser ces contenus et les démarches d'apprentissage et créer les outils.

3-Transmettre ce "matériel" dans des conditions réelles d'apprentissage à d'autres groupes d'animateurs et d'enseignants pour démultiplier l'action initiale.

4- Intervenir auprès des différents publics en adaptant les contenus, façons et outils aux différents contextes.

Dans ce processus, la phase 1 est bien sûr essentielle car elle conditionne toute la suite ! Et donc il importe d'y apporter un soin particulier.

La phase 2 est exigeante en temps et en moyens. La phase 3 correspond à une action durable, qui en peut se réaliser qu'à travers un programme ambitieux, sur le long terme. La réussite de la phase 4 est liée à l'expérience de l'animateur ou de l'enseignant mais elle sera facilitée par la qualité du travail réalisé en phases 2 et 3.

Ceci semble évident mais n'est pas toujours respecté (sur d'autres thèmes), faute de temps et de moyens et faute sans doute, du point de vue de la société dans son ensemble, de bien mesurer que les enjeux environnementaux sont bien liés à des enjeux éducatifs.

3- Exemple d'un travail mené sur la phase 1

(« Travailler au sein d'un groupe suffisamment représentatif d'animateurs et d'enseignants pour concevoir initialement des contenus et des façons de transmettre, sur le thème des champignons sylvestres »)

L'exemple proposé correspond à un séminaire organisé dans le cadre du projet Micosylva.

Contexte du travail. Un séminaire a été organisé durant une semaine de fin Novembre 2010 et début Décembre 2011, par les partenaires du projet de coopération européenne Micosylva. Le lieu de déroulement était un bâtiment d'accueil de groupes de jeunes, de l'Association de Développement du Patrimoine de Mertola. Cette association est en particulier spécialisée dans des activités d'EEDD et le bâtiment était adapté à ce type de travail : bâtiment accueillant mais simple, situé en limite d'un petit village, très proche d'espaces agricoles boisés (correspondant aux montados décrits précédemment dans cet ouvrage). Le groupe de stagiaires comprenait des animatrices -nature portugaises (3), une ingénieure forestière de Navarre, un mycologue animateur nature de Navarre également, trois techniciennes et technicien français de chambre d'agriculture formés aux techniques d'animation de publics professionnels

Une enseignante-docteur en lycée agricole français; L'animation du satge était confiée à un ingénieur agronome et forestier, ayant travaillé longtemps comme correspondant environnement dans un réseau EEDD en Midi-Pyrénées-France et plusieurs années au sein d'un réseau d'associations d'EEDD (UNCPPIE).

Les étapes du séminaire.

- a- Analyse d'outils pédagogiques existants
- b- « Promenade sensorielle » dans la nature environnante et retour en salle pour travailler sur les souvenirs de cette promenade, à travers la question : « de quoi se souvient-on vraiment ? Qu'est-ce qui nous a touché? ,...”.
- c- Deuxième promenade et nouveau travail en salle sur les souvenirs, à travers la sollicitation : « Parle-nous des champignons. »
- d- Travail de synthèse des représentations et souvenirs à travers la question : « qu'est-ce qu'un champignon ? »
- e- Les définitions élaborées correspondent à plusieurs thèmes ==> hiérarchisation, collectivement, des thèmes liés aux champignons.
- F-Choix d'un thème par binôme et élaboration d'une séance avec conception d'outil(s) pédagogique(s) pour chaque thème.
- g- Présentation du travail par chaque binôme.
- h- Bilan-Conclusion collective.

a) L'analyse des outils existants (lundi fin d'après-midi).

Démarche d'analyse :

- Utilisation d'un outil par l'animateur devant les autres.
- Questions ensuite (pour chaque animation et chaque outil...)

C'est intéressant ? = Cela attire l'attention et la maintien durablement ? Y a t'il un bon équilibre, une bonne synergie, entre l'attention tournée vers l'animateur et ses façons de s'exprimer (paroles, regards, gestes...) et l'attention tournée vers l'objet (= l'outil pédagogique) ? Qu'est-ce qui attire l'attention ? L'esthétique ? Le côté inattendu et ludique ? Le côté scientifique qui stimule la réflexion ? Le côté poétique ? Bon équilibre entre ces différents aspects ? D'une manière différente : Qu'est-ce qui nous touche dans ce qui s'est passé pendant cette animation ? Ensuite, si je ferme les yeux un moment et que j'observe dans mes souvenirs immédiats ce qui me reste de l'expérience, ce qui m'a touché vraiment, qu'est-ce que c'est ?

Objectifs de cette séance : (i) Il s'agit de bien voir collectivement qu'une séance d'animation sur un thème de la nature, de la forêt touche plusieurs aspects de notre perception, sensibilité, intelligence... Bien voir qu'il y a des animations et des outils pédagogiques beaucoup plus efficaces que d'autres et que cela tient à des aspects que la raison ne perçoit pas immédiatement.

C'est bien l'expérience de l'animation et un « retour sur soi » (= fermer les yeux et faire attention à ce qui nous a touché) qui peut révéler ce qui touche, ce qui est efficace dans une action de sensibilisation..

(ii) Il s'agit également de voir que les inventions d'une bonne animation et d'un bon outil pédagogique suppose de la créativité. Il est intéressant de comprendre que la créativité du créateur ne vient pas que de son raisonnement, de son intelligence conceptuelle mais aussi de la qualité de ses perceptions sensorielles, de sa sensibilité artistique et poétique,...

(iii) Il est motivant de comprendre au cours de cette « analyse » collective que nous sommes beaucoup plus créatifs, riches, collectivement que tout seul. Cela montre bien sûr, dès cette première séance, la valeur associée au fait même de faire un séminaire collectif. Cela montre aussi l'enjeu des journées suivantes, où nous allons aller à la découverte de nos façons d'entrer en contact puis de traduire les réalités dont nous voulons parler ensuite : les milieux de vie des champignons, les champignons eux-mêmes, les relations de l'homme avec les champignons.

