



Mycosylviculture

Méthodes de diagnostic & gestion

JEAN RONDET

NATHALIE SEEGERS

LAURENT RIGOU

GUILLAUME ARLANDES

FERNANDO MARTINEZ-PEÑA



Bois, champignons comestibles, biodiversité, adaptation au climat

Gérer la forêt aux échelles de la parcelle et du territoire dans le "Sud-Ouest Europe" France - Espagne - Portugal



Cet ouvrage est réalisé dans le cadre du projet Micosylva+ (2013-2015), qui est la suite du projet Micosylva (2009-2011).

Micosylva+ est un projet scientifique et technique européen cofinancé par des aides FEDER, dans le cadre du programme de coopération européenne INTERREG de l'espace de projet «Sud-Ouest Europe» (SUDOE). L'objectif est de promouvoir une gestion multifonctionnelle et durable des forêts qui intègre et valorise les fonctions écologiques des champignons en général et la fonction socioéconomique des champignons sylvestres comestibles. Micosylva+ a également pour objectif d'amener les acteurs politiques et institutionnels à prendre en compte les résultats établis durant ces deux projets successifs et à favoriser leur application. Dans ce nouveau projet, 5 partenaires espagnols, français et portugais travaillent ensemble ainsi que 14 organismes associés (organismes de recherche, organismes de développement, institutions, associations professionnelles).

La finalité du projet est de construire durablement dans l'espace SUDOE, une stratégie commune de préservation et de valorisation nouvelle des écosystèmes et des territoires forestiers, en montrant que la prise en compte des champignons est un facteur important de progrès.

Édition

Chambre d'Agriculture de la Dordogne
Union Grand Sud des communes forestières
Fundación Centro de Servicios y Promoción Forestal y de su Industria de Castilla y León (CESEFOR)
Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTFC)
Agrupamento Europeu de Cooperação Territorial ZASNET AECT

Auteur-coordonateur

Jean Rondet - Union Grand Sud des communes forestières

Auteurs de la partie II (Méthodes de diagnostic)

Jean Rondet
Nathalie Seegers - Chambre d'Agriculture de la Dordogne
Laurent Rigou - Atelier sols, urbanisme et paysages
Guillaume Arlandes- Pyrénées cartographie
Fernando Martinez-Peña - CESEFOR

Co-auteurs de la partie I (Généralités)

José-Antonio Bonet - CTFC
Juan Martinez de Aragón - CTFC
Helena Machado - Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária em Oeiras, Bragae Elvas (INIAV)
Celeste Santos-Silva - Universidade de Évora (UE)
Anabela Martins - Instituto Politécnico de Bragança (IPB)
Jacques Guinberteau - Mycologue. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)

Autres personnes ayant contribué au contenu de l'ouvrage

Vincent Pontois - Office National des Forêts
Laurent Larrieu - Centre Régional de la Propriété Forestière Midi-Pyrénées et INRA Toulouse
Gilles Corriol - Conservatoire Botanique National des Pyrénées et de Midi-Pyrénées
Carole Hannoire - Conservatoire Botanique National des Pyrénées et de Midi-Pyrénées
Jean Garbaye - INRA Nancy
Vincent Douce - Statistiques
Francis Duvignac - Connecting-Nature

Dessins, aquarelles

Jean Rondet

Sommaire

Première partie 6

Les connaissances de base

La mycosylviculture : Une approche globale

CHAPITRE 1 10

LA MYCOSYLVICULTURE

1 - Une gestion qui prend en compte les fonctions écologiques essentielles des champignons

2 - Une gestion qui valorise les synergies entre productions de bois, de champignons comestibles et la biodiversité

3 - Une gestion qui valorise la diversité des fonctions forestières et l'équilibre entre ces fonctions

SCHÉMA DE SYNTHÈSE

CHAPITRE 2 22

ÉCOLOGIE DES CHAMPIGNONS SYLVESTRES

MYCORHIZIENS COMESTIBLES ET GESTION

DE LA RESSOURCE

A - Les points communs entre les espèces

1 - Le rajeunissement régulier des peuplements

2 - L'ouverture des milieux

3 - La diversité des essences-hôtes

B - Les différences entre les espèces

1 - Les essences-hôtes

2 - Les conditions d'humidité

3 - Les conditions de sol

4 - Les conditions de température

5 - Les conditions d'ouverture des milieux

6 - Les quantités et qualités de matières organiques au sol

7 - La nature du sol

8 - Les plantes associées, les strates herbacées et muscinales

CHAPITRE 3 28

COMPRENDRE L'ÉCOLOGIE DES CÈPES POUR

DÉVELOPPER UN MODÈLE DE GESTION MYCOSYLVICOLE

A - Les espèces de cèpes

B - Le cycle de développement

C - Ecologie des cèpes : quatre éléments principaux, en lien avec la gestion forestière

1 - Eclaircies et rajeunissement des peuplements

2 - La « rupture de perméabilité » dans le sol

3 - Une « mosaïque » d'habitats

4 - La protection du sol par la M.O. et par la végétation

CHAPITRE 4 42

ÉCOLOGIE ET GESTION DES LACTAIRES COMESTIBLES

A - Les espèces

B - Les éléments principaux en lien avec la gestion forestière

1 - Productivité des écosystèmes en lactaires délicieux

2 - Le cas des plantations de plants mycorhizés

3 - La précocité de fructification et l'âge des peuplements

4 - Les lactaires sont plutôt des champignons mycorhiziens de « stade précoce »

5 - La relation entre la productivité en champignons et la densité du peuplement

6 - Les conditions climatiques

7 - Les sols

8 - La pente

9 - L'exposition

10 - Conclusions et remarques générales sur les écosystèmes favorables et les orientations de gestion

CHAPITRE 5 50

ÉCOLOGIE ET GESTION D'AMANITA PONDEROSA

A - Description de l'espèce

B - Écologie de l'espèce et facteurs qui influencent son développement et sa fructification

1 - Les relations avec les plantes

2 - Les facteurs liés au peuplement

3 - La nature du sol

4 - Les Facteurs climatiques

C - La gestion durable de la ressource

et des montados favorables à *A. Ponderosa*

1 - Les bonnes pratiques de récolte

2 - La gestion des montados

4 - La gestion du pâturage

5 - Multifonctionnalité et économie

D - Quelques autres espèces comestibles importantes des montados

Boletus aereus, *Amanita caesaera*, *Terfezia arenaria*

Deuxième partie 56

Les méthodes de diagnostic et la gestion mycosylvicole pratique

10 facteurs de diagnostic et de gestion

Introduction

Facteur 1 : Les essences-hôtes 60

Facteur 2 : L'histoire du peuplement 62

Facteur 3 : L'âge des arbres 64

Facteur 4 : Le degré d'ouverture du peuplement 66

Facteur 5 : La structure verticale 68

Facteur 6 : Le niveau trophique du sol 70

Facteur 7 : Le comportement hydrodynamique 72

Facteur 8 : La matière organique en surface 74

Facteur 9 : Les strates herbacée et muscinale 76

Facteur 10 : La situation topographique 78

Exemple 1 : Hêtraie-sapinière acidiphile montagnarde 80

Exemple 2 : Verger de Châtaigniers de Dordogne 82

Le diagnostic mycosylvicole à l'échelle d'un territoire 84

1 - Estimer la ressource en champignons comestibles

2 - Estimer la sensibilité des peuplements au changement climatique

La fructification des champignons comme facteur indicateur de gestion forestière

Vers une méthode complète de diagnostic pour l'adaptation des forêts au changement climatique

Conclusion générale 94

Bibliographie 96



Première partie

Les connaissances de base



Définition de la mycosylviculture
et données sur l'écologie des champignons
en lien avec la gestion forestière



1 - La «mycosylviculture», une approche globale

La finalité de cet ouvrage est de proposer (en deuxième partie) une méthode de diagnostic des forêts. Cette méthode offre les éléments d'analyses qui sont nécessaires pour améliorer la productivité globale des écosystèmes en même temps que leur résilience, dans un contexte de changement climatique.

L'ouvrage ne vise pas à présenter de manière détaillée les critères de description utilisés habituellement en sylviculture. Les ouvrages ne manquent pas dans ce domaine. Les critères d'analyse présentés ici complètent plutôt les descripteurs forestiers classiques. Par ailleurs, ces critères correspondent à une façon différente de considérer l'écosystème forestier : plutôt que de raisonner la gestion forestière à partir du point de vue des arbres et de la production prioritaire de bois, on entre dans le monde complexe de la forêt à travers **la « porte » des champignons**. A première vue, cela semble une petite porte !

Mais il faut se méfier des apparences, cette porte permet, quand nous la franchissons, d'appréhender l'écosystème d'une manière plus globale. Elle ouvre sur les systèmes racinaires et les arbres mais également sur le sol et le climat du sol. Les champignons constituent en effet une interface essentielle entre les racines et le sol et donc entre les arbres et le sol. Et quand nous savons que ce sont les champignons qui absorbent l'eau du sol pour le peuplement forestier, nous réalisons que l'entrée « champignons » est la plus pertinente pour appréhender le système global « peuplement - champignons - sol - climat » et les interactions illustrées dans la **figure 1**.

Entrer dans l'écosystème forestier par la « porte » des champignons permet donc de tenir compte des interactions importantes

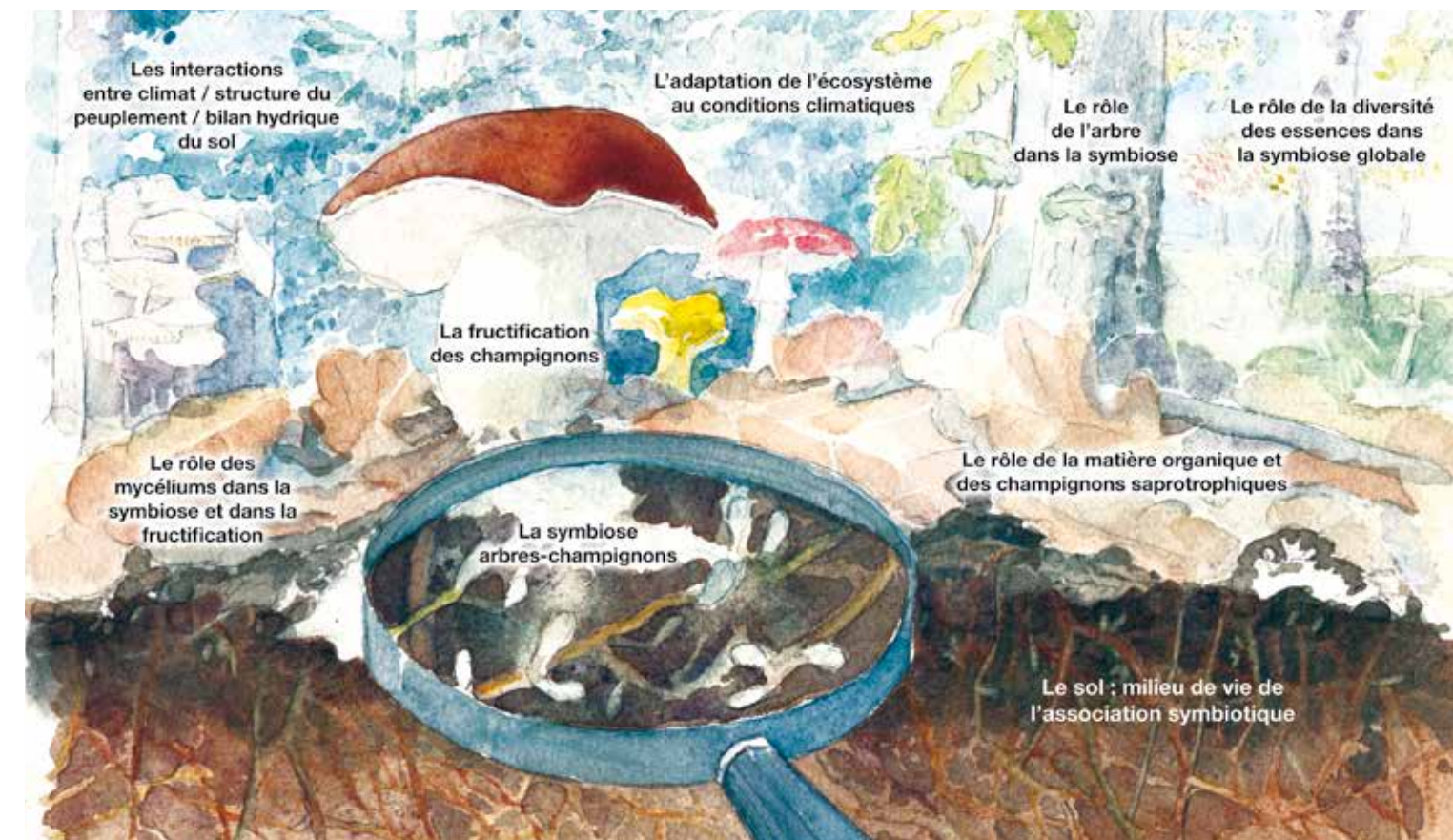
qui existent entre les arbres, les champignons mycorhiziens, le sol, le climat et l'eau dans le sol. Elle permet de comprendre également l'importance de la diversité des essences car celle-ci conditionne la diversité des espèces fongiques et donc la capacité du système global à utiliser l'eau et les minéraux contenus dans le sol et dans la matière organique.

Elle permet de mieux appréhender enfin l'importance de la notion de **structure forestière**. La façon dont en effet le peuplement est organisé dans l'espace et en particulier sa structure verticale, conditionnent la pénétration des pluies, l'évapotranspiration, le bilan hydrique du sol et ainsi le fonctionnement des champignons et du système « arbres-champignons-sol-climat ». C'est pourquoi la mycosylviculture est une sylviculture globale et non pas spécialisée.

2 - La mycosylviculture : une approche favorisant la multifonctionnalité

La mycosylviculture est une démarche qui vise à un véritable équilibre entre production de bois, production de champignons économiquement importants, biodiversité, mesures d'adaptation au changement climatique. De plus, les modes d'ouvertures des peuplements préconisés doivent permettre de valoriser les paysages forestiers et, dans certains contextes, la présence en sous-bois d'animaux d'élevage.

3 - Une démarche d'étude qui s'intéresse au champignons mycorhiziens en général et à quelques espèces comestibles en particulier



Aquarelle ci-contre
La « porte » des champignons : entrée vers une compréhension globale de l'éco-système forestier.

Avant d'entrer dans le détail de la méthode de diagnostic proposée, la première partie de l'ouvrage propose une étude sur l'écologie des champignons, sous l'angle des relations entre gestion forestière et fonctionnement des champignons.

Nous décrivons en premier lieu des mécanismes communs aux champignons mycorhiziens. Ensuite, une étude détaillée de l'écologie de trois groupes d'espèces et espèce (cèpes, lactaires à laits

orangé ou rouge, *Amanita ponderosa*) nous permet de préciser ces mécanismes communs tout en montrant également quelques différences entre ces espèces.

Après avoir parcouru la première partie de l'ouvrage, chacun disposera des éléments pour bien analyser sa forêt (2^e partie), savoir alors comment la gérer et devenir ainsi un pionnier de la mycosylviculture !

La « mycosylviculture »

Définition

C'est une gestion globale, qui valorise :

- les **fonctions écologiques essentielles des champignons** dans l'écosystème forestier, à l'interface entre les arbres et le sol.
- les **synergies** entre la production de bois, la production de champignons comestibles et la préservation de la biodiversité.
- la **diversité des fonctions forestières** et l'équilibre entre ces fonctions.

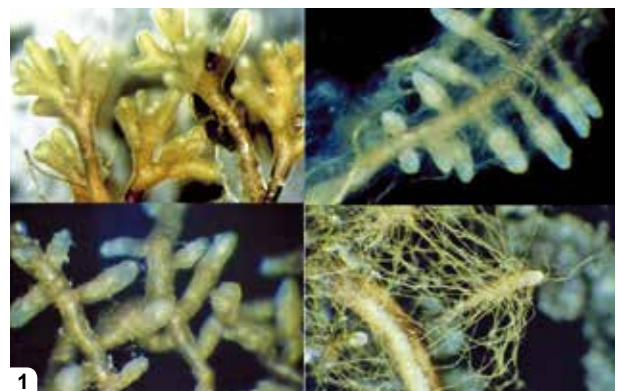
1 - Une gestion qui prend en compte les fonctions écologiques essentielles des champignons.

Le mot **mycosylviculture** veut mettre en évidence l'importance socio-économique des champignons sauvages comestibles mais également la place très particulière des champignons dans l'écosystème forestier. Cette place est « centrale » car la diversité des champignons constitue une **« interface » entre le sol et les plantes** et, plus particulièrement en forêt, entre le sol et le peuplement d'arbres.

Rôle d'interface des champignons mycorhiziens

Les racines des arbres n'absorbent pas directement les éléments nutritifs (minéraux, azote) et l'eau. Une observation à la loupe montre que les jeunes radicelles qui ont pour fonction d'absorber ces éléments sont entourées de mycélium de champignon. Ce mycélium forme un manteau. A partir de ce manteau, des filaments mycéliens très fins colonisent et explorent le sol autour de la radicelle. Ce sont en fait ces filaments, la plupart du temps invisibles à l'oeil nu, qui absorbent les minéraux, l'azote et l'eau au bénéfice de l'arbre.

Ces filaments sont très fins mais très nombreux et ramifiés et la surface d'échange avec le sol permet d'absorber suffisamment d'eau et d'éléments dissous (eau + éléments dissouts = la « solution du sol ») pour assurer les besoins très importants des arbres. Si les radicelles étaient seules à faire ce travail (grâce aux poils absorbants des extrémités des très jeunes radicelles), elles devraient être considérablement plus nombreuses, ce qui obligerait l'arbre à produire beaucoup plus de racines que de parties aériennes. En fait, cela ne serait pas viable, dans les conditions naturelles de sols et de climats.



La méconnaissance des champignons conduit à des erreurs dans la gestion des écosystèmes

En effet, nous pouvons comprendre qu'une gestion forestière qui ne prend pas en compte cette réalité de la symbiose obligatoire pourra souvent négliger des conditions nécessaires au fonctionnement optimal du système mycorhizien. Cela revient à dire qu'elle négligera certaines conditions nécessaires pour optimiser la nutrition des arbres, en minéraux, en azote et en eau.

Quelles sont les conditions pour valoriser la symbiose ?

A l'inverse de ce qui vient d'être dit, une gestion qui s'intéressera à adapter les écosystèmes forestiers aux épisodes plus fréquents de sécheresse devrait absolument chercher à améliorer le fonctionnement du système mycorhizien. Comment ?

Nous verrons plus loin qu'une première condition de base est de favoriser la présence sur les systèmes racinaires d'une grande diversité d'espèces de champignons. En effet, des travaux de plus en plus nombreux montrent que **la diversité de champignons garantit une forte capacité globale du système mycorhizien à s'adapter à des conditions changeantes de sols et de climats du sol** (diversité de « pédoclimats »).

Selon les conditions, telles ou telles espèces de champignons seront les mieux adaptées et assureront la nutrition des arbres. Quand les conditions changeront, d'autres espèces prendront le relais.

Il existe ainsi une relation entre la diversité des espèces de champignons et la capacité fonctionnelle des communautés de champignons. Le schéma suivant illustre cette relation.

Il n'y a pas proportionnalité stricte entre le nombre d'espèces de champignons et la capacité globale du système mycorhizien à

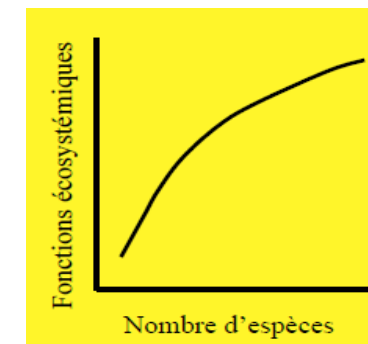
assurer la nutrition des arbres (entre autres fonctions essentielles des champignons) mais la diversité d'espèces est bien un facteur d'amélioration très net !

Une fois dit cela, comment fait-on maintenant pour assurer la présence d'une diversité de champignons mycorhiziens sur les systèmes racinaires ? Un élément qui semble très favorable pour de nombreux auteurs est de garantir une diversité d'essences d'arbres.

En effet, et même si la plupart des champignons peuvent s'associer à une diversité d'essences, chaque essence « amène avec elle » un certain cortège de champignons. Ainsi, dans nos conditions de sols et de climat, un peuplement mélangé qui comprend en particulier des essences locales (ou autochtones) abritera plus d'espèces mycorhiziennes qu'un peuplement mono-spécifique.

Cela devrait être considéré pendant la vie du peuplement, en respectant le plus possible une diversité d'essences principales et secondaires, notamment donc d'essences autochtones.

Cela devrait être considéré également au moment de la régénération des peuplements en faisant en sorte que les jeunes arbres qui installent leurs systèmes racinaires puissent rencontrer dans le sol une grande diversité d'espèces ayant préalablement colonisé les systèmes racinaires d'arbres déjà présents. Dans ce sens la continuité forestière est importante, ainsi que le fait de favoriser la réinstallation spontanée d'essences pionnières locales lors de reboisements.



D'après Marc Buée, INRA Nancy.

Présentation au Séminaire Dordogne de Micosylva+ (2013)



Une autre condition pour valoriser la symbiose est de respecter la porosité des sols et préserver les horizons de surface riches en humus.

Les mycéliums, pour fonctionner et en particulier pour absorber et conduire l'eau et les éléments nutritifs, doivent respirer et donc bénéficier d'un sol qui connaît de bons échanges d'air entre l'atmosphère et l'atmosphère du sol. La préservation des caractéristiques physiques des sols et notamment des horizons de surface riches en humus est dans ce sens essentiel.



1-Développement mycélien dans un sol bien aéré et riche en matière organique (Photo J.Rondet)

2-Marasmius hudsonii : champignon saprotrophique spécialisé exclusivement dans la dégradation de la litière de houx. (Photo G.Corriol)

3-Mycena haematopus sur bois mort.



Favoriser également la présence et le rôle des champignons saprotrophiques.

- Les champignons saprotrophiques recyclent la matière organique au bénéfice des arbres :

Ces champignons au mode de vie différent des premiers utilisent, pour s'en nourrir, la matière des organismes morts à la surface du sol ou dans les horizons superficiels du sol : organes de plantes (feuilles, aiguilles, cônes, ...) insectes morts, etc... Ce faisant, ces champignons « recyclent » les éléments minéraux et l'azote des organes morts et les rendent ainsi à nouveau disponibles pour les plantes vivantes. Ce recyclage est également essentiel à la transformation des organes morts des arbres en humus et ainsi à la formation des sols.

- Les champignons saprotrophiques entretiennent des relations étroites avec les champignons mycorhiziques.

Bien qu'ayant des modes de vie différents, les deux groupes de champignons vivent ensemble, notamment dans les litières de feuilles et d'aiguilles et dans les horizons riches en humus. Leurs mycéliums se mêlent étroitement, ils excrètent ensemble de nombreuses molécules qui vont entretenir la vie de nombreux micro-organismes du sol (bactéries, protozoaires...), ils participent ensemble au recyclage de la matière organique et à la mise à disposition des minéraux et de l'azote au bénéfice des plantes. Nous pensons d'ailleurs aujourd'hui que, sans doute, de nombreux champignons mycorhiziques semblent disposer également des capacités à dégrader et utiliser la litière comme source d'alimentation en molécules carbonées.

- Comment favoriser les champignons saprotrophiques ?

En respectant la présence de leurs substrats nutritionnels : les différentes formes d'éléments de la litière - feuilles, aiguilles, cônes, mais aussi les différentes catégories de bois morts.

2 - Une gestion qui valorise les synergies entre la production de bois, la production de champignons comestibles et la préservation de la biodiversité

Durant les programmes européen Micosylva et Micosylva+, la mise en commun des observations menées en France, Espagne et Portugal permet de conclure à l'existence d'une synergie évidente entre la production de bois et la production de champignons :

- synergie du point de vue de la **productivité** des écosystèmes en bois et en champignons.

- synergie du point de vue de la **durabilité** des écosystèmes et de leurs productions.

«Productivité» et «durabilité» : deux objectifs complémentaires.

La productivité d'une forêt en un produit donné - le bois ou les champignons - désigne sa capacité à produire, à un moment donné du cycle forestier.

La «durabilité» est maintenant en lien avec le fait que cette forêt conserve sa qualité, ses caractéristiques et son niveau de productivité dans l'avenir, sur le long terme. Si ce mot a été inventé et qu'il est évoqué en particulier dans ce domaine forestier, c'est bien parce que la durabilité des écosystèmes forestiers est parfois compromise par la conjonction de modes de gestion qui ont pu fragiliser les écosystèmes et d'un climat qui se modifie de manière rapide.

Dans le cas des productions forestières où les perspectives de temps sont longues, il importe particulièrement de rechercher des conditions de gestion qui assurent une «productivité durable», même si dans certains cas ces conditions peuvent conduire à une relative diminution de la productivité du moment présent. Au final, on y gagnera, en ménageant les productions futures.

Pour illustrer ce propos, remarquons que les très fortes productions de cèpes des jeunes forêts d'Épicéa commun du Limousin et d'Auvergne n'ont eu qu'un temps et que ces plantations mono-spécifiques n'ont pas été bénéfiques pour les sols et pour la biodiversité.

Aujourd'hui, la question se pose de valoriser le potentiel des Épicéas restants à travers leur capacité à transmettre du mycélium de cèpe (*Boletus edulis*) à d'autres essences qui s'installeraient à proximité immédiate, spontanément ou par régénération artificielle. Les essences choisies présentant alors l'ensemble des caractéristiques

attendues : adaptation à la station, amélioration des formes d'humus, bois, champignons comestibles.

Synergie « bois-champignons comestibles » du point de vue de la productivité.

En premier lieu, les observations menées dans des peuplements traités en «futaie régulière» montrent que les productions de champignons comestibles sont plus importantes dans des peuplements jeunes et en bonne croissance.

Des observations précises et quantifiées le montrent pour les espèces principalement récoltées en France et en Espagne et qui sont les cèpes et différents lactaires à lait rouge ou orangé. Elles sont également valables pour le plus grand nombre des espèces comestibles et qui sont des espèces en fait plutôt pionnières.

Ainsi les productions importantes de ces champignons apparaissent dans des peuplements qui connaissent une gestion intensive à assez intensive. Les éclaircies régulières favorisent la photosynthèses des arbres dont les houppiers sont mis en lumière. L'activité photosynthétique accrues des arbres est en relation avec une forte croissance mycélienne et avec les fructifications des champignons mycorhiziens. Dans ces forêts gérées pour le bois, l'âge d'exploitation correspond en fait à des arbres encore jeunes (100 ans est encore jeune par exemple pour un Sapin pectiné, un Hêtre et même un Pin sylvestre, d'un point de vue physiologique). Nous verrons dans la suite de cet ouvrage que la présence d'arbres (ou de tiges) jeunes doit être recherchée, au moins en certaine proportion dans le peuplement, pour assurer une continuité dans le temps d'une forte productivité en champignons. Les traitements irréguliers des peuplements sont intéressants bien sûr de ce point de vue.



Un deuxième aspect de cette synergie tient au fait que les espèces comestibles principales sont très ubiquistes : une espèce comme le cèpe de Bordeaux par exemple peut s'associer à de nombreuses essences feuillues et résineuses. Le forestier peut ainsi valoriser une grande diversité d'essences à la fois pour le bois et les champignons. Dans le cas où il choisit une essence objectif qui ne produit pas les espèces escomptées, il peut alors associer l'essence objectif à des essences «secondaires» et de bourrage qui sont au contraire des hôtes reconnus pour les champignons visés.

Une troisième explication de cette synergie « bois-champignons » est celle-ci : il est très bien connu maintenant que les fructifications de la plupart des champignons sont abondantes essentiellement dans des peuplements « ouverts » aux influences climatiques (excepté au vent !). Cette ouverture du milieu permet tout d'abord un réchauffement des sols et des températures qui peuvent favoriser une croissance mycélienne importante. L'importance de la croissance mycélienne va ensuite conditionner celle de la fructification car il est probable que de nombreuses espèces, y compris mycorrhiziennes, développent leurs fructifications au dépend des colonies mycéliennes préalablement développées dans le sol. Ensuite, l'ouverture du milieu permet la pénétration de la pluie et sa capacité à saturer suffisamment le sol pour déclencher la fructification. La pluie est en effet un facteur essentiel pour initier la fructification de nombreuses espèces, sinon de la plupart.

A l'inverse, la capacité d'un peuplement à produire des fructifications en abondance et avec un « poids moyen » intéressant signale que le bilan hydrique du sol est favorable également au fonctionnement

des systèmes racinaires mycorhizés. La capacité de fructification peut être ainsi utilisée comme un indicateur de gestion et pour optimiser les bilans hydriques des sols.

Figure 1 : Le cèpe de Bordeaux (*Boletus edulis*) : l'exemple d'une espèce comestible qui peut s'associer à de nombreuses espèces d'intérêt sylvicole.



1

Figure 2 : L'ouverture des milieux, par éclaircies, favorise à la fois la croissance des arbres et la fructification des espèces fongiques en général. Cette fructification est conditionnée par des écarts thermiques (au moins pour les espèces fructifiant exclusivement après une chute marquée des températures (été => automne), par une pénétration suffisante de la pluie et par un bilan hydrique favorable dans le sol durant toute la saison (estivale et/ou automnale) de fructification.



2

Synergie « bois-champignons comestibles » du point de vue de la durabilité.

S'intéresser à la fructification des champignons comestibles conduit à décider de protéger cinq caractéristiques essentielles des écosystèmes :

a) Préserver la diversité des essences

Cette diversité des essences conditionne la diversité des espèces mycorrhiziennes et permet également une meilleure régularité inter-annuelle de la production d'une même espèce de champignon. Ainsi par exemple, dans la hêtraie-sapinière Pyrénéenne (illustration), chacune des deux essences dominantes « apporte » avec elle son cortège fongique et les deux essences réunies favorisent ainsi une plus grande biodiversité fongique.

Dans ce peuplement mixte, le cèpe de Bordeaux (*B. edulis*) est associé aux deux essences.



b) Préserver le bois mort au sol

Les différentes classes de bois morts conditionnent la diversité d'espèces fongiques utilisant le bois comme ressource alimentaire. Parmi ces champignons saproxyliques, citons par exemple le pleurote en huitre (*Pleurotus ostreatus*) et la pholiote du peuplier (*Agrocybe aegerita*) sur troncs morts de feuillus à bois blanc (sans tannins), le sparassis crépu (*Sparassis crispa*), bon comestible qui décompose les souches.



1- Représentation symbolique du caractère ubiquiste de *Boletus edulis*, un champignon qui forme des associations mycorrhiziennes avec une diversité d'essences feuillues et résineuses.