(iiii) Cela met en mémoire aussi quelques idées pratiques à transposer ou adapter plus tard dans de nouveaux outils.

b-« Promenade sensorielle » dans la nature environnante et retour en salle pour travailler sur les souvenirs de cette promenade, à travers la question : « de quoi se souvient-on vraiment ? Qu'est-ce qui nous a touché ? ,..”.(mardi matin).

Déroulement de la promenade :

Consignes au départ : chacun part tout seul et suit son propre chemin. Se laisser guider par ses impressions de l' "instant, sans but particulier, c'est à dire sans objectif d'observer plutôt telle ou telle réalité que d'autres. Simplement profiter de la promenade, tranquillement. Si on rencontre des champignons (il y en a à cet endroit en cette saison !), y prêter l'attention qu'ils méritent comme le reste mais continuer d'observer également l'environnement élargi. Marcher tranquillement. Respirer plutôt que penser de manière intense (on fait aussi une petite séance d'explication-exercices d'attention sur la place que nous pouvons consacrer à la respiration dans la marche et la promenade. La respiration consciente calme l'activité mentale sous forme de pensées et permet en conséquence d'être plus réceptif à son environnement. Cela n'empêche pas de penser également (bien sûr !) mais plus tranquillement !).

Temps de la promenade (variable selon les circonstances, le temps qu'il fait, le besoin d'exercice,etc...!) : dans notre cas et cette circonstance : environ 1 heure.



Retour en salle et valorisation de la promenade.

Chacun ferme les yeux, pour bien voir ce qui lui reste de plus fort dans la mémoire qu'il a de celle-ci.

Pourquoi fermer les yeux ? Car notre attention est très occupée par ce sens de la vision, non seulement à travers la succession de perceptions visuelles mais également à travers l'activité en fait très intense et continuelle d'interprétation de ce que nous voyons. Les yeux fermés, nous allons rapidement réaliser que notre mémoire est d'ailleurs très visuelle également et que les images reçues les yeux ouverts (dans la salle où nous trouvons maintenant) nous "masquent" en quelque sorte les images que nous avons en mémoire de l'expérience précédente de la promenade. Et puis ainsi nous réalisons aussi qu'il nous reste également d'autres impressions (souvenirs) sensorielles (le vent frais, l'humidité, la lumière particulière...), également des sentiments, des évocations, des notions... Notre mémoire est multiple bien sûr car notre relation à l'environnement présente de multiples facettes (de multiples « surfaces de contact »..).

Mise en commun des mots qui traduisent les souvenirs de la promenade.

Chacun écrit sur un papier trois choses qui sont bien présentes dans sa mémoire en relation avec l'expérience de la promenade, quelle que soit la nature de cet élément de la mémoire (perception, sentiment, objet, notion...)(Ces mots sont écrits sur des tableaux papiers de façon à ce que tous les participants puissent les observer).

Français

Recherche
Liberté
Vie
Couleurs
Odeurs
- de cistus
Sons
Tranquilité
Beauté
Froid
Nature anthropisée
Elevage
Humidité III
Tronc de l'arbre (rugosité)
Frais
Complexe
Divers
Relation avec la nature
Caché
Connexion
Aventure
Contraste fraîcheur de la peau/chaleur du soleil
Surprise d'une découverte inattendue dans ce milieu
Paysage de collines
Chêne-liège
Champignons visibles de loin (grands et colorés)
Relation avec la nature par la fraîcheur et l'espace
Chemin et découverte
Des champignons et des cailloux
Ambiance océanique

Portuges

Busca
Liberdade
Vida
Cores
Cheiros
-a esteva (cistus)
Sons
Tranquilidade
Beleza
Frio
Natureza antropizada
Pastorícia
Humidade III
Tronco de arvore (rugosidade)
Fresco
Complexo
Diverso
Relação com a natureza
Escondido
Conexão
Aventura
Contraste fresco na pele/ calor de sol
Surpresa de descobertas inesperadas
Paisagem de colinas
Sobreiros
Vemos de longe cogumelos grandes ou coloridas
Relação com a natureza através de espaço e a frescura do ar
Caminho Descoberta
Cogumelos e ar pedras

Espagnol

Búsqueda
Libertad
Vida
Colores
Olores
- de *cistus*
Sonido
Tranquilidad
Belleza
Frío
Naturaleza antropizada
Ganadería
Humedad III
Tronco del árbol (rugosidad)
Fresco
Complejo
Diverso
Relación con la naturaleza
Escondido
Conexión
Aventura
Contraste fresco en la piel/calor del sol
Sorpresa por descubrir cosas inesperadas
Paisaje de colinas
Alcornoque
Vemos de lejos setas grandes y/o coloridas
Relación con la naturaleza através la fresco y el espacio
Camino y descubrimiento
Setas y piedras
Ambienta atlántico



Ce vocabulaire correspond à plusieurs "modes relationnels", "types de relations", avec l'Environnement :

Des perceptions

Couleurs

Champignons visibles de loin (grands et colorés)

Odeurs de cistus

Sons

Froid

Frais

Humidité

Contraste entre la fraîcheur de la peau et la chaleur du soleil

Tronc de l'arbre (rugosité)

Relation avec la nature par la fraîcheur et l'espace

Des champignons et des cailloux

Ambiance océanique

Des Sentiments

Recherche

Liberté

Aventure

Surprise d'une découverte inattendue dans ce milieu

Caché

Chemin et découverte

Vie (dans le sens du « sentiment d'être vivant »)

Tranquillité

Beauté

Relation avec la nature

Des concepts

concepts au sujet de l'Environnement

Nature anthropisée

Élevage

Paysage de collines

concepts au sujet des champignons

Complexe

Divers

Connexion



c- Deuxième promenade et nouveau travail en salle sur les souvenirs, à travers la sollicitation : « Parle-nous des champignons ! »

Impressions exprimées



Mots-clés et thèmes

Champignon qui se mange, toucher agréable
pas dangereux
Peur de toucher les champignons dangereux

Espèce inattendue (*A. vaginata*), surprise !!!