2- L'ouverture des peuplements est, en règle générale, un facteur qui favorise les fructifications de nombreuses espèces comestibles recherchées, pour plusieurs raisons complémentaires liées aux conditions climatiques en sous-bois et à l'éco-physiologie des partenaires de la symbiose - les arbres et les champignons.



Aquarelle ci-contre
Peuplement mélangé de Hêtre et Sapin pectiné, dans les Pyrénées.

Photo ci-dessous
Sparassis crispa sur souche de Sapin pectiné.



La présence de bois mort favorise également les fructifications de champignons mycorhiziens en offrant à ces derniers des «micro-habitats» favorables. Ainsi le ruissellement de l'eau le long des troncs d'arbres morts, les accumulations d'eau dans des troncs déjà bien décomposés, l'abri physique contre le vent et contre l'ensoleillement direct sont autant de facteurs qui favorisent les fructifications

1 et 2-Effets « protecteurs » et hydriques du bois mort sur les fructifications de cèpe de Bordeaux.

3-Même phénomène pour le pied de mouton - *Hydnum repandum*.



1



3



2



4



5



6



Deux autres exemples d'espèces comestibles favorisées par la présence de bois mort : *Laccaria amethystina* (photos 4 et 5) et *Craterellus tubaeformis* (photo 6).

c) Préserver la matière organique au sol

Celle-ci constitue un milieu de vie privilégié pour toutes les espèces fongiques recherchées. « Milieu de vie » d'un point de vue nutritionnel pour le mycélium et milieu de vie également d'un point de vue physique. Les horizons de matière organique constituent en effet des milieux à la fois aérés et riches en eau (eau liquide dans les éléments organiques eux-mêmes et vapeur d'eau entre ces éléments). Ils offrent ainsi des conditions idéales pour les mycéliums mais aussi pour les « primordia », ou ébauches de champignons.



1 et 2-la matière organique : un milieu de vie pour les cèpes et les chanterelles.

3-Les racines fines mycorhizées, qui assurent l'essentiel de la nutrition des arbres, demandent pour se développer et fonctionner un sol bien poreux et donc non tassé.

4-Un peuplement de sapin pectiné montrant une structure verticale riche, constituée par plusieurs étages d'arbres.

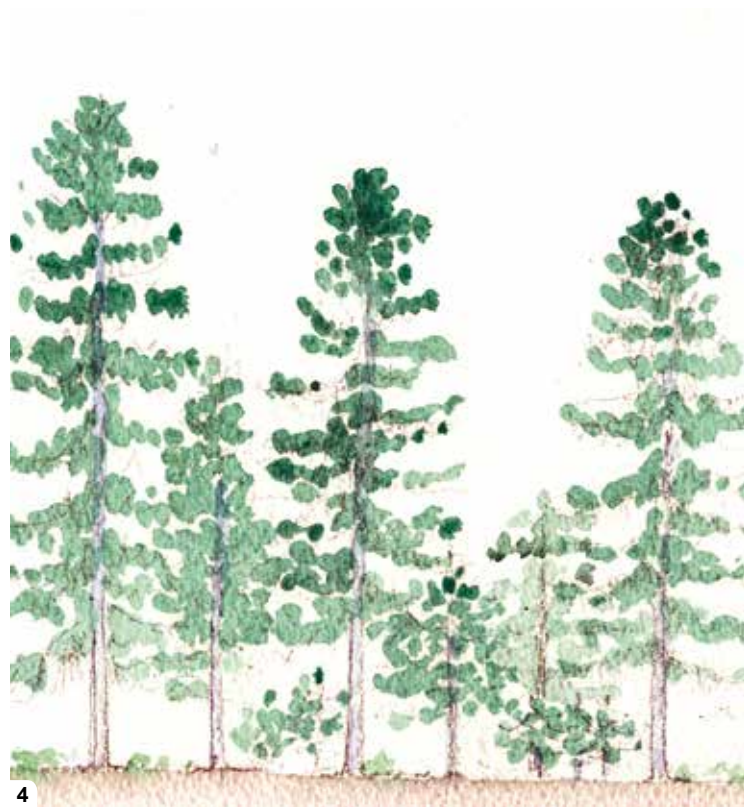
d) Ne pas tasser les sols (en conditions humides) pour conserver la porosité du sol

Cette porosité est nécessaire d'une part au développement des racines mycorhizées et à leur fonctionnement. L'aération du sol est nécessaire à l'intense respiration des mycéliums.



e) Préserver enfin une structure verticale riche

Une structure verticale constituée de plusieurs étages de végétation favorise la présence d'une mosaïque d'habitats. La diversité des habitats dans le sous-bois offre aux champignons une diversité de situations climatiques dont certaines seront favorables à un moment donné à la fructification des espèces fongiques. Au contraire, une structure simplifiée pourra se révéler favorable une année d'un point de vue climatique et défavorable une autre année.



Ainsi, si nous comprenons que le bon fonctionnement des champignons est nécessaire dans le même temps au bon fonctionnement des arbres, nous prendrons plus d'intérêt et de soin à protéger ces quatre facteurs précédents pour assurer la durabilité des deux productions et bien sûr de l'écosystème dans son ensemble.

Si une gestion moins intensive et plus respectueuse des conditions « naturelles » de l'écosystème peut se révéler plus coûteuse, la double production pourra permettre de mieux financer cette gestion. Pour cela, il faut s'appliquer à démontrer l'intérêt économique de cette production fongique, à travers des expériences pilotes d'organisation des usages et de valorisations gastronomiques, agroalimentaires et touristiques de la ressource.

3 - Une gestion qui valorise la diversité des fonctions forestières et l'équilibre entre ces fonctions

La place de la « fonction nourricière » de la forêt et l'invention du « Mycotourisme ».

La mycosylviculture est une gestion multifonctionnelle

dans le sens où elle prend en compte de manière équilibrée les fonctions de production et de préservation de la biodiversité et des milieux comme nous l'avons expliqué précédemment.

Le mycotourisme : un cadre innovant pour développer l'économie rurale et tisser des liens rural-urbain

Cette notion a été inventée peut-on dire en Espagne, en Castille et Léon. Dans cette Région en effet, le développement des activités touristiques et économiques autour des champignons justifie que la

gestion soit raisonnée maintenant de façon à favoriser non seulement la ressource elle-même mais également tous les aspects permettant un accueil du public dans de bonnes conditions.

Les populations urbaines espagnoles souhaitent accéder aux espaces forestiers et trouver la possibilité de s'initier à la cueillette des champignons dans un bon « climat social », de circuler dans des conditions pas trop difficiles dans des beaux paysages de forêts, d'apprendre dans le même temps à découvrir la nature et la biodiversité. Cette notion de mycotourisme intègre par ailleurs les aspects de gastronomie et d'apprentissage de nouveaux produits alimentaires, de nouvelles recettes, d'une nouvelle cuisine, d'une alimentation naturelle car basée sur des produits sauvages... Dans cette optique, la forêt n'est pas considérée comme un espace de production de bois uniquement mais aussi comme un espace nourricier.

La notion de forêt nourricière

Une nouvelle réflexion sur la valeur gastronomique mais aussi alimentaire des champignons sylvestres redonne une actualité à une fonction autrefois très importante de la forêt : la fonction nourricière. La valorisation de cette fonction justifie ainsi que la gestion prenne en compte la diversité des champignons comestibles mais aussi les essences forestières productrices de fruits sauvages, les arbustes à petits fruits, les plantes sauvages alimentaires...

Retisser des liens entre espaces forestiers et espaces agricoles

La notion de forêt nourricière permet de retisser également des liens symboliques entre les espaces forestiers et les espaces agricoles, à travers leurs productions alimentaires respectives et les liens qui



Le mycotourisme : un levier de développement, un mode nouveau d'appropriation des espaces forestiers et boisés pour les urbains, un cadre pour raisonner le partage de la ressource, une activité qui permet de retisser nombreux liens.



peuvent être trouvés entre ces productions. Ces liens se déclinent au moins dans trois domaines :

- Liens identitaires

L'identité d'un territoire peut être fortement renforcée à travers la mise en valeur d'une association symbolique entre un produit du terroir agricole et un produit du «terroir forestier».

Citons l'exemple du «cèpe et de la châtaigne» en Dordogne. Ce lien est mis en avant lors de la fête du même nom à Villefranche du Périgord. Un musée du cèpe et de la châtaigne accueille également les touristes dans cette commune. Une autre commune de Dordogne développe le lien entre l'élevage et la forêt à travers la fête du veau et du cèpe. Cette notion, très « rurale », a du succès auprès d'un public de plus en plus nombreux. Dans la province de Léon, en Espagne, un projet veut associer cèpes, châtaignes et porc noir ibérique. En effet, les mêmes espaces accueillent ces trois productions qui ont toutes les trois une forte valeur emblématique.

- Liens alimentaires et gastronomiques

Les liens entre ces produits peuvent être trouvés au sein d'un menu, d'une recette, d'une préparation agro-alimentaire. Les produits évoqués précédemment peuvent par exemple s'associer très facilement. Il y a ici une source importante d'innovation dans ces différents domaines de l'alimentation.

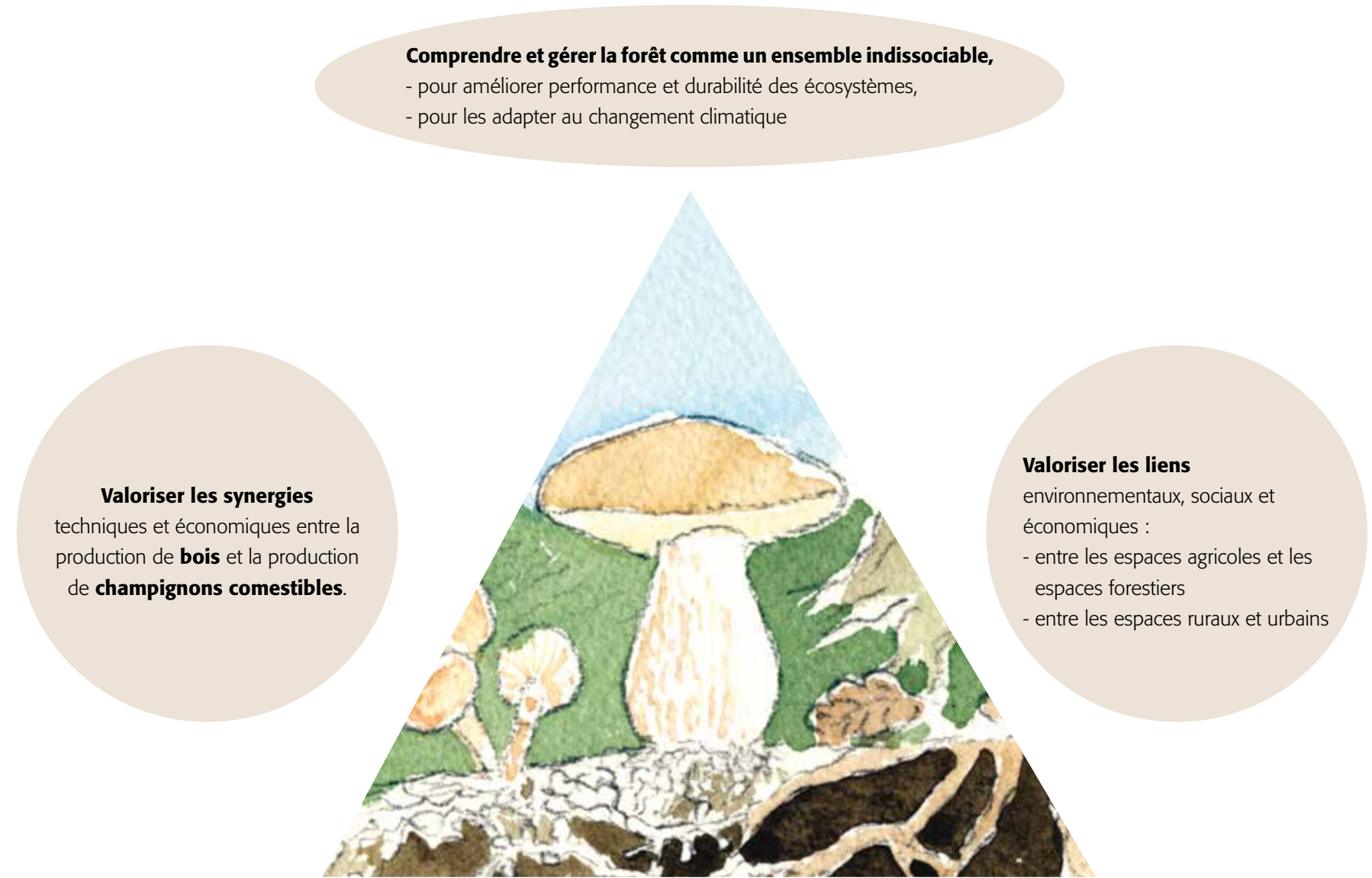
- Liens en terme de gestion

Nous allons étudier plus loin la façon de gérer simultanément bois et champignons comestibles. Il est également possible de raisonner des modes de gestion qui permettent d'associer au mieux à ces

deux premières productions une production de fruits et de plantes sauvages et éventuellement un temps d'accueil d'animaux d'élevage en forêt. Selon les contextes forestiers (types de peuplements, nature des sols, formes d'humus...), l'accueil d'animaux en forêt sera bien sûr raisonné très différemment, parfois favorisé et parfois jugé défavorable pour l'écosystème.

4 - Conclusion : La Mycosylviculture et ses perspectives

Voir le schéma ci-contre



Comprendre et gérer la forêt comme un ensemble indissociable,

- pour améliorer performance et durabilité des écosystèmes,
- pour les adapter au changement climatique

Valoriser les synergies

techniques et économiques entre la production de **bois** et la production de **champignons comestibles.**

Valoriser les liens

environnementaux, sociaux et économiques :
 - entre les espaces agricoles et les espaces forestiers
 - entre les espaces ruraux et urbains



Ecologie des champignons sylvestres mycorhiziens comestibles et gestion de la ressource



Les habitudes de consommation se sont tournées vers des espèces fongiques favorisées par les pratiques agro-sylvicoles anciennes (exploitation intensive par une population rurale très nombreuse, maintien des milieux ouverts,...)

Franck Richard communication personnelle.

Graphique
Effet d'une éclaircie faite en 1987 sur une placette dans la réserve mycologique de La Chanéaz (Suisse) : on note un accroissement spectaculaire du nombre de fructifications de nombreuses espèces.
D'après Simon Egli (1987).

A - Les points communs entre les espèces

Il est fréquent de trouver dans les mêmes parcelles forestières non seulement une espèce très convoitée localement (cèpe par exemple) mais également une diversité d'espèces également réputées (chanterelle, oronge,...). Une première raison tient au fait qu'un même arbre est associé à une diversité d'espèces comme nous l'avons rappelé précédemment. Mais cela tient au fait également que ces espèces réputées demandent pour se développer et pour fructifier un certain nombre de conditions identiques, dans les mêmes habitats ou dans des habitats différents. Il est intéressant de remarquer que ces conditions correspondent à des milieux forestiers gérés de manière au moins assez intensive.

1 - Un rajeunissement régulier des peuplements favorise les fructifications des champignons comestibles

Ce rajeunissement accompagne une gestion forestière « dynamique ». Les espèces réputées sont des espèces mycorhiziennes qui présentent un caractère plutôt pionnier et qui fructifient abondamment dans ces peuplements rajeunis.

2 - L'ouverture des milieux (par les éclaircies) favorise la fructification de nombreuses espèces.

Ce phénomène est très bien connu des propriétaires forestiers qui s'intéressent aux champignons comestibles. Des études scientifiques décrivent également ce phénomène comme par exemple l'étude menée en Suisse par Simon Egli et illustrée par la figure suivante. Une forte éclaircie faite en 1987 sur une placette dans la réserve mycologique de La Chanéaz montre un accroissement spectaculaire du nombre de fructifications de nombreuses espèces.

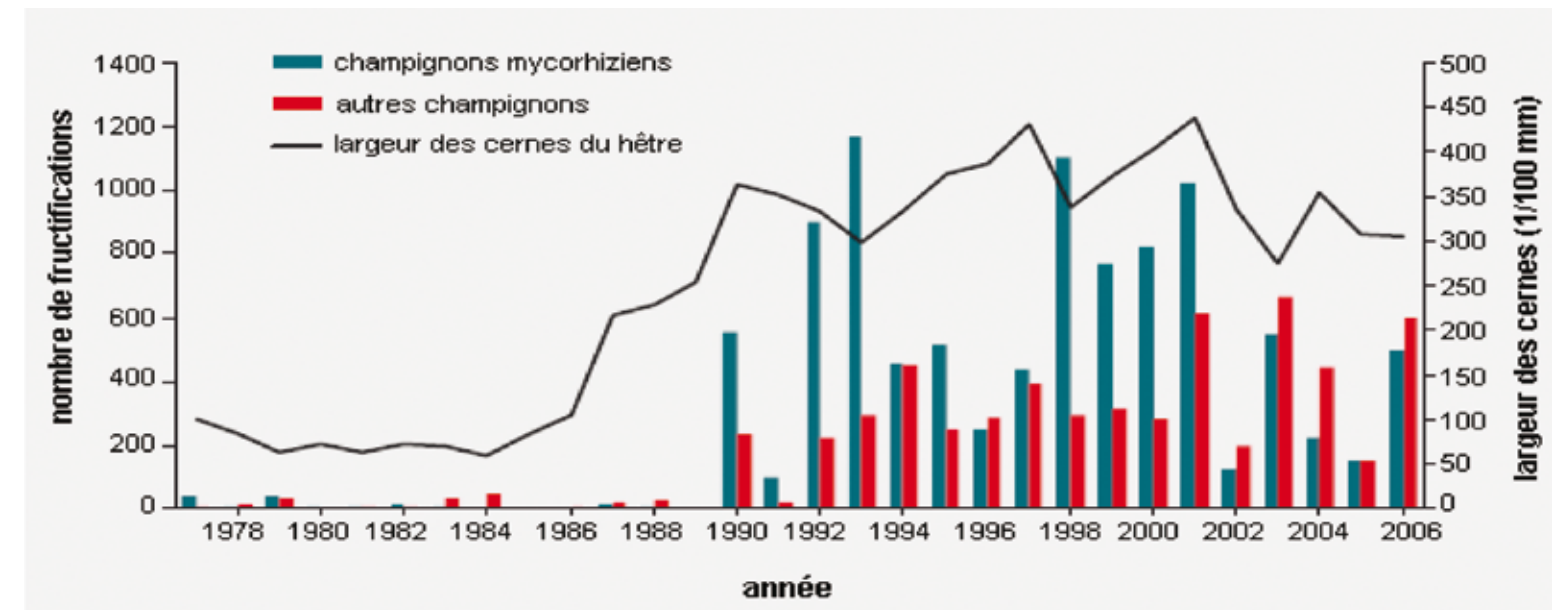
Cet effet positif des éclaircies peut s'expliquer par plusieurs raisons, complémentaires sans doute :

- L'amélioration de la photosynthèse des arbres-hôtes profite aux champignons également.

Les arbres mis en lumière par l'éclaircie ont une activité photosynthétique plus importante. Cette photosynthèse accrue permet des apports de sève vers les champignons mycorhiziens.

- L'ouverture des milieux favorise un réchauffement des sols, de quelques degrés, qui stimule la croissance des mycéliums

des champignons en général et des espèces comestibles en particulier. Les cèpes demandent ainsi au moins 16-18°C pour avoir une croissance mycélienne correcte et souvent 18-20°C pour une croissance rapide. La température optimale peut varier de 20°C à 23-25°C selon les « souches », c'est à dire, pour une même espèce, les types génétiques récoltés dans différents habitats. On pense que pour de nombreuses espèces, l'importance de la croissance mycélienne conditionnera l'importance de la fructification (cf. l'écologie des cèpes).



- L'ouverture des milieux favorise également la pénétration de la pluie et le déclenchement de la fructification.

De nombreuses espèces comestibles semblent en effet fructifier à la suite d'un tel évènement climatique. Ce phénomène pourrait expliquer en tout premier l'influence des éclaircies sur les fructifications globales de champignons dans un peuplement. Des expérimentations déjà anciennes de l'INRA de Bordeaux ont montré clairement l'effet de la pluie sur des fructifications de Bolet granuleux (*Suillus granulatus*) sous Pin maritime. Il s'agissait d'une plantation réalisée à partir de plants mycorhizés en pépinière INRA. Le facteur déclenchant était une pluie ou une irrigation d'au moins 10 mm, susceptible de générer une humidité durable

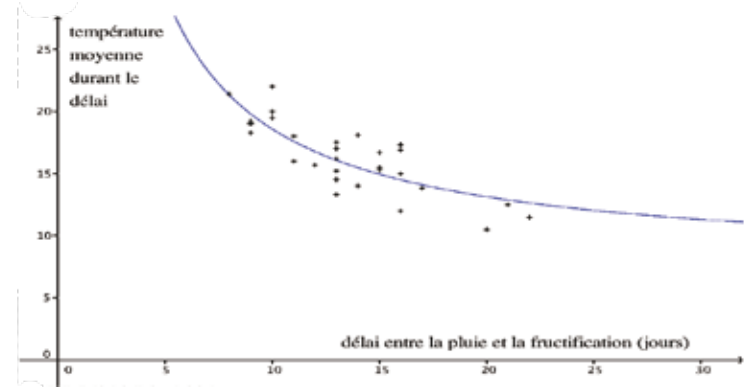
dans la litière. Le recours à l'irrigation a permis de construire un modèle prédictif (Poitou et al., 1989). Ce modèle est basé sur la relation statistique existant entre deux phénomènes. Le premier phénomène mesuré est le délai entre la pluie (ou irrigation) et le moment de la fructification. Le deuxième facteur observé est la température moyenne du sol durant ce délai. Plus le sol est chaud, plus le délai entre pluie et fructification est court. Inversement, le délai est plus long quand le sol est plus froid. Nous avons plus tard utilisé la même idée pour analyser le délai entre la pluie et la fructification des cèpes, en conditions forestières. Tout d'abord, on remarquera qu'il ne peut y avoir de fructification sans pluie préalable. Ensuite, on note bien une relation



Il existe une relation statistique entre ces deux éléments :
 - le délai entre la pluie et le début de la récolte.
 - la température en surface du sol (qui est proche de la température atmosphérique en sous-bois).
 Cela montre que c'est bien la pluie qui déclenche le processus de fructification.

Le délai va de 7-8 jours quand il fait chaud à plus de 18-20 jours quand il fait plus froid (10-12°C par exemple)

entre la température et le délai pluie-fructification. Cette relation est démontrée statistiquement (figure ci-dessous).



3 - La diversité d'essence hôtes dans un peuplement semble améliorer la régularité des fructifications des espèces ubiquistes comme les cèpes et les chanterelles.

Ces espèces ayant dans un même peuplement plusieurs essences-hôtes différentes, le système « arbres-hôtes - espèce fongique X » peut sans doute mieux s'acclimater aux variations climatiques intra-annuelles et inter-annuelles. Cette diversité ne semble en tous cas pas préjudiciable et elle est un facteur essentiel de plus grande biodiversité générale et fongique, comme nous le verrons plus loin.

4 - La préservation de litières riches, avec bois morts, permet la constitution en surface des sols de milieux favorables d'un point de vue micro-climatique

Ces litières diversifiées constituent des milieux à la fois aérés et humides qui protègent les mycéliums et les très jeunes fructifications du dessèchement.

B - Les différences entre les espèces

Des différences se manifestent toutefois entre les espèces, pour au moins les **huit facteurs** suivants :

1 - les essences-hôtes

Les essences suivantes, bien représentées dans les forêts françaises, sont très favorables aux fructifications des principales espèces de champignons récoltées :

Chênes (pédonculé, sessile, tauzin, rouge); Châtaignier (peuplement forestier, verger); Charme; Hêtre

Pins : Pin noir, Pin sylvestre, Pin maritime, Pin à crochets,...

Sapin pectiné ; Epicéa commun

Certains champignons, très ubiquistes comme le cèpe de Bordeaux ou le pied de mouton (*Hydnum repandum*) peuvent s'associer à toutes ces essences, bien que *boletus edulis* ne se rencontre que rarement en France sous Pins (contrairement à l'Espagne, notamment en Castille et Léon, sous Pin sylvestre).

D'autres espèces sont plus strictement inféodées à une ou quelques essences. C'est le cas des Lactaires comestibles à laits rouge ou orangé, inféodés à différentes espèces de Pins. L'écologie des Lactaires est présentée dans un chapitre ultérieur.

On trouvera des informations intéressantes sur les relations entre les espèces fongiques et les différents types de peuplement dans le guide de Mycosylviculture du projet Amycoforest (2013).

2 - Les conditions d'humidité

Le cèpe de Bordeaux (*Boletus edulis*) préfère les milieux frais à

humides tandis que le cèpe des pins de montagne (*Boletus pinophilus*) ou le cèpe bronzé (*Boletus aereus*) préfèrent les milieux moins frais à secs. Toutefois, ces espèces ont une grande amplitude écologique : on peut les rencontrer dans des milieux très divers, comme l'illustre la figure suivante. D'autres espèces ont au contraire des amplitudes plus étroites.

3 - Les conditions de sols

De la même façon que pour l'humidité, des espèces ont une amplitude écologique large du point de vue des conditions de sol.

très sec XX						
sec X						
assez sec X						
mésophile m						
frais f						
assez humide h						
humide hh						
très humide H						
	PP Très pauvre	P pauvre	p assez pauvre	r assez riche	R riche	C calcaire



Hêtraie sapinière acidiphile à Houx

Fig. Autécologie synthétique des 4 espèces de cèpes et positionnement écologique de la Hêtraie-sapinière acidiphile à Houx (pour exemple). (d'après Larrieu et al - 2010)

4 - Les conditions de températures

Une diminution des températures moyennes est favorable aux espèces automnales. Les espèces estivales comme le cèpe bronzé et le cèpe d'été (*Boletus aestivalis*) fructifient dans des conditions de températures constantes. Les fructifications de certaines espèces supportent des températures basses comme la trompette des morts (*Craterellus cornucopioides*), d'autres demandent des températures assez élevées comme le cèpe d'été.

5 - Les conditions d'ouverture des milieux

Certaines espèces supportent une forte ouverture des milieux, comme les cèpes ou les lactaires ou encore des bolets très pionniers comme le bolet jaune (*Suillus luteus*). Au contraire, l'alternance des milieux ouverts et plus fermés (« mosaïque d'habitats ») est essentielle pour d'autres espèces comme les giroles (*Cantharellus cibarius*) ou le pied de mouton (*Hydnum repandum*). Cependant,



Schéma
Conditions écologiques des quatre espèces de cèpes.

Le caractère très plastique de certaines espèces comestibles comme les cèpes ne permet pas d'établir une description d'un « habitat idéal », qui serait donc le plus favorable pour l'une de ces espèces. De nombreux facteurs entrent en jeu. Cette plasticité explique également qu'il est possible d'attendre de bonnes fructifications de cèpes dans une grande diversité de forêts.



La notion de matière organique, souvent utilisée au singulier désigne en fait des formes organiques très diverses. c'est pourquoi nous parlerons souvent dans ce livre de « matières organiques », au pluriel donc.

cette mosaïque d'habitats est intéressante pour l'ensemble des espèces, durant les années de forts ensoleillements et de trop fortes chaleurs, y compris donc pour les espèces considérées comme étant de milieux ouverts.

6 - Les quantités et les qualités de matières organiques au sol

Certaines espèces sont clairement favorisées par la présence de matières organiques, comme par exemple la chanterelle (*Cantharellus cibarius*), la trompette des morts (*Craterellus cornucopioides*), l'Hygrophore de Mars (*Hygrophorus marzuolus*). D'une manière générale et pour l'ensemble des espèces, un horizon riche en matières organiques fournit des conditions micro-climatiques favorables aux mycéliums et aux très jeunes fructifications.

On suppose d'autre part que les mycéliums de certaines espèces mycorhiziennes se nourrissent également en partie en dégradant ces matières organiques. La nature de ces formes organiques serait alors un facteur important de la caractérisation des habitats de ces espèces. Les hypothèses dans ce sens concernent par exemple les cèpes et les chanterelles.

7 - La nature du sol (pH, calcaire actif.)

Certaines espèces se démarquent des autres en préférant des sols calcaires. C'est le cas du Lactaire sanguin (*Lactarius sanguifluus*).

8 - Les plantes associées, des strates herbacées et muscinales

Les liens sont encore mal connus entre ces plantes et les champignons, notamment mycochiziques. Ces liens semblent cependant évident pour les observateurs qui utilisent justement ces plantes

comme des plantes indicatrices de stations favorables aux espèces fongiques convoitées.

Des travaux sont actuellement (2014) menés au CNRS de Montpellier pour étudier l'effet de la présence de certaines plantes herbacées de truffières sur la mycorhization de plants truffiers. Des effets importants sont notés. (Franck Richard, Elisa Taschen, communication personnelle). En attente des résultats des études scientifiques actuellement menées ou à venir, nous ne pouvons actuellement que nous baser sur des observations de terrain qui suggèrent le rôle favorable de certaines plantes.

Le cèpe de Bordeaux (*B. edulis*) est ainsi souvent associé à la Callune (*Calluna vulgaris*), à la Molinie bleue (*Molinia caerulea*), à la Fougère aigle (*Pteris aquilina*). Les rôles favorables de ces plantes pourraient s'expliquer par trois facteurs : (i) elles peuvent contribuer à créer des conditions microclimatiques favorables pour le mycélium, les primordia et les fructifications; (ii) les organes morts de ces plantes pourraient servir de substrat nutritionnel pour le mycélium de cèpe (hypothèse); (iii) les exudats racinaires produits par la callune ou par les champignons endomycorhiziens associés à cette plante favoriseraient indirectement le cèpe en défavorisant d'autres espèces mycorhiziennes ;

Une quatrième hypothèse mériterait d'être explorée. Des observations révèlent une croissance de mycélium préférentielle au contact d'organes morts des plantes (feuilles de Molinie, Rhizomes de Fougère,...). Ces plantes joueraient ainsi par ce biais un rôle de relais dans la transmission de mycélium entre les racines des arbres-hôtes.



Illustration
Cèpe et callune (*Calluna vulgaris*), au premier plan, dans la pinède à Pin sylvestre de Pinar grande – Soria.

Les relations entre certaines plantes et les espèces de champignons comestibles sont importantes et méritent d'être plus étudiées pour préciser les modes de gestion de la strate herbacée.