Beauté éphémère, relation avec l'homme :
à la fois
une proximité et une grande différence,
diversité amusante

Champignon qui se mange, fraîcheur,
cueillette depuis enfance, partage avec mon
mari, gourmandise mange un morceau cru,
Place important dans le cycle de la vie,
dégradation de la MO

Champignons représentent l'inconnu, et
l'inconnu grandit avec la connaissance

Elle sait qu'il y a plein de champignons qu'elle
ne connaît pas

Champignons très mystérieux, diversité, ceux
ne sont pas les mêmes qui fructifient d'une
année à l'autre

Champignons laid et rigolo, diversité au sein
d'une même espèce étonnante quand on fait
attention
Les champignons représentent la difficulté et
deux mondes différents : les gens qui
s'intéresse aux champignons (gens
passionnant, impressionnant) et la mycologie
comme science difficile

Champignons comestibles

Danger, Risque

Emotion liée à la découverte de l'inattendu,
Objet de quête

Champignons comestibles

Savoir qui se transmet, mode de transmission

Rôle écologique des champignons

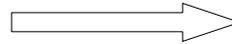
Un monde inconnu

Un monde inconnu

Un monde inconnu, mystérieux et
capricieux

Apparence des champignons
Objet d'investigation (scientifique) délicat
Objet de passions

Impressions exprimées



Mots-clés et thèmes

Russules très complexes, couleurs jolies qui contraste avec le blanc en dessous, couleurs qui se voient de loin, monde qui demande de l'intérêt, de l'attention pour entrer dans ce monde, mais quand tu es initié tu en vois partout

Champignons mycorhizien, sujet de travail, il représente ce qui est le plus important dans le monde des champignons : la symbiose.
Bien que les gens les négligent, s'ils n'existaient pas, nous n'existerions pas
Obligé de les identifier tout de suite, éphémère et nombreux
Pathologie et champignons besoin d'aide pour étudier les champignons
Pas de mycologue au Portugal, pas de tradition (histoire spécifique au Portugal où les champignons ont été définis comme dangereux par l'inquisition)
Être humain à une histoire ancienne avec les champignons
Pourquoi continuer à manger des champignons ?

Ce champignon me rappelle mon enfance, ma grand-mère très passionnée
J'aimais pas...Et c'est drôle que maintenant je travaille dessus (la vie c'est comme ça)
Je vois le même agriculteur dans 2 situations, la discussion autour des champignons est plus favorable.
Les champignons sont très présents dans les ivres (pour enfants) bien que peu expliqués
Conserver du mystère est important
Satisfaction d'un savoir empirique

Champignons, mythe et croyance
Réalités différentes dans différents pays
Au Portugal : erreur apprise avec les grands parents
Immigrés en France sont revenus avec des informations
Les gens sont loquaces sur le thème des champignons mais très discrets sur les coins à champignons

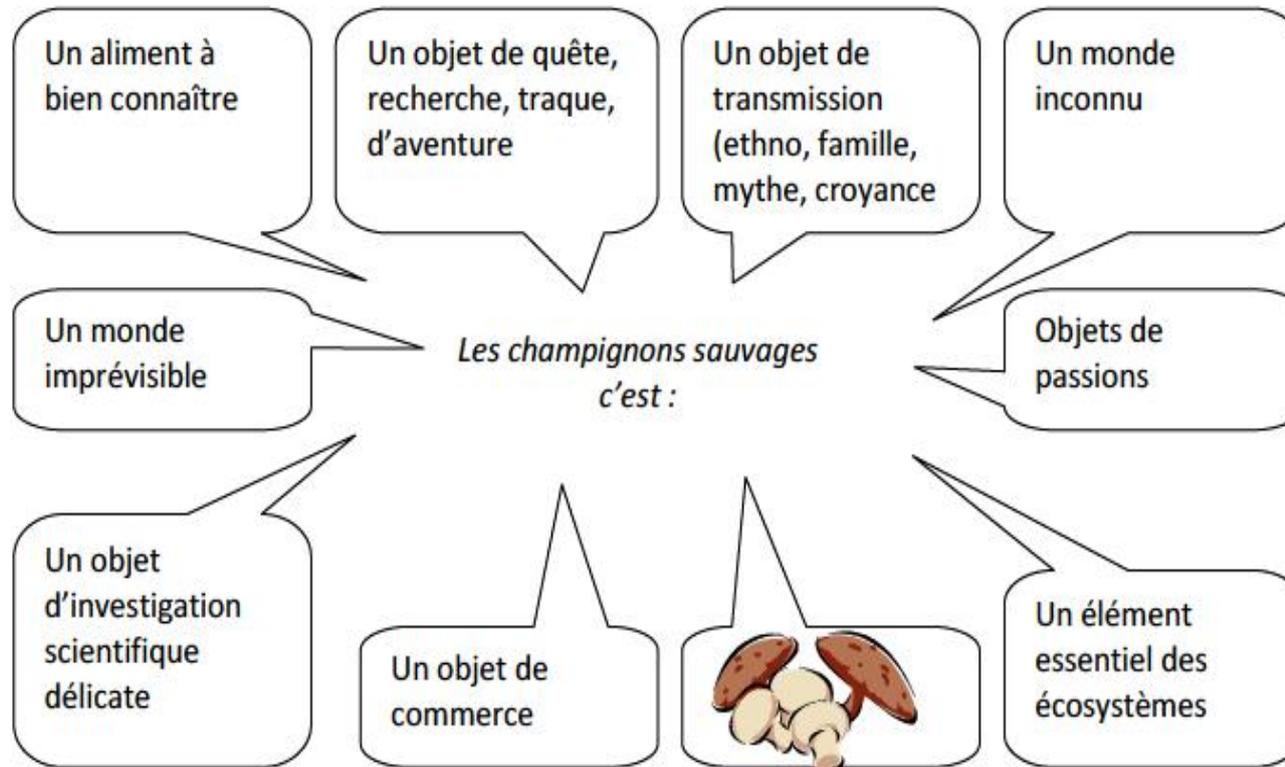
Un monde inconnu
Apparence des champignons
Objet de quête
Objet d'investigation (scientifique) délicat
Objet d'initiation (transmission)