Comprendre l'écologie des cèpes pour développer un modèle de gestion mycosylvicole



Jean RONDET, Union Grans Sud des communes forestières

Nathalie SEEGERS, Chambre d'Agriculture de la Dordogne

Laurent RIGOU, Atelier sols, urbanisme et paysages

Guillaume ARLANDES, Pyrénées cartographie

Fernando MARTINEZ-PEÑA, CESEFOR

Jacques GUINBERTEAU, INRA Bordeaux

Dans les pages précédentes nous avons présenté des éléments d'observation assez généraux sur l'écologie des espèces mycorhiziques comestibles les plus recherchées.

Les études qui ont été particulièrement menées sur les cèpes permettent de définir les aspects particuliers de leur écologie, leur mode de vie, ce qui est intéressant pour gérer des habitats particulièrement propices à l'une ou l'autre des quatre espèces de cèpes.

Mais ces études permettent également d'illustrer des points plus généraux sur l'écologie des espèces mycorhiziques et évoqués précédemment.

En comparant l'écologie des cèpes à celles de deux autres exemples (Lactaires à laits orangé ou rouge d'une part et *Amanita ponderosa* d'autre part), nous nous attacherons à mettre en lumière les différences entre les habitats mais aussi les points communs en matière de gestion forestière.

Cela nous conduira à proposer en deuxième partie d'ouvrage un guide de gestion commun pour l'ensemble des espèces fongiques qui sont actuellement les plus recherchées. Ce guide intègre également les objectifs de production de bois, de préservation de la





biodiversité et d'adaptation au changement climatique, comme nous l'avons expliqué dans le premier chapitre.



A - Les espèces de cèpes

Trois des quatre espèces de cèpes reçoivent communément le nom de « cèpe » : *Boletus edulis* (cèpe de Bordeaux), *Boletus aereus* (cèpe bronzé), *Boletus aestivalis* (cèpe d'été) et *Boletus pinophilus* (cèpe des pins de montagne).

Ce sont pour la plupart des espèces ubiquistes, que l'on peut rencontrer en association avec de nombreuses essences forestières. Ce sont également des espèces très « plastiques » que l'on rencontre dans des stations très diverses. C'est en particulier le cas pour *Boletus edulis*. En ce sens, cette espèce est particulièrement intéressante en terme de gestion puisqu'une grande diversité de conditions de peuplements, de milieux, de modes de gestion permettent sa production. Cependant, nous verrons que certaines conditions particulières favorisent des fructifications très abondantes.

Espèces	Principaux hôtes	Distribution	Périodes de Fructification
 <p>Cèpe de Bordeaux <i>Boletus edulis</i></p>	Epicéa commun, Sapin pectiné, Hêtre, Chêne pédonculé, Chêne rouvre, Chêne d'Amérique, Chêne tauzin, Châtaignier, Pin à crochets, Pin sylvestre (en Castille et Léon notamment)	Plaine et montagne, jusqu'à 2000 m Mésophylophile	Fructifications plutôt automnales, après une baisse des températures. Des fructifications printanières ou estivales peuvent suivre des épisodes de baisses de températures.
 <p>Cèpe Bronzé <i>Boletus aereus</i></p>	Châtaignier, Chêne pédonculé, Chêne tauzin	Plaine et colline Xérophile (sols plutôt secs et chauds)	Fructifications plutôt estivales. Des exceptions cependant, dans certains habitats.
 <p>Cèpe d'Été <i>Boletus aestivalis</i></p>	Châtaignier, chênes, Hêtre	Plaine et colline Thermophile	Fructifications plutôt estivales.
 <p>Cèpe des Pins de Montagne <i>Boletus pinophilus</i></p>	Sapin pectiné, Pin sylvestre, Pin à crochets, Pin laricio, Hêtre, Châtaignier (en vergers)	Plaine (vergers de châtaigniers), Colline et montagne, jusqu'à 2000 m Plutôt méso-xérophile à xérophile (sols bien drainés, souvent secs)	Fructifications du printemps au début d'hiver.



B - Cycle de développement des cèpes (connaissances et hypothèses)

Les connaissances incomplètes sur le développement des cèpes s'expliquent d'une part par le relativement faible nombre de travaux scientifiques menés sur ce sujet et d'autre part par leur caractère visiblement très « plastique ». En effet, la diversité d'habitats pour une même espèce de cèpe suggère qu'il n'est pas possible de généraliser l'ensemble des observations menées sur quelques habitats seulement. Les observations concourent à proposer **un modèle de développement en quatre phases**, qui dépendent chacune de conditions spécifiques. La distinction entre les phases 1 et 2 est bien sûr artificielle mais utile pour mettre en évidence qu'il n'y a pas de relation nécessairement étroite entre le nombre de mycorhizes de

cèpe d'une part et l'importance du thalle mycélien. L'importance de la fructification finale repose sur le bon déroulement des quatre phases ! En particulier, on suppose maintenant que la phase II de croissance mycélienne est très importante, comme elle peut l'être dans le cas des champignons saprophytiques qui doivent coloniser parfaitement les substrats pour pouvoir bien fructifier. Les sporophores se formeraient essentiellement au dépend des matériaux cellulaires préalablement « stockés » dans le mycélium. Plus de mycélium => plus de réserves => plus de fructifications possibles. Par ailleurs, la fructification rapide demande un transport d'eau rapide, qui n'est possible que si le réseau de mycélium est suffisamment dense pour pouvoir collecter et transporter beaucoup d'eau. L'eau provient probablement en grande partie du sol et en moindre quantité de l'arbre lui-même.

1 Développement des mycorhizes
 (Plusieurs mois, du printemps à l'automne)

Une nouvelle mycorhize se forme quand du mycélium de cèpe entoure une jeune radicelle et pénètre à l'intérieur de celle-ci. Le mycélium provient au départ d'une autre mycorhize, déjà installée sur le système racinaire du même arbre ou d'un arbre voisin.

Ainsi des arbres déjà mycorhizés peuvent servir de vecteurs de mycélium pour de jeunes arbres voisins. Les techniques de reboisement doivent en tenir compte.

Apports de sève et conditions climatiques favorisant à la fois les croissances racinaire et mycélienne.

2 Croissance mycélienne
 (Plusieurs mois, du printemps à l'automne)

Chaleur

Optimum : 18-25°C
Humidité régulière

3 Initiation fructifère
 (quelques heures à 2-3 jours)

Pluie

Sol noyé, peu de temps

4 Fructification
 (de 7 jours en sol chaud à 20 jours en sol frais)

7°C à 27 °C maxi
Humidité + aération

Le grossissement des sporophores repose sur un transport rapide d'eau et d'éléments nutritifs par les filaments mycéliens.
A cet effet, le réseau de mycélium doit être dense et trouver à la fois de l'oxygène (respiration du mycélium) et des réserves en eau.

La gestion doit favoriser la porosité des sols et la présence de matière organique qui stocke l'eau.

1 Développement des mycorhizes

Observations de terrain (André Fortin, Laurent Rigou, Vincent Pontois, Jean Rondet)
 Sol d'un verger de châtaigniers en Dordogne – Programme Micosylva+
 Photo : Nathalie Seegers



2 Croissance mycélienne

Colonies mycéliennes en boîte de pétri

Mycélium in situ (sol de Dordogne)

3 Initiation fructifère

4 Fructification

Ebauches de cèpes (2mm) en boîte de pétri. Ces primordia sont reliés à des cordons de mycélium. Photo : Jacques Guinberteau

Représentation symbolique de la croissance d'un sporophore.

Pointe du couteau

Primordia in situ (sol de Dordogne). On observe des cordons mycéliens à la base des primordia

< 1,5mm >

Sporophores de *Boletus pinophilus* (Hautes-Pyrénées) Photos : Jean Rondet



C - Ecologie des cèpes : quatre éléments principaux, en lien avec la gestion forestière

1) Les éclaircies et le rajeunissement des peuplements destinés à favoriser une bonne croissance des arbres favorisent également la production de cèpes.

Dans les peuplements réguliers, les classes d'âges assez jeunes sont plus productives que les classes d'âges supérieurs.



Dans les peuplements irréguliers, la présence d'arbres jeunes est favorable et le mélange d'arbres jeunes et plus âgés est également favorable.

Les observations et hypothèses sont les suivantes :

a) les cèpes sont des espèces à caractère plutôt pionnier (c'est à dire qui forment des mycorhizes sur des arbres très jeunes et qui commencent à fructifier sous des arbres jeunes (de 17 ans sous Epicéa commun ou Chêne rouge à une vingtaine d'années

sous Chêne pédonculé). Les fructifications peuvent être ensuite importantes jusqu'aux classes d'âges qui correspondent souvent aux âges d'exploitation (80-100 ans) mais qui, du point de vue de la physiologie des arbres, correspondent à des âges encore assez jeunes (pour exemple, le cycle sylvogénétique naturel de la Hêtraie-sapinière est de 300 ans).

b) les itinéraires sylvicoles visent à permettre une bonne photosynthèse des arbres (grâce aux éclaircies régulières qui mettent en lumière les houppiers). La photosynthèse alimente la production de bois mais également le développement des champignons mycorhiziens.

c) la proximité de grands arbres et de jeunes arbres entraîne une concurrence pour l'utilisation de l'eau et des minéraux qui peut favoriser une forte mycorhization des jeunes arbres, en particulier par le cèpe.



d) un même mycélium peut associer les systèmes racinaires d'un grand arbre et de jeunes arbres proches (aquarelle 2). L'association des trois partenaires (le grand arbre, le jeune arbre et le mycélium de cèpe) peut être très favorable en raison de la conjonction des raisons suivantes : arbres jeunes bien mycorhizés, cèpes bien présents sur les systèmes racinaires des arbres jeunes du fait de leur caractère pionnier, apports conséquents de sève élaborée par les grands arbres qui permettent des fructifications abondantes de champignons à sporophores de bonne taille.



Peuplement régulier d'épicéas (*Epicéa commun*) au Mont Aigoual. Ces peuplements demeurent productifs en champignons (*Boletus edulis* notamment) mais avec une productivité moindre que celle de peuplements plus jeunes.



Ces chênes, âgés d'un peu moins de 100 ans produisent des quantités encore importantes de cèpes. Cependant, le sous-étage de Sapin pectiné (en arrière-plan sur la photo) apporte des conditions plus favorables encore pour la production mycologique.



Pinède à Pin sylvestre à Soria (Espagne), très productive en cèpes, lactaires délicieux et nombreuses autres espèces recherchées. Le sous-étage (partiel) de Chêne tauzin apporte une présence d'arbres jeunes à proximité d'arbres plus âgés.



1- Une production de cèpes sous jeunes résineux a été observée durant les années 80 à 2000 dans les plantations subventionnées par le fond forestier National (FFN). Les pousses démarrent vers 17 ans après la plantation, sont très importantes souvent entre 17 ans et 30 ans, deviennent faibles ensuite et même très faibles après éclaircie. C'est d'ailleurs un contre-exemple de l'effet généralement favorable des éclaircies.

2- Les habitats associant arbres d'un certain âge et très jeunes arbres se révèlent favorables aux fructifications de cèpes.

2) Une « rupture de perméabilité » dans les horizons superficiels de sol favorise l'initiation de la fructification

Cette rupture entraîne l'accumulation provisoire d'eau dans les horizons de surface qui abritent l'essentiel des mycorhizes et du mycélium. La formation d'une lame d'eau entre un horizon perméable et un horizon moins perméable situé en-dessous favorisent « l'initiation fructifère ». En fait c'est la succession d'un court épisode d'ennoyage du mycélium et de la phase de réoxygénation du sol (après ressuyage) qui modifie la physiologie du mycélium et l'oriente vers la fabrication des ébauches de champignons.

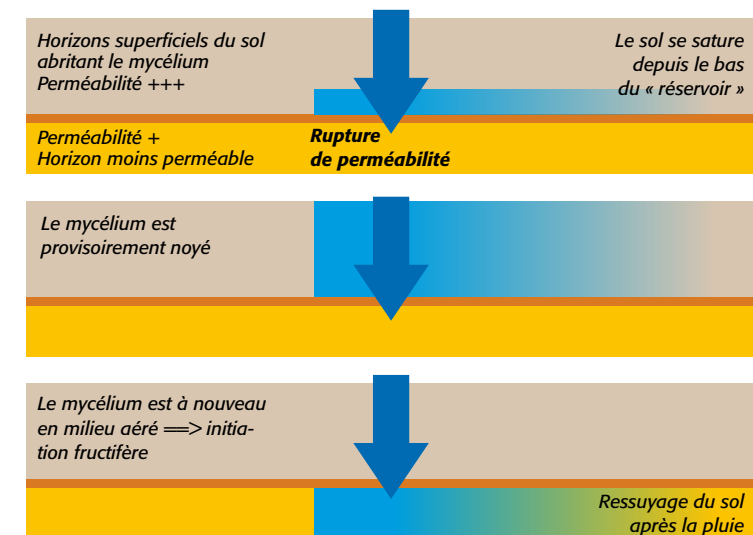


Figure ci-dessus : Schéma présentant l'hypothèse d'une initiation fructifère consécutive à un épisode d'immersion du mycélium dans une lame d'eau. Une différence de perméabilité entraîne une saturation d'eau en surface du sol.

Cette hypothèse vient de la comparaison de l'action des pluies sur différents sols. Les sols qui montrent une rupture de perméabilité proche de la surface « réagissent » à une faible pluie. Au contraire, les sols qui ne montrent une rupture de perméabilité qu'en profondeur ne « réagissent » qu'à une pluie importante (schéma).

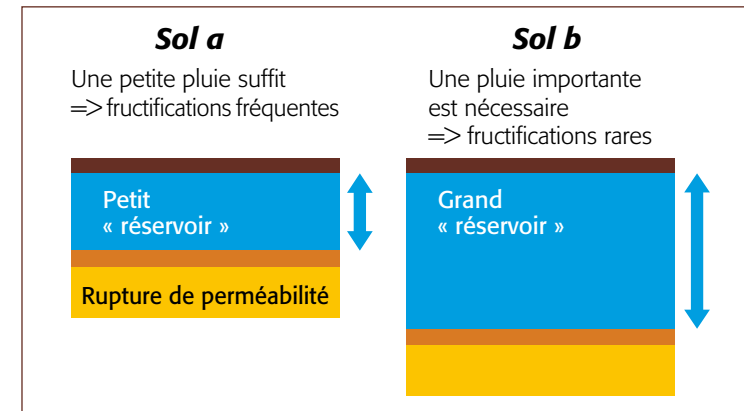


Figure ci-dessus : Représentation schématique de deux types de sols. Sol a dont l'horizon contenant le mycélium est saturé d'eau avec une petite pluie. Sol b dont l'horizon contenant le mycélium ne peut être saturé qu'à la suite d'une pluie importante.



Ci-dessus : Trois exemples de sols, montrant une rupture de perméabilité à faible profondeur. Des pluies de 10mm environ déclenchent la fructification, contre plusieurs dizaines de mm pour la plupart des sols.

Comment observer le comportement hydrodynamique des sols ?

Le « comportement hydrodynamique » d'un sol désigne la façon dont ce sol conditionne les circulations, accumulations, drainages de l'eau... Le fonctionnement des systèmes racinaires et des champignons dépend ainsi étroitement de ce comportement hydrodynamique.

Seule l'observation d'un profil de sol, en ouvrant une fosse pédologique, même de faible dimension, permet de comprendre comment le sol va se comporter au moment d'une pluie par exemple. Le cas le plus fréquemment observé est un sol constitué d'une série d'horizons ou de compartiments superposés, l'ensemble étant plus complexe qu'un unique compartiment. (Remarque : un sondage à la tarière ne permet pas de répondre aux questions posées). Une série d'observations réalisées directement sur le terrain et sur quelques sites bien choisis suffit en fait à évaluer et comprendre le comportement hydrodynamique d'un sol.

L'étape préalable : choisir l'emplacement pour creuser une fosse d'observation.

En observant l'environnement de la parcelle, sa configuration, en recherchant les secteurs homogènes et ceux qui présentent des variations importantes (de topographie, de végétation naturelle, de peuplement forestier, etc.) En localisant un site pour creuser une fosse dans le secteur qui semble le plus représentatif d'une situation donnée (une pente, un replat) ou d'un problème manifeste. En creusant une fosse à la bêche : 50cm de large et

de long, 40cm à 50cm de profondeur suffisent très souvent pour se faire une bonne idée du fonctionnement du sol pour la question des relations entre le sol, l'eau et les systèmes racinaires mycorhizés qui assurent l'essentiel de la nutrition des arbres. Bien sûr, s'il est possible de disposer d'une pelle mécanique ou de temps et de courage, on pourra approfondir la fosse pour notamment observer le système racinaire plus profond qui a un rôle parfois important dans l'alimentation hydrique des arbres.

Observer avant tout des variations entre les horizons de sol

Les changements entre les horizons d'un sol délimitent des compartiments présentant des propriétés différentes : variation de sensation en enfonçant la lame du couteau (horizon meuble, compact), d'humidité (horizon sec, frais, humide, saturé), d'enracinement (type, forme, orientation), de vides (fissures, pores, chenaux de ver de terre), de plasticité (horizon non plastique, plastique, donc plus ou moins argileux). Ces variations sont visibles à condition de parcourir toute la hauteur de l'un des côtés de la fosse, en se focalisant par exemple sur un paramètre : la couleur, ou bien la compacité par exemple : dans ce cas, on va tenter d'enfoncer son couteau depuis le haut vers le bas de la fosse et on va chercher à ressentir des variations, s'il elles existent.

Il faut ensuite qualifier ces variations : « beaucoup », « peu », « très peu », « dominant » ; Repérer où sont les limites entre les différents ensembles observés et en notant à quelles profondeurs elles interviennent : d'où l'intérêt d'une règle ou d'un repère de mesure. Estimer si ces variations sont

franches ou au contraire progressives. On détermine ainsi des compartiments ou des volumes de même propriété : par exemple un horizon ou compartiment de surface plus poreux et perméable qu'un horizon plus profond, avec une limite franche entre les deux. Il est intéressant de noter ces variations avec son propre référentiel et son propre vocabulaire si nécessaire et faire un petit croquis avec les explications à côté. Prendre des photos. A chaque compartiment ou horizon peuvent être attribuées des caractéristiques de mouvement de l'eau : rapide, lent, localisé dans quelques fissures, généralisé dans toute la matrice, engorgement temporaire etc. C'est le traçage de ces mouvements dans l'ensemble du sol permet alors de comprendre son comportement hydrodynamique.



Exemple d'un sol de montagne dans le domaine de la Hêtraie-sapinière.



a : profil de sol montrant les horizons de sol et l'enracinement.
b : limite entre horizons de surface très riches en humus et horizons minéraux. Malgré la variation de couleur, on notera qu'il n'y a pas de discontinuité en terme de perméabilité.
c : démonstration en public par Laurent Rigou, pédologue.



Fonctionnement hydrodynamique :

Le sol présente une perméabilité élevée sur une profondeur supérieure à 100 cm, accompagnée d'une porosité très développée, à pores de dimensions importantes. Il en résulte des flux hydriques rapides, tant lors de la phase d'infiltration que lors de la phase de transfert. Les flèches bleues de la figure de la page suivante illustrent ces transferts d'eau verticaux et horizontaux.

La quantité de matières organiques accumulées dans l'épisolum humifère joue un rôle charnière dans le fonctionnement hydrodynamique du sol :

en cas de pluie ou d'apport hydrique latéral, on pourra constater une diminution sensible de la vitesse d'infiltration de l'eau dans les secteurs de plus forte accumulation de matières organiques, d'où une saturation plus longue et plus intense de l'épisolum ; dans le cas contraire, c'est-à-dire en cas de faible accumulation, l'assèchement de l'épisolum sera plus rapide. Ce phénomène sera également constaté dans le cas d'une couverture herbacée ou arbustive développée. Dans les secteurs de forte pente, tout obstacle au ruissellement de surface contribuera à une alimentation hydrique régulière de l'épisolum par diminution des vitesses de transfert.

Ce schéma synthétise maintenant les observations de terrain, de manière très détaillée.

- Les informations importantes, en lien avec le thème, concernent :
- La porosité et la perméabilité (homogènes ici de 0 à - 100 cm de profondeur).
 - La densité racinaire : importante jusqu'à - 40 cm. Des racines étant encore bien présentes jusqu'à 60 cm.
 - La contribution de chaque horizon à la Réserve Utile Maximale.
 - La Réserve utile totale (RUM totale).
 - L'absence de rupture de perméabilité, avant 100 cm de profondeur.

RP 2008	limite inf. (cm)	type limite	horizons	texture	structure	densité racines	compacté	EG %	hydrom.	porosité	perméabilité
OLnOLv(Ofr)	0					++	0	<1	0	++++	++++
A1	1-7	ondulée		AI	biomacro	+++	+	<1	0	++++	++++
A2	8-10	plane		LAS	biomacrojuxta	+++	+	<1	0	++++	++++
Sal	30-40	plane		LnS	fluffy	++++	0	5-6	0	++++	++++
C	60-65	plane			polyédrique émoussé	++	0/+	10-15	0	+++	+++
M	160	ondulée			polyédrique émoussé	+	+	8-10	0	+++	+++
IRca						0	roche cohérente			0	0

RP 2008	limite inf. (cm)	type limite	horizons	rupture	type rupture	contribution RUM	capacité drainage	contribution RUM (mm eau/cm)	RUM / horizon	RUM totale (mm)
OLnOLv(Ofr)	0					oui	↓			
A1	1-7	ondulée			oui	1,8		1,8 à 12,6		
A2	8-10	plane			oui	1,8		1,8 à 16,2		
Sal	30-40	plane			oui	1,8		32 à 48		
C	60-65	plane			oui	1,8		32 à 56		
M	160	ondulée			oui	1,8	160			
IRca				plancher	non				268	

Comment utiliser des tensiomètres pour connaître les variations d'humidité d'un sol ?

Nous avons vu dans les pages précédentes que l'observation d'un profil de sol permet de prévoir le comportement d'un sol vis à vis d'une pluie et vis à vis de la circulation latérale de l'eau en fonction des pentes.

Cette observation est nécessaire.

Cependant, il est intéressant de vérifier les hypothèses formulées en positionnant dans le sol des sondes tensiométriques.

Les sondes tensiométriques vont réagir aux variations d'humidité du sol et témoigner ainsi des mouvements d'eau dans le sol.

Les photos de la page suivante illustrent l'utilisation de sondes tensiométriques dans une hêtraie-sapinière pyrénéenne.

Une première question qui se pose est celle de la profondeur de positionnement de la sonde.

Il s'agit bien sûr de faire en sorte que cette sonde soit positionnée au plus près du phénomène biologique que l'on souhaite étudier. Si nous souhaitons comprendre l'action de la pluie sur les fructifications de champignons, nous devons positionner les sondes au plus près des systèmes racinaires mycorhizés et des mycéliums. Cela revient à installer la sonde dans les premiers 20 cm de sol et parfois même dans les premiers 10 cm.

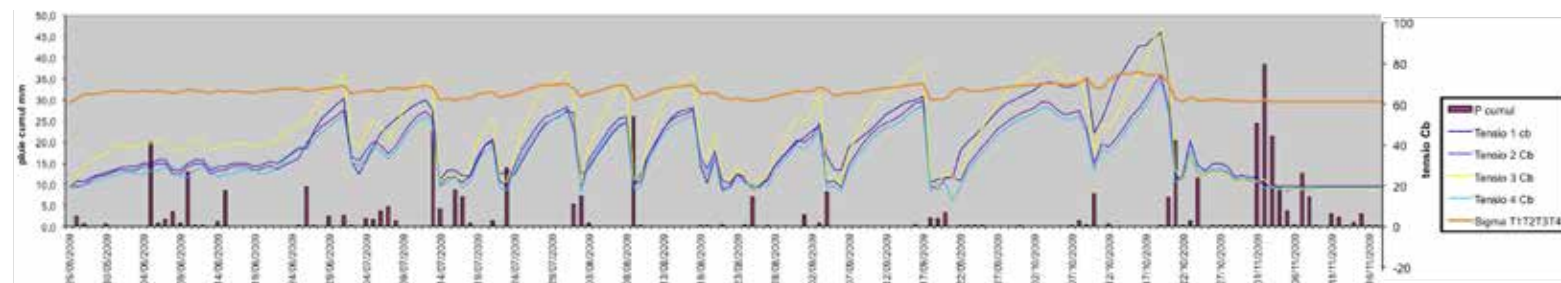
Le sol de la forêt représentée sur les photos est celui qui a été décrit précédemment (pages 36 et 37). Il ne présente pas de rupture de perméabilité et les racines fines mycorhizés s'étagent sur au moins 20 cm (même si elles sont plus denses dans les premiers 10 cm).

Par ailleurs, les transferts d'eau sont assez rapides dans ce type de sol et ainsi le niveau d'humidité du sol s'égalise rapidement dans le sol. Le choix a été fait dans ce cas d'installer les tensiomètres entre -20 cm et -30 cm. Ce niveau de sol représente un bon compromis entre les différents niveaux de sol qui vont participer aux phénomènes biologiques

que nous souhaitons comprendre. Cependant, il est possible d'enrichir les observations en positionnant les sondes à deux niveaux de profondeur, par exemple entre -5 et -15 cm, puis entre -30 et -40 cm ou encore à trois niveaux.

Une deuxième question est celle du nombre nécessaire de tensiomètres pour donner une valeur représentative de l'humidité d'une parcelle qui peut faire un hectare ou beaucoup plus.

Si le sol est relativement homogène sur une parcelle et que la structure du peuplement est également assez homogène, l'expérience montre qu'un petit nombre de tensiomètres (5 par exemple) suffit à établir une valeur moyenne correcte de l'humidité du sol. Le graphique ci-dessous montre que les quatre tensiomètres utilisés dans une expérimentation menée dans la même hêtraie-sapinière évoluent de manière parallèle à la suite des pluies ou des périodes de dessèchement. (La courbe orange montre les variations de l'écart-type de la série des 4 tensiomètres. Ces variations sont faibles).



Graphique montrant une évolution parallèle de quatre tensiomètres placés dans le sol d'une forêt de Hêtre et Sapin pectiné (cf. texte).

Utilisation de tensiomètres pour comparer l'effet des structures forestières sur le bilan hydrique des sols

Il est possible de comparer les évolutions tensiométriques sous deux peuplements différents.

Il peut être intéressant de comparer un peuplement à forte densité d'arbres dans l'étage dominant avec un peuplement moins dense. En effet, des travaux menés à l'INRA de Nancy conduisent à penser que des peuplements trop denses entraînent une consommation d'eau importante, ce qui est préjudiciable en période de déficit hydrique. Ainsi, la diminution de la densité des peuplements serait l'une des voies pour adapter les écosystèmes forestiers au changement climatique.

Il semble intéressant de rechercher ainsi, dans des conditions topo-pédo-climatiques données, les structures forestières les plus adaptées pour optimiser l'eau disponible.

Pour mener une comparaison entre deux structures forestières, on peut utiliser deux séries de 5 tensiomètres par exemple et comparer ensuite les deux moyennes des deux séries.

Si nous voulons affiner les mesures, sur des parcelles de grandes dimensions, nous pouvons choisir un protocole similaire à celui qui est utilisé pour des prélèvements de sols : il s'agit de disposer ces sondes de manière systématique, en respectant toujours le même nombre de pas entre deux sondes et en parcourant la totalité de la parcelle en zig-zags réguliers. La moyenne devient très représentative à partir de douze à quinze sondes.

Pour comparer deux peuplements différents de cette façon, on prévoira par exemple deux séries de douze sondes.

1 : Mesures ponctuelles des valeurs tensiométriques. Les mesures manuelles sont assez contraignantes mais il est souvent suffisant de ne faire des mesures qu'une fois pas semaine (par exemple) en période de dessèchement progressif du sol puis ponctuellement après une pluie, pour noter la variation brusque de tensiométrie. La valeur 29 (exemple illustré par la photo) traduit un sol encore assez bien pourvu en eau. Sur une échelle de 0 à 200, les valeurs faibles signalent un sol humide, les valeurs élevées signalent un sol sec.

2, 3 et 4 : La sonde tensiométrique Watermark permet l'évaluation indirecte et calibrée de la teneur en eau du sol. C'est une sonde de type résistance électrique passive. Le boîtier digital Watermark convertit la valeur électrique de la résistance en une valeur calibrée en centibars en fonction de la température dans une plage de 0 à 200 centibars. Type de capteur : résistance électrique. Dimensions de la sonde : diamètre 22mm et longueur 76 mm.



3) Une « mosaïque » de zones « ouvertes » et « fermées » est préférable à une ouverture homogène du peuplement.

L'importance des lisière, des sous-étages et des strates herbacées et muscinale

Des habitats diversifiés au sein d'un peuplement permettent de bénéficier de la diversité des conditions nécessaires aux différents stades de fructifications de champignons. Les zones ouvertes permettent une pénétration de la chaleur (favorable à une croissance mycélienne et au fonctionnement de ce mycélium) et de la pluie (nécessaire pour l'initiation fructifère). Les zones plus protégées d'un ensoleillement direct favorisent la fructification elle-même. En effet, et alors que le mycélium peut croître ou tout au moins résiste à des températures élevées (25-30°C), on observe que des températures trop élevées dans le sol bloquent au contraire le processus de fructification (exemples étudiés : les cèpes fructifiant en été). Par ailleurs, les fructifications sont sensibles à un ensoleillement direct et à un air sec.

Un premier principe général est de chercher à multiplier les situations de lisières

Les techniques pour cela peuvent être diverses. Une pratique en taillis de châtaigniers consiste par exemple à pratiquer des **éclaircies en bandes** assez étroites. Une autre est adaptée à des peuplements diversifiés qui présentent des arbres d'avenir en faible nombre : c'est **l'éclaircie sélective avec détournage**. Le détournage, qui vise à supprimer la concurrence par le haut, est appliqué sur quelques dizaines d'arbres, tandis que le peuplement est laissé « fermé » entre les clairières créées par le détournage.