Objet de travail
La symbiose à l'origine de la vie terrestre
Monde capricieux et investigation
Un monde duel et paradoxe
Un objet patrimonial (histoire, ethnomycologie)
Passion culinaire, expérience alimentaire, produits sauvages

Transmission
La passion
Monde inconnu bien que connu

Histoire, objet de croyance
Transmission
Secret
Exclusivité, passion

Regroupement des thèmes



Elaborer des définitions synthétiques, intégrant des notions, des perceptions, sentiments...

Ce travail complémentaire de définition est un préalable à la conception d'outils pédagogiques destinés à être synthétiques également et à toucher aussi bien la raison que la perception, les sentiments, ...

Les champignons, coordinateur de la nature

Les champignons, la web du monde végétal

Etre vivant singulier sans le quel la vie sur terre n'existerait pas

Un champignon est une fleur éphémère et visible d'un monde souterrain et secret

Ni plante ni animal, de la famille des moisissures, vit dépendamment des plantes et des animaux, et c'est aussi le fruit des 'fungi'

Organisme vivant entre le monde souterrain et les arbres

Un être vivant, souvent forestier, ni plante, ni animal, le plus souvent avec pied et chapeau, se multiplie en libérant des spores

Organismes très présent autour de nous mais très caché. Sans eux les plantes et les animaux n'existeraient pas

Dans la nature, tout les éléments sont importants, et inclus les carpophores.

Ils sont importants parce qu'ils développent différentes fonctions, comme par exemple la décomposition de la matire organique qui fournit des aliments à d'autres plantes

Etre vivant sans chlorophylle qui s'est adapté à différents milieux

Etre vivant considéré comme une plante jusque récemment et qui dépend d'autres organismes pour son développement

Synthèse des définitions :

Coordonnateur, web indispensable à la vie entre sol et arbre

Dépendant des autres pour vivre

Sans chlorophylle, ils s'adaptent

Ni plante et animal

Très cachés : monde souterrain et secret

Etre vivant aux multiples aspects

Comestibles ou non

Entre sol et arbre

Sujet d' étonnements

e) Hiérarchisation des thèmes

Une réflexion collective complémentaire est faite à ce stade pour définir un ordre logique de présentation des thèmes, dans une perspective pédagogique :

- 1) Un monde inconnu
- 2) Un monde imprévisible
- 3) Passion, quête
- 4) Alimentation et commerce
- 5) Rôle écologique des champignons
- 6) Un objet d'investigation délicate
- 7) Transmission

F-Choix d'un thème par binôme et élaboration d'une séance avec conception d'outil(s) pédagogique(s) pour chaque thème

g- Présentation du travail par chaque binôme.

Nous disposons maintenant d'un "matériel" sous forme de mots très complet pour travailler à créer des outils pédagogiques adaptés à la transmission des informations rattachées à tous les mots "clefs" que nous avons organisés précédemment.

Le temps du stage ne permet pas l'élaboration d'outils complexes mais simplement d'idées et dans certains cas de « maquettes » papiers, tissus,...de ces outils..

Les idées d'outils :

Thème Ni animal ni plante par Andréa, Anita et Ana

Globe terrestre divisé en trois: règne animal, règne végétal, règne des champignons
Jean développe l'idée de trois cubes pour présenter les trois monde, avec chacun 6 photos ou six aquarelles.

Présentation du thème de la diversité de l'apparence par Maria

Farandole avec en premier l'espèce emblématique du groupe, puis après toutes les espèces connues
Farandole illustrant les différents états de conservation d'un champignon.
Idée d'un « story board » qui se lit très rapidement en laissant glisser les pages sous le pouce.

Présentation du thème de la quête par Xavier

Travailler sur un roman photo, ambiance «quête mystérieuse et haletante »
Idée Maria, deux dessins type « sept erreur ». Il manquerait les champignons sur le second

Thème un monde inconnu par Ana

Dans une boîte percée : des paysages peints sur les quatre côtés (à l'intérieur) et des champignons en relief (et donc au premier plan quand on regarde dans la boîte par un trou. Possibilité que 4 personnes regardent en même temps avec petite boîte ou plus si grande boîte. Eclairage par le haut (couvercle translucide)

Thème « un objet d'investigation délicate », par Helena

Idée de la BD,
Objectif montrer comment Helena fait pour faire les inventaires mycologiques
1- Expliquer pourquoi les inventaires, pourquoi tout ce travail ?
2- Terrain et étiquette
3- En labo détermination
4- Mettre à sécher

Thème « un aliment ... à bien connaître », par Thomas

BD

- 1- il fait beau, le personnage va dehors,
- 2- on le voit dans les bois
- 3- il découvre son premier champignons
- 4- et le dit à ses amis
- 5- « à rajouter une vignette sur la vérification de la comestibilité du champignon »
- 6- le panier est plein
- 7- il est dans la cuisine
- 8- et le découpe
- 9- pour le pöeler
- 10- et le manger en famille

Thème de la découverte (passion, quête), par Jean

Faire un livre-théâtre en bois avec des pages ajourées :
1ère page : herbe+ sol
2ère page : champignon + mycélium
3ème page : forêt du Portugal
4ème page : forêt de hêtre (Hautes-Pyrénées)
5ème page : forêt de *Pinus* (Castille et Léon)
6ème page : forêt de châtaigniers (Dordogne)
7ème page : forêt de feuillus mélangés (Hautes-Pyrénées)
8ème page : forêt de chênes (Catalogne)

Thème un monde inconnu + définitions : « entre sol et arbre », « monde souterrain ».