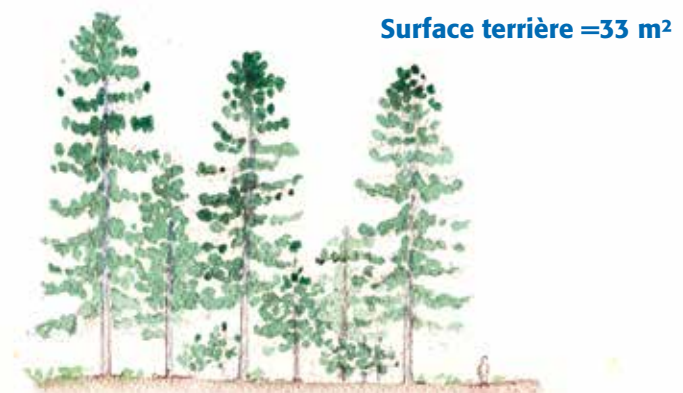
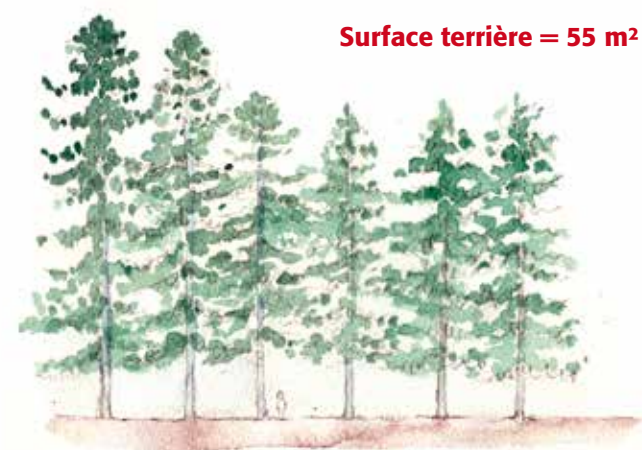
Les techniques sylvicoles pour la régénération ou la plantation peuvent être adaptées pour favoriser également ces effets de lisière. Les éclaircies de régénération de même que des plantations peuvent être pratiquées en bandes assez étroites ou en bouquets de surfaces limitées (2000m² par exemple).

Un deuxième principe est de chercher à favoriser la présence d'un sous-étage, associé à un étage dominant moins dense que ce qui était préconisé jusqu'à maintenant.

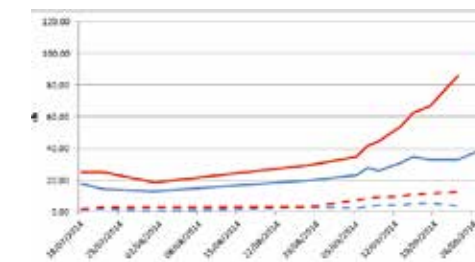
Un premier objectif en terme de production de champignons comestibles est de favoriser la pénétration des agents climatiques à travers l'étage dominant mais en protégeant cependant les fructifications par le sous-étage.

Un deuxième objectif s'intéresse à la fois à la production des champignons et à la question de l'adaptation nécessaire des forêts au changement climatique. Il s'agit d'améliorer globalement « l'économie de l'eau » dans l'écosystème. En effet, des travaux de l'INRA de Nancy montrent que ce sont les arbres de l'étage dominant, en forte croissance, qui consomment le plus d'eau. La gestion devrait ainsi être adaptée pour aller vers des densités moindres dans cet étage, et au profit de densités un peu plus importantes en sous-étage. Ainsi peut-on espérer améliorer le bilan hydrique dans le sol et réduire ainsi les périodes où les sols sont secs, qui peuvent entraîner des stress hydriques sur les arbres.

A l'aide de tensiomètres, nous pouvons ainsi comparer (sur des sols identiques et en même exposition) les bilans hydriques sous deux peuplements de structures différentes. Ces structures sont schématisées par **les deux aquarelles ci-contre**.

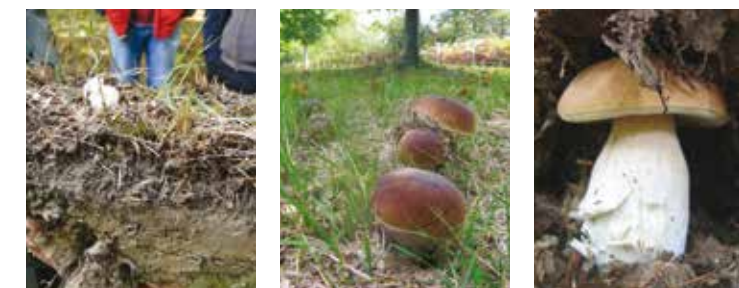


Le sol correspondant au peuplement le plus dense se dessèche effectivement plus rapidement (courbe rouge sur le graphique ci-contre) que le sol du peuplement plus ouvert (courbe bleue). Les 6 tensiomètres de chacune des deux séries de tensiomètres évoluent de manière parallèle (Les courbes en pointillés traduisent les faibles écarts-types de chacune des séries).



4) La protection du sol soit par une litière (de feuilles, aiguilles, bois mort) soit par une végétation herbacée ou muscinale représente un facteur favorable (excepté s'il s'agit d'une végétation de type prairiale).

Les observations montrent que les mycorhizes, mycéliums et fructifications de cèpe se développent bien dans une diversité de litières et d'horizons de surface très humifères. La présence de matière organique induit des conditions micro-climatiques favorables (aération, réserve en eau, hygrométrie de l'air au contact des organes fongiques, protection contre les effets directs du vent, de l'air sec, de l'ensoleillement, ...). D'autres explications, d'ordre nutritionnel, sont encore hypothétiques (comportement de type saprophytique des cèpes).



1 et 2-fructifications de cèpes se développant à partir de mycorhizes et mycéliums situés dans un horizon superficiel très humifère (= mat racinaire + herbes et feuilles de châtaigniers broyées (Dordogne).

3-fructification à « l'abris » d'une litière de feuilles (Chênaie de Dordogne)

Ecologie et gestion des lactaires comestibles



José Antonio BONET, Universidad de Lleida

Juan MARTÍNEZ DE ARAGÓN, Centre Tecnològic Forestal de Catalunya

Jacques GUINBERTEAU, INRA Bordeaux

Jean RONDET, Union Grand Sud des communes forestières.

A - Les espèces

Les lactaires du groupe *deliciosus* regroupent un complexe d'espèces appartenant à la section *Dapetes*, caractérisés par des canaux laticifères qui exudent à la cassure un latex de couleur orange à rougeâtre.

Lait orangé ou rougissant, immuable : DELICIOSINI



Lactaire couleur de saumon
Lactarius salmonicolor / *Abies* spp.

Souvent confondu avec :
L. deliciosus (*Pinus* spp.)
et *L. deterrimus* (*Picea abies*)



L. semisanguifluus
Pinus sylvestris
/ *Pinus* spp.

Sols calcicoles ou basaltiques



Lactaire délicieux
Lactarius deliciosus / *Pinus* spp.

Souvent confondu avec :
L. deterrimus (*Picea abies*)

Les espèces *Lactarius deliciosus*, *L. sanguifluus*, *L. semisanguifluus*, *L. salmonicolor* ou *L. vinosus*, sont commercialisées en Espagne sous le même nom de «robellón», «rovellón» ou «nízcalo». Leurs qualités gastronomiques ne sont cependant pas identiques.

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



Lactaire sanguin
L. sanguifluus / *Pinus* spp.

Coloration rouge très marquée

Sols calcicoles



L. cyanopus / *Pinus halepensis*



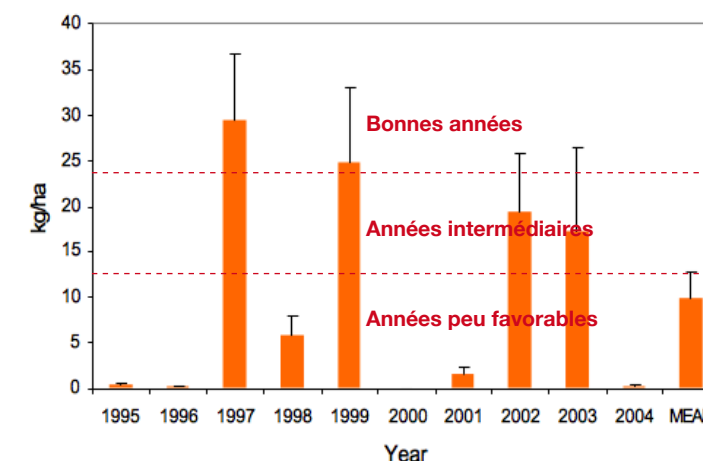
L. vinosus / *Pinus* spp.

B- Les éléments principaux en lien avec la gestion forestière

1 - Productivité des écosystèmes en lactaires délicieux.

Les productions de fructifications ont été précisément mesurées à travers des dispositifs de parcelles clôturées, en Catalogne et en Castille et Léon.

La figure ci-dessous montre les productions automnales (les principales) de lactaires délicieux dans une pinède à Pin sylvestre de Soria (Nord-Est Castille et León). On retrouve une donnée assez classiquement rencontrée dans d'autres contextes et pour une diversité de champignons : 20% d'années très favorables (Production > 20 Kg/ha/an), 20% d'années peu favorables (Production < 10 kg/ha/an), 60% d'années moyennes. La moyenne est ici de 9,6 Kg/ha/an sur 10 ans.



2 - Le cas des plantations de plants mycorhizés

En Nouvelle-Zélande, une plantation de *Pinus taeda* mycorhizés par *Lactarius deliciosus* montre une productivité très importante dès la cinquième année de plantation.

En se basant sur la production de 569 fructifications (=30 Kg) obtenue sur la parcelle expérimentale de 1000 m², il est ainsi possible d'estimer la productivité de ce type de plantation à 300 Kg/ha/an. (A. Guerin-Laguette et al.2014)

3 - Précocité de fructification, en lien avec l'âge des peuplements

Les lactaires du groupe *deliciosus* fructifient le plus abondamment dans les jeunes peuplements (de *Pinus* spp. pour la plupart des espèces comme nous l'avons vu précédemment). Il s'agit de peuplements d'âges situés entre 10 et 30 ans. Cependant, la production se poursuit, en moindre quantité, quand les peuplements deviennent plus âgés et de manière significative jusqu'à un âge de 75 ans. Ces données correspondent à des observations menées dans des peuplements réguliers, en Catalogne et en Castille et León.

4 - Les lactaires sont plutôt des champignons mycorhiziens de « stade précoce »

Chaque espèce de champignon semble associée préférentiellement à des arbres d'une classe d'âges déterminée :

- Les champignons mycorhiziens de stade juvénile ou précoce regroupent des espèces des genres *Laccaria*, *Lactarius*, *Hebeloma*, *Pisolithus*, *Paxillus*, *Suillus*.
- Les mycorhiziens de stade intermédiaire regroupent des espèces des genres *Lactarius*, *Russula*, *Hygrophorus*, *Suillus*, *Cantharellus*.
- Les genres *Boletus*, *Amanita*, *Cantharellus*, *Cortinarius* sont bien représentés dans les mycorhiziens de stades plus tardifs.

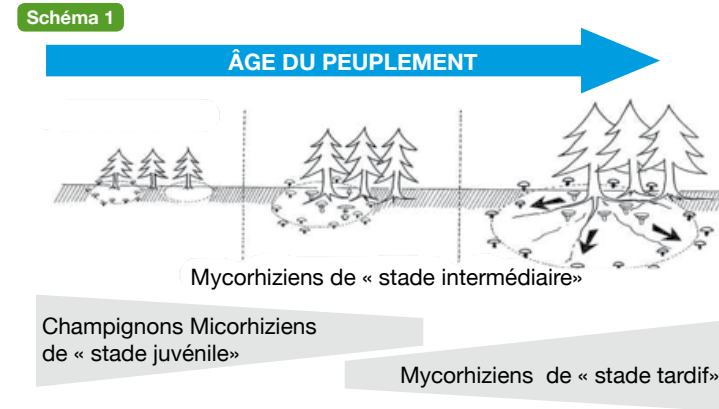
Le schéma suivant illustre la succession des espèces fongiques en relation avec l'âge du peuplement.



Schéma 1
Succession fongique en fonction du vieillissement de l'écosystème forestier. D'après Dighton et Mason.

Photos ci-dessous
Lactaires délicieux sur Pin, en pépinière
Photo J.Guinberteau.

Il s'agit bien sûr de tendances générales et une espèce donnée, comme le cèpe de Bordeaux ou le Lactaire délicieux peuvent fructifier sous des arbres d'âges très divers.



On retiendra que les lactaires du groupe *deliciosus* sont plutôt des mycorhiziens de stade juvénile. Les pins mycorhizés par ces espèces montrent d'ailleurs parfois des fructifications dès la pépinière, comme le montrent les photos suivantes.



D'autre part les plantations en pins micorhizés par les lactaires montrent également des productions très précoces. Dans l'exemple précédent de Nouvelle-Zélande, les premières fructifications apparaissent après deux ans de plantation, sous *Pinus taeda*. Par contre, dans une plantation équivalente mais réalisée à partir de *Pinus sylvestris*, il faut attendre deux ans de plus (Wang et al. 2012).

Le très rapide développement des mycorhizes de *L. deliciosus* sur les systèmes racinaires de *Pinus taeda* combiné au fait que la croissance de cet arbre est très rapide pourrait expliquer au moins en partie cette précocité.

La productivité en *L. deliciosus* de ces plantations néo-zélandaises peut être favorisée par le manque de concurrence par d'autres champignons mycorhiziens, en lien avec une diversité réduite en champignons ectomycorhiziens dans ce pays, comparé à l'hémisphère Nord. On observe cependant dans la plantation de cinq ans de *Pinus taeda* l'apparition progressive de fructifications de plusieurs espèces ectomycoriziennes (*Telephora terrestris*, *Suillus luteus*, *Suillus sp.*, *Laccaria laccata* and *Inocybe sp.*).

Malgré ce qui a été dit précédemment sur le caractère de précocité des lactaires du groupe *deliciosus*, des observations menées sur Pin sylvestre en Castille et León montrent très clairement que la productivité peut également être aussi importante dans des peuplements âgés de 75 ans que dans des peuplements jeunes. Ces observations sont réalisées dans les peuplements réguliers de Pin sylvestre, dans la pinède de Pinar grande, à Soria - CYL.

Les productions moyennes sur 10 ans sont les suivantes, par classes d'âges et en Kg / ha / an :

- 1 - 15 ans : 5, 5**
- 16 - 30 ans : 18, 5**
- 31 - 50 ans : 0,5**
- 51 - 70 ans : 3**
- Plus de 70 ans : 16**

Bonet et al. (2004) observent sous *Pinus sylvestris* des productions de *Lactarius complex* dans tous les âges, en obtenant un maximum de productions de *L. semisanguifluus* dans des bois de 75 ans. Remarquons cependant que des pins de 75 ans sont des arbres encore jeunes en réalité, du point de vue des cycles sylvogénétiques naturels.



1-Lactaires délicieux dans la pinède de Soria (Castille et León).

2-La pinède à Pin sylvestre de Soria (*Pina grande*) produit en moyenne 10 Kg de Lactaires délicieux /an /ha.

3-Sous-bois de la pinède. La nécessaire lutte contre les incendies implique ici un « nettoyage » du sous-bois malheureusement préjudiciable à la biodiversité.

5 - Relation entre la productivité en champignons et la densité du peuplement.

Si la productivité est corrélée à l'âge des arbres, elle l'est également avec le niveau d'éclaircie dans les peuplements. Des éclaircies conduisent à une diminution de la densité des peuplements.

Cette densité peut être estimée à travers une donnée assez significative qui est la surface terrière (cf. encadré ci-contre).

L'équipe du Centre Technologique Forestier de Catalogne a conduit des études sur le lien entre **surface terrière** et productivité, de façon à établir un modèle de gestion qui permette d'obtenir à la fois une croissance rapide des arbres et une production importante de champignons. Cette double production étant recherchée pour améliorer la productivité des écosystèmes et la rentabilité de la gestion. Des parcelles éclaircies avec des régimes d'éclaircies différents sont comparées entre eux et avec des parcelles témoins.



Photos
Parcelle témoin de Pinède à *Pinus pinaster* et parcelle éclaircie. (Photos J. Martinez de Aragón).