En travaillant, dans un thème donné, sur les définitions, l'idée nouvelle peut surgir pour exprimer ces réalités de manière intéressante. Ce dernier outil, réalisé durant le stage, est intéressant pour montrer ce côté secret du mycélium en même temps que le lien entre fructification et mycélium : les deux sont faits de la même matière. Le mycélium, sorte de « tissu » peu organisé, est représenté par un film polyester non tissé, installé entre sol (couverture marron) et herbe(couverture verte bien sûr).



La première fructification vient d'apparaître!



Discussion...

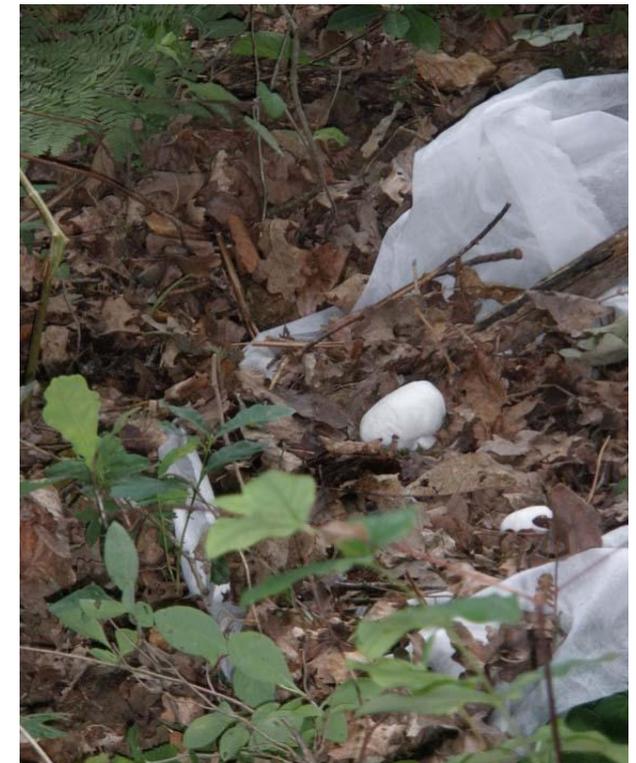


La prairie se couvre de champignon...

Utilisations ultérieures de cet outil :
Il est intéressant d'évaluer l'intérêt de l'outil
ensuite en contexte pédagogique :

Développement de l'outil et utilisations en France : l'outil complet en salle, avec une déclinaison « champignons saprotrophes » de prairie (à gauche) et une déclinaison « champignons mycorhiziens, associés à des arbres » (à droite)
Accueil de classes primaires au Lycée Agricole et Forestier de Vic en Bigorre

Une déclinaison plus simple de l'outil, sur le terrain (uniquement le film polyester avec deux fructifications). Le polyester est « caché » sous la litière de feuille



Utilisations au Portugal :

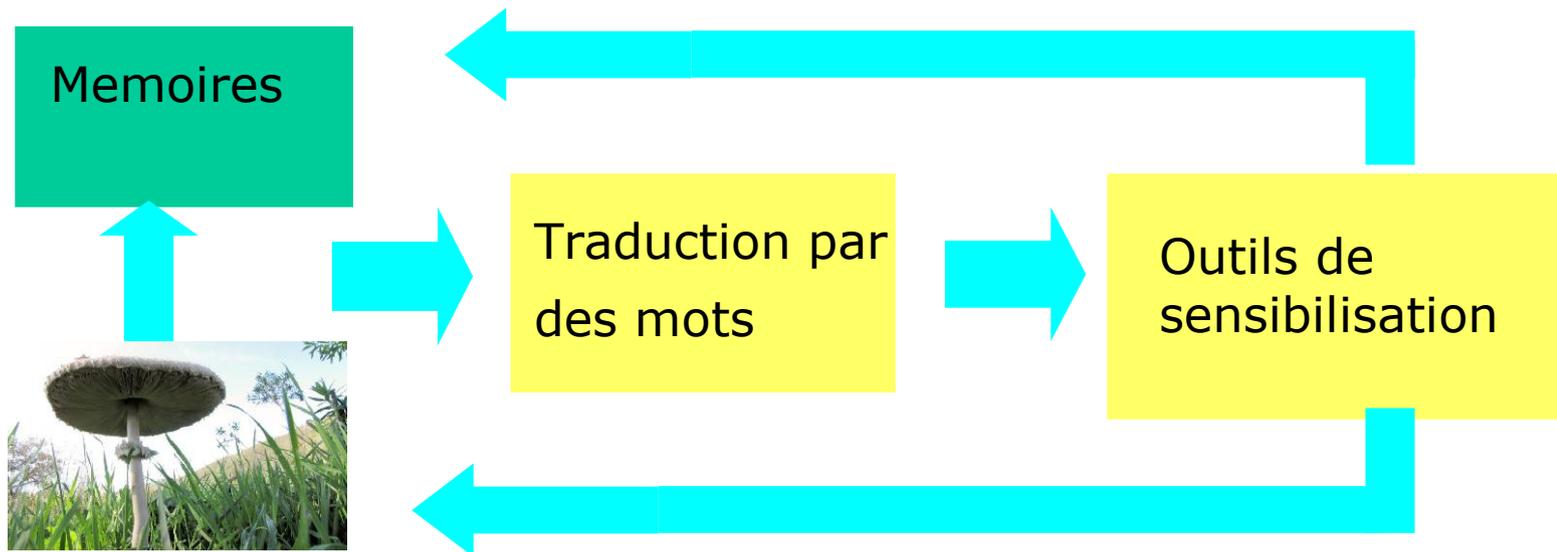


Intervention de l'ADPM (Ana) auprès de classes primaires

Conclusions :

- Les animations et outils pédagogiques ne sont pas faits pour remplacer le contact avec les réalités naturelles mais plutôt faits pour guider l'attention vers ces réalités.
- Le travail pédagogique proposé pour créer des idées et des outils originaux se base sur un travail d'attention à la mémoire que l'on conserve du « ressenti » de la réalité naturelle.
- Ce ressenti, cette mémoire est ensuite interprétée par des mots, « traduite » en mots.
- Ces mots sont riches de tout le ressenti qu'ils symbolisent. C'est pourquoi ils éveillent la créativité et permettent d'imaginer de nouvelles idées de transmission de connaissances et de nouveaux outils pédagogiques.
- Si ces outils ont été créés dans ces conditions, c'est à dire en relation forte avec une mémoire d'expériences réelles de la nature, ils réveilleront chez le public la mémoire de leurs expériences personnelles et stimuleront l'envie d'aller à nouveau au contact des réalités décrites par les outils.

Le schéma suivant traduit ce processus de création et l'action des outils d'animation nature ainsi créés.



SEQUENCE PEDAGOGIQUE SUR UNE PLACETTE MICOSYLVA

Christianne Colombel-EPLEFPA Vic

Introduction :

La finalité des placettes du réseau Micosylva est de permettre d'organiser sur sites des actions de formation de divers publics. Cet article présente l'exemple d'une séquence pédagogique proposée pour des élèves de l'enseignement technique agricole et forestier, dont certains seront plus tard des acteurs de la gestion.

But de la séance : Sensibiliser les élèves à une gestion mycosylvicole d'une parcelle forestière

Objectif : Découvrir et analyser une parcelle forestière et comprendre l'intérêt d'une gestion forestière particulière axée sur la production de champignons

Moyens :

Tp/ Td sur le terrain

Observations

Questionnements

Découverte / recherches orientées en petits groupes libres sur le terrain.

Déterminations

Construction méthodologique à partir des observations des élèves et de leurs connaissances

Apports scientifiques et techniques



Fig.1-groupe d'élèves de L'EPLFPA Vic-Bigoore, devant une placette du réseau Micosylva, à Marquerie.

1ère phase : travail avec l'ensemble du groupe et l'enseignant

1/Observation des panneaux présentant la parcelle (Micosylva et gestion locale) (fig 1) : Présentation du projet Micosylva. Les notions de champignons saprophytes symbiotiques et parasites sont expliquées à partir des savoirs éventuels des élèves.

2/L' Observation de la station météorologique (photo 2) : permet de mettre en place la différence entre mésoclimat et microclimat .

3/L' Observation des capteurs tensiométriques (photo 3) permettent d'aborder les notions d'humidité du sol, de rétention en eau, et de percolation, et de faire le lien avec la station météorologique locale.



Fig.2 et 3 –Station météorologique en bordure de placette. Câbles reliant une station relais et des sondes tensiométriques placées dans les premiers horizons de sol.

2ème phase : travail en petit groupe, binôme ou trinôme, suivant le nombre d'élèves

1/ Analyse du peuplement (végétation arborescente et arbustive, strates, ouverture du milieu) à partir d'une fiche de travail à remplir en autonomie dans la parcelle (fiche 1)

2/ Recherche de champignons sur le site.

3/ Déterminations à partir d'ouvrages ou de clefs mises à disposition par l'enseignant (selon le temps disponible - sinon, l'enseignant peut donner directement les genres / espèces ou les groupes récoltés).

3ème phase : travail en grand groupe

1/ Récapitulatif des observations : Synthèse de l'analyse du peuplement et des champignons récoltés.

2/ Observation de mycéliums, (récoltés dans la parcelle sous des feuilles ou des écorces en décomposition par l'enseignant) et utilisation de l'outil pédagogique « mycelium/carpophores » pour expliquer la relation entre le champignon observé et récolté en saison, et son existence (photo 4).

Les Relations sol-mycélium-fructifications-atmosphère. Et le cycle de reproduction d'un champignon. Sont expliqués à l'aide de représentations d'écosystèmes (photo 5)



Fig.4–Un « outil pédagogique » très simple : un film non-tissé de polyester symbolise le mycélium, sous la litière de feuille. Le film est en deux endroits (sur cet exemple) relié à deux fructifications réalisées avec le même matériau.



Fig.5–Explications sur la place des champignons dans l'écosystème forestier, à partir de représentations réalistes (collection d'aquarelles micosylva).

3/ Alimentation des arbres /Fonctionnement des mycorhizes / Poussées de champignons.

Utilisation encore des mêmes supports (fig.5)

Les résultats de la productivité de cèpes sur la parcelle sont expliqués ainsi que les méthodes de comptabilisation (fig 6). Utilisation de cartes traduisant l'inventaire pied à pied de la placette et le positionnement des cèpes récoltés au long de la saison.



Fig.6–repérage des cèpes sur la placette

4/ Compléments sur la gestion forestière classique, l'apport économique des champignons comestibles (et notamment des cèpes), la gestion mycosylvicole, les réalisations Micosylva sur le site : détourage (fig.7) et d'autres exemples de réalisations en micosylviculture en Europe.