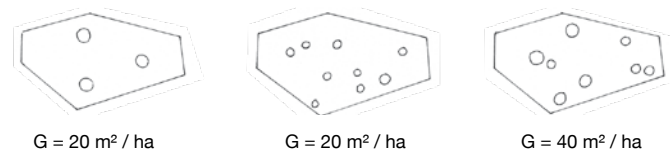
Encadré
Surface terrière
D'après le guide pratique de mycosylviculture – projet interreg amycoforest



SURFACE TERRIÈRE

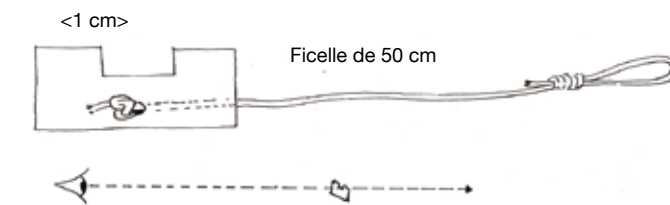
Définition

La surface terrière (G) correspond à la surface occupée par la section des troncs d'un hectare de forêt, si ceux-ci étaient coupés à 1,30 m du sol. Elle s'exprime en m²/ha. Elle combine le diamètre des arbres et le nombre des arbres.



Pour la mesurer

1 - fabriquer un « relascope », avec un morceau de carton taillé d'une encoche de 1 cm et d'une ficelle.



2 - Tenir la ficelle tendue à l'horizontale depuis l'oeil. Réaliser un tour sur soi-même, en s'arrêtant sur chaque arbre vu à travers l'encoche, qu'il soit près ou loin, gros ou petit.



Le total est égal à la surface terrière. Il est nécessaire de répéter l'estimation plusieurs fois et de faire la moyenne. Cela, d'autant plus que la parcelle est hétérogène.

Résultats : une surface terrière (G) faible représente un optimum pour la production de Lactaires délicieux, en même temps qu'elle correspond à une gestion dynamique qui permet une bonne croissance des arbres.

Par ailleurs une autre étude s'intéresse à l'intensité de l'éclaircie à partir de la situation initiale du peuplement. Il n'est pas toujours indiqué de diminuer trop fortement la densité, en une seule éclaircie, pour ne pas fragiliser les peuplements (vis à vis du vent en particulier), ne pas mettre en lumière trop longtemps les troncs (avant que la canopée ne se referme...), éviter l'explosion de la végétation herbacée et arbustive... D'autre part, si le peuplement produit avant éclaircie des champignons, il s'agit de ne pas modifier de manière trop importante le système, au risque d'une diminution de la production, au moins quelques années.

Ces expérimentations, répétées, montrent ainsi une augmentation importante de la fructification après **une éclaircie qui enlève environ 8m² de surface terrière et pendant les deux années suivant cette éclaircie.**

Quand on considère les effets des éclaircies sur l'augmentation de la production, on obtient des différences très significatives.

Les résultats ci-contre illustre l'un des très nombreux exemples de démonstrations de ce phénomène.

Comment interpréter cet effet très marqué des éclaircies ?

En réalité, cette productivité améliorée en lactaires accompagne une augmentation générale de la production en fructifications de toutes les espèces. L'amélioration de l'activité photosynthétique explique sans doute pour une part cette augmentation par

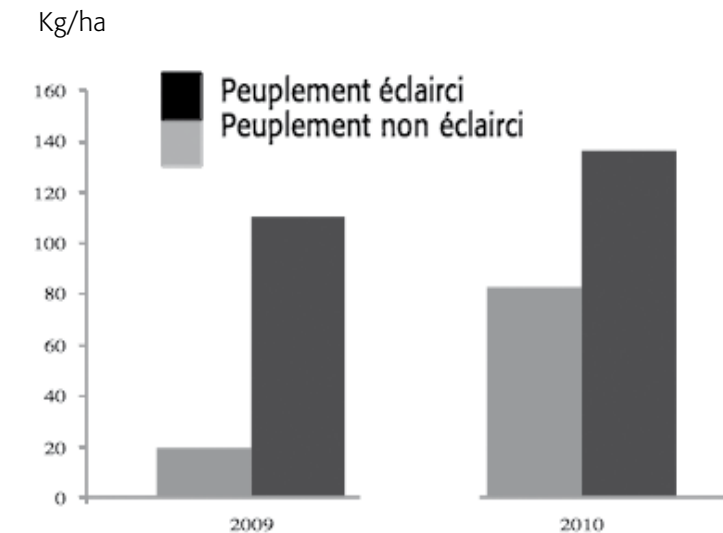


Figure ci-contre
Effet d'une éclaircie sur la production de *Lactarius complex* dans un peuplement de *P. pinaster* durant les années 2009 et 2010. L'éclaircie a été réalisée en 2009 (Bonet et al., 2012).

l'effet d'une meilleure nutrition des champignons mycorhiziens en hydrates de carbone (sucre,...). Une autre explication tient à une meilleure « activité » du sol (activités microbiennes, turn-over de la matière organique...) dont peuvent bénéficier indirectement (et parfois directement) les champignons mycorhiziens. Une troisième explication tient sans doute à l'amélioration du bilan hydrique, par diminution de la demande en eau des arbres et par la meilleure pénétration des pluies.

Si l'amélioration du bilan hydrique reste à vérifier, par comparaison entre des peuplements éclaircis et non-éclaircis, il est indéniable que **la meilleure pénétration des pluies favorise l'initiation fructifère des Lactaires** comme elle le fait pour les Cèpes. On doit remarquer que les éclaircies doivent être sans altération du sol.



6 - Les conditions 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, en 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 Roman et Boa, 2006). Les observations scientifiques basées sur le suivi continu de parcelles permanentes, montrent également que les productions maximales de Lactaires correspondent aux stations pluvieuses et chaudes. Martínez de Aragon et al. (2007) obtiennent une relation positive entre la production du champignon et les précipitations d'octobre. Sur le site de démonstration mycosylvicole de *P. pinaster* associé au projet Micosylva, Bonet et al. (2012) obtiennent des productions de *Lactarius complex* avec des précipitations cumulées d'août et de septembre supérieures à 100mm. En deçà les productions sont très faibles. Dans les mêmes études, il est montré que l'effet des éclaircies s'additionne à l'effet des pluies, en relation avec le fait que l'éclaircie permet une meilleure pénétration (et action) des pluies.

Remarque : il semble utile de faire pour les lactaires le même travail d'observation que celui réalisé pour les cèpes. Il serait intéressant de mesurer les effets de la pluie dans le sol, notamment dans les horizons où sont situées les racines mycorhizées et les mycéliums. Il serait possible sans doute de différencier les sols selon leur capacité à retenir l'eau provisoirement dans les horizons de surface, en lien avec les phénomènes qui permettent l'initiation de la fructification. Le comportement des lactaires est-il proche ou différent de celui des cèpes de ce point de vue ?

En Castille et León, Martínez-Peña et al. (2012) dans des parcelles de *Pinus sylvestris* à Soria, en Espagne, obtiennent un modèle prédictif qui relie la production à l'importance des pluies.

Le modèle s'intéresse à la somme des pluies 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. Le modèle nous montre que les années les moins productives coïncident avec des automnes secs et froids secs et que les années les plus productives (productions multipliées jusqu'à cinq fois) correspondent aux années humides et chaudes.

7 - 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 acides. *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 spp.*, alors que la corrélation est positive avec la teneur en argile et en limon et avec la RUM (Réservoir Utilisable Maximal).

Ce résultat semble confirmer l'importance du comportement hydrodynamique du sol, comme nous l'évoquions précédemment et la nécessité pour l'espèce de bénéficier d'une quantité d'eau suffisante dans le sol pour pouvoir fructifier. En ce qui concerne les caractéristiques chimiques des sols, les données ne sont pas assez précises pour proposer des corrélations étroites entre paramètres

chimiques et fructifications des Lactaires. On distinguera simplement les espèces plutôt acidophiles (*Lactarius deliciosus*, *L. vinosus*) et les espèces calcicoles (*L. sanguifluus* et *L. semisanguifluus*). En relation avec les sols, des études qui restent à mener sont celles des relations entre le développement des espèces et les différentes formes de la matière organique, dans le sens du travail qui est commencé au sujet des cèpes.

8 - La pente

Bonet et al (2008) obtiennent dans des forêts de *P. sylvestris* une relation négative entre la pente du bois et la production de Lactaires. La pente conditionne la disponibilité en eau et globalement la production de fructifications de champignons. Les pentes de 0 à 10% sont ainsi les plus favorables, dans les écosystèmes de Catalogne. Remarque : il faut garder à l'esprit que cette donnée est bien relative au climat général du Nord de la Catalogne. Des pentes prononcées peuvent être favorables à certaines espèces (*Boletus pinophilus*), sous climat du Nord des Pyrénées, plus humide. Cependant, en France également, les accumulations d'eau, en partie inférieure des pentes, sont favorables à des espèces plus exigeantes en eau (*B.edulis* par exemple).

9 - L'exposition

Sous climat catalan, l'exposition Nord permet aux sols d'être plus fréquemment dans des conditions d'humidité globalement favorables aux phases de la fructification (initiation fructifère et fructification elle-même). Par ailleurs cette exposition limite les épisodes de températures trop chaudes qui peuvent limiter également la fructification. On remarquera également pour ce facteur qu'il faut

éviter de généraliser cette donnée aux territoires qui connaissent un autre type de climat. Les données françaises (Nord Pyrénées, Massif Central...) indiquent que les expositions Sud sont plus favorables. Dans tous les contextes, l'exposition est un facteur essentiel à considérer, en la mettant en relation avec le climat général et l'écologie des différentes espèces.

10 - Histoire des peuplements productifs en lactaires

Les lactaires fructifient de manière très abondante dans les pinèdes naturelles ou plantées depuis le début du XX^e siècle, en lien avec l'exode rural et l'abandon des terres agricoles. Il s'agit le plus souvent des terres les moins faciles à travailler et les moins fertiles. Le contexte macro-économique ne permet plus la valorisation escomptée avec le bois. Les conditions stationnelles ne favorisent pas non plus toujours des qualités de bois optimales. Dans ces conditions, la production spontanée de lactaires dans ces écosystèmes peut représenter une ressource intéressante.

Nous voulons mettre l'accent sur le fait que des conditions stationnelles qui peuvent limiter la productivité en bois permettent souvent une productivité forte en champignons. Cela semble vrai pour les lactaires comme pour les cèpes. Il semble logique de mettre cela en relation avec le fait général que les champignons mycorhiziens ont pour fonction d'aider les arbres à s'alimenter. Moins les sols sont fertiles et plus une « assistance fongique » semble nécessaire ! Par ailleurs, les écosystèmes très productifs se caractérisent souvent par des litières difficiles à « recycler », rapport C/N très élevé et acidifiantes pour les sols (aiguilles d'Épicéa commun, aiguilles de Pins,...).

Ecologie et gestion d'*Amanita ponderosa* (Malençon & R. Heim)



Helena MACHADO, Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária em Oeiras, Braga e Elvas (INIAV)

Celeste SANTOS-SILVA, Institute of Mediterranean Agricultural and Environmental Sciences ; Biology Department, University of Évora

Jacques GUNIBERTEAU, INRA Bordeaux

A - Description de l'espèce

Il s'agit d'une espèce printanière méditerranéenne, très recherchée au Portugal. Cette espèce symbiotique est très présente dans les écosystèmes de type « montado », en association avec le chêne-liège ou le chêne-vert. Son étude permet d'aborder l'écologie d'espèces abondantes en milieux très ouverts de type « agro-pastoraux ».

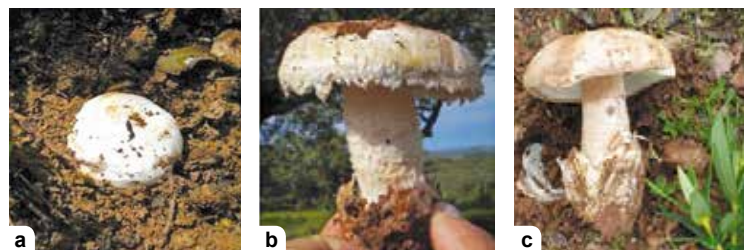
Son aire de distribution naturelle est limitée à l'Europe du sud et au nord de l'Afrique : Portugal, Espagne, France, Italie, Sardaigne et Maroc. Connue comme **gurumelo** en Espagne, elle est populaire en Andalousie Occidentale dans les provinces de Huelva, Sevilla et Cadix où elle est très abondante. 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. Cette espèce 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 20cm 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 qui se maintiennent à l'état adulte.

Du fait de 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*.

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



B - Écologie de l'espèce et facteurs qui influencent son développement et sa fructification

1 - Les relations avec les plantes

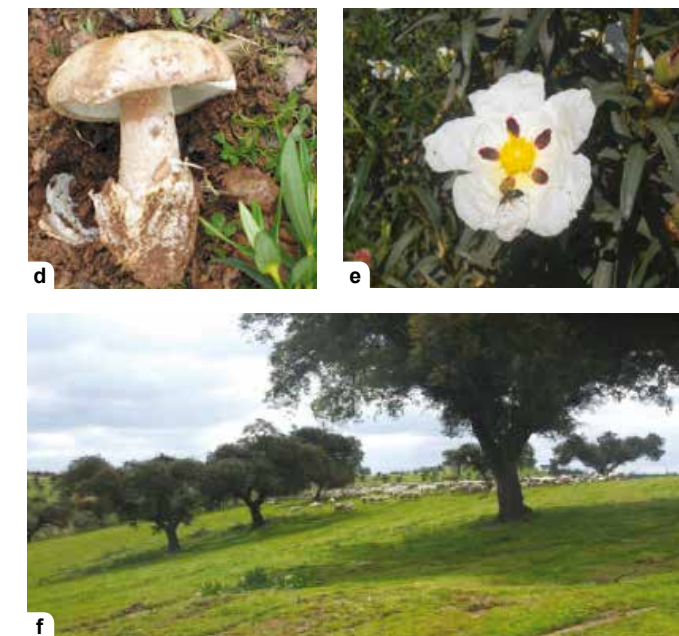
Les fructifications semi-hypogées d'*Amanita ponderosa*, difficiles à repérer, se trouvent isolées ou en groupes, à proximité des cistacées (*Cistus ladanifer*, *C. crispus* et *C. monspeliensis*) mélangées avec des chênes vert (*Q. ilex subsp. ballota*), chêne-liège (*Quercus suber*), arbousier (*Arbutus unedo*), myrtes (*Myrtus communis*), bruyères arborescentes (*Erica arborea*), philarias (*Phyllirea sp.*), et plus rarement à proximité d'eucalyptus (*Eucalyptus sp.*), pin parasol (*Pinus pinea*) ou des genévriers de Phénicie (*Juniperus phoenicea*) (Neville & Poumarat, 2004).

Cependant l'espèce est reconnue comme symbiotique des chênes. La présence des cistacées à proximité paraît avoir un rôle important ou même fondamental 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* présentent une grande abondance de cistacées (*Cistus ladanifer* et *Cistus crispus*) et quelques fois l'association paraît s'établir directement avec ces arbustes ou arbrisseaux.

2 - Les facteurs liés 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 des affleurements rocheux qui empêchent les

travaux de nettoyage des aires boisées, favorisent le développement d'*A. ponderosa*. Ils peuvent fonctionner comme « aires de protection » du mycélium et des mycorhizes, avec un rôle important dans l'accumulation de la matière organique qui conduit à une réduction de l'évaporation de l'eau. La densité de végétation doit être faible. Dans le cas contraire