5/ Conclusion ouverte laissant la parole aux élèves sur cette façon différente d'aborder la gestion forestière



Fig.6–explication sur la technique d'éclaircie dite de « détourage ».

fig.7- débat et conclusions



UNE TRAME DE QUESTIONS-REPONSES SUR LES CEPES

Jean Rondet-EPLEFPA Vic

Introduction :

Il n'est pas simple de fournir des explications suffisantes et pas trop complexes, dans un même entretien (auprès des médias, des élus, de responsables administratifs, d'autres publics non spécialisés ..) sur les champignons comestibles.

En effet, les auditeurs se posent des questions diverses et l'ensemble des informations à transmettre est finalement très complexe.

Il semble intéressant de réfléchir à une trame de questions-réponses qui permette d'organiser sa réponse, en équilibrant les différents thèmes abordés et en respectant une chronologie dans les apports successifs d'informations .

Les enjeux sont très importants mais nous sommes souvent déçus de ne pouvoir faire partager notre certitude au sujet du fait qu'il s'agit d'un thème important et qui mérite des mesures spécifiques importantes.

Cet article présente ainsi une proposition de trame d'entretien..

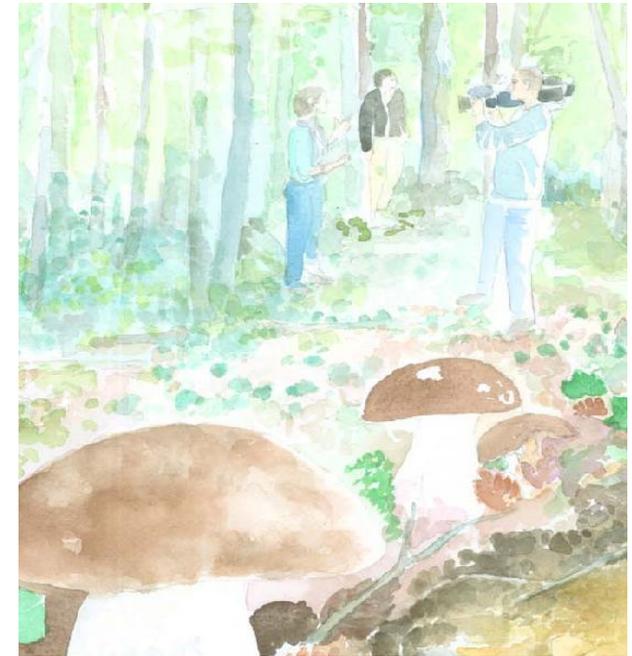


Fig.1-Télévision régionale (Aquitaine) en Dordogne.

Lors d'une visite, une personne peut servir d'animateur ou journaliste et l'autre va répondre aux questions que se posent la majorité des gens. L'enjeu est de faire passer l'essentiel de ces informations en essayant de revenir à ces questions principales si d'autres questions viennent de temps en temps diriger l'entretien dans des directions complémentaires...

Cette trame peut également être utilisée pour structurer un entretien lors d'une émission radio ou télévisuelle ou pour réaliser une petite vidéo sur le thème.



Question 1 :

Comment poussent les « cèpes » ?

Réponse :

En fait, quand on parle de « cèpes », on ne parle habituellement que de la partie apparente des cèpes, c'est à dire des fructifications.

En réalité, il faut imaginer un organisme qui s'étend dans le sol sous la forme de fins filaments, (très jolis d'ailleurs car ils sont blancs et brillants !), qui forment une sorte de toile très fine et très légère bien sûr et qui vit ainsi toute l'année, se développant pendant les mois de bonnes saisons . Et de temps en temps, assez brusquement, les filaments se rassemblent par endroits en petites pelotes d'un ou deux mm de diamètre et ces petites pelotes grandissent, d'abord dans le sol et puis en apparaissant à la surface, et se transforment en ce qu'on appelle les cèpes, les « fructifications », qui ne sont pas en réalité des fruits mais des organes qui produisent des spores, dans les tubes qui sont sous le chapeau...(chez les autres champignons, c'est la même chose au niveau des lamelles...)

Question 2 :

Et comment expliquer la transformation ? C'est à dire le passage de la « toile » de mycélium à ces petites pelotes qui deviennent les cèpes, les « champignons » ..?

Réponse

Nous savons ça maintenant, au milieu de toutes les inconues, que c'est essentiellement la pluie qui pénètre dans le sol. Et ce que nous comprenons maintenant, c'est que la pluie, durant un temps de quelques heures au moins, doit vraiment comme « noyer » cette toile de mycélium. C'est ça qui le fait réagir et produire ces "pelotes", que l'on appelle en fait des primordias (= les formes « premières » des fructifications..), car les fructifications sont des formes de survie de l'organisme dans les situations difficiles ! Le mycélium est en danger, il produit des fructifications qui produiront des spores..Les spores pourront transporter l'espèce plus loin avec le vent...Les spores pourront germer en redonnant plus loin, parfois très loin, du mycélium...

Donc la pluie, asphyxie le mycélium et en une dizaine de jours (plus ou moins selon la température du sol, les champignons vont se développer jusqu'au stade « cueillette ».. Quelle quantité d'eau ? Quelles températures sont nécessaires et ne doivent pas être dépassées pour que tout ceci s'opère, etc... c'est grâce à ce type de station météo que nous apprenons à en savoir plus...Grâce à ces sondes qui recueillent les informations ...qui sont mises en mémoire et que l'on recueille, quand on veut, pour les analyser...

Question : Quels résultats ?..

Réponse : Par exemple, on le disait avant, nous avons mis en évidence une relation précise entre le nombre de jours entre la pluie et le début de cueillette d'une part..et puis la température moyenne du sol pendant ce temps de transformation du mycélium en fructification...En fait, après la pluie, si on suit la température du sol, on peut prévoir quelques jours avant le jour de début de cueillette...Plus intéressant, on peut avoir, pour chaque type de sol, la quantité d'eau nécessaire pour lancer la pousse...Ici, il faut une bonne quantité d'eau quand même du fait de la structure du sol, son organisation



Fig.2–Technicienne de la Chambre d'Agriculture et propriétaires forestiers en Dordogne.

Question : Pourquoi des cèpes ici et pas ailleurs ?

Réponse : La première raison tient aux arbres. En fait, et ça c'est quelque chose que peu de gens connaissent encore vraiment (et bien qu'à mon avis ce soit très important !): arbres et champignons ne sont pas séparés...ils sont reliés par des mycorhizes..

Les mycorhizes , se sont de tous petits organes que l'on trouve sur les racines fines des arbres....comme ici (observation des systèmes racinaires dégagés du sol à un endroit ou bien photo)...Cela semble anodin, c'est tout petit mais c'est capital , pour la vie des arbres comme pour celle des champignons...C'est ici que le mycélium rencontre la racine de l'arbre. Et les deux se mettent ensemble pour vivre. Le mycélium entoure la petite radicelle et pénètre à l'intérieur. Les cellules de l'arbres vont pouvoir amener au champignons des sucres dont il a besoin et le champignon va ramener à l'arbre l'eau, les minéraux et l'azote qu'il va chercher loin dans le sol grâce à ses filaments...C'est une symbiose obligatoire qui existe depuis 50 millions d'années, pour ces arbres là et ces champignons là. (Pour d'autres plantes et d'autres champignons, c'est beaucoup plus ancien, depuis l'origine de la vie sur terre..).



Ensuite, parmi les arbres, il y a des essences favorables aux cèpes : Châtaignier, Chêne, Epicéa...

Dès lors, il y a plus de chance de trouver régulièrement des cèpes sous ces essences là.

Question : mais pourquoi certains chênes et pas d'autres ?

Réponse : Un arbre est associé à de nombreux champignons , une « communauté » de champignons en fait. Tout un monde au niveau des racines. Au niveau d'un arbre donné, celui-ci par exemple, la place est plus ou moins occupée par les cèpes. Si le cèpe est bien présent, nous avons ici un coin à cèpes. Sinon, c'est le contraire...

Donc, c'est intéressant, quand on a un arbre à cèpes, car c'est durable, au fil des années ! C'est un patrimoine...Et en plus, quand un jeune arbre se développe à proximité, ses racines se développent au contact d'une bonne quantité de mycélium de cèpes. Et donc, il y a de fortes chances pour que le jeune arbre s'associe bien à son tour avec le cèpe. Le patrimoine se transmet ainsi de générations d'arbres en générations d'arbres (en même temps que la connaissance du bon coin à cèpes se transmet à travers les générations d'humains !)

Pourquoi les cèpes ici et pas ailleurs également ?..

Il y a deux autres raisons : le sol et le climat..

Il y a des bons sols à cèpes et des sols moins bons. Ici (*si visite sur le terrain*) il y a un bon sol, car pas trop riche (les champignons ont pour rôle de récupérer les minéraux du sol pour l'arbre et ils sont d'autant plus utiles et présents que les sols ne sont pas trop riches ou fertilisés !).

Egalement, nous avons ici un sol qui permet à la fois que le mycélium soit noyé en présence d'une bonne pluie mais en même temps qui est poreux et aéré en surface pour permettre la respiration du mycélium..(Le mycélium respire beaucoup pour former les fructifications !)

Pour la question du climat, il faut que la pluie puisse arriver ..et en même temps il est nécessaire que tout ne soit pas ouvert, pour éviter trop de chaleur sur le sol et le dessèchement...Les bons coins à cèpes correspondent à une certaine "structure" (on dit comme ça) du peuplement, avec des zones ouvertes et des zones fermées côte à côte...Une mosaïque d'« habitats »...

Question : Vous parliez de patrimoine ...On parle souvent des cèpes comme d'un patrimoine naturel et culturel...?

Réponse : Les cèpes sont un patrimoine culturel, c'est sûr et peut-être plus important qu'il n'y paraît...Ils participent à l'identité du territoire (« la Dordogne, c'est le Pays des cèpes » !) à travers les habitudes de cueillette et les mystères qui entourent la vie de ces organismes, les échanges de secrets (c'est pourquoi je m'empresse toujours de dire que la science n'expliquera jamais tout évidemment et peut-être ne comprendra pas l'essentiel !), à travers aussi les habitudes d'échanges de produits, le marché aux cèpes, les traditions culinaires...

Ensuite, en terme économique, c'est parfois un peu tabou, mais pour une Région, c'est en fait une réalité très importante, avec des entreprises spécialisées qui vivent de cette production naturelle...

Mais ce que l'on sait moins en général, c'est que les cèpes représentent aussi un patrimoine forestier puisque les arbres et les cèpes sont liés, ne forment qu'un seul organisme.

Et ainsi, c'est la forêt à cèpes qui est un patrimoine essentiel... Et donc, nous cherchons les moyens de gérer au mieux ce patrimoine... Comment ?...

Et bien, en définissant une bonne gestion forestière qui assure bois et champignons mais aussi le maintien des écosystèmes...On définit cela entre techniciens et scientifiques et nous commençons à transmettre ces informations aux jeunes, dans les lycées agricoles par exemple... il est possible que les châtaigniers souffrent trop, à terme, de la chaleur. Nous essayons ainsi de savoir comment faire évoluer progressivement les peuplements pour assurer la production de bois et de champignons dans l'avenir lointain mais aussi durant cette phase de transition où il est nécessaire sans doute de reconvertir les châtaigneraies en peuplements mélangés puis chênaies, sans doute avec des pins également, le Pin sylvestre en mélange étant par exemple intéressant aussi pour les cèpes...



Fig.3–Autre contexte mais mêmes questions générales : Télévision régionale en Catalogne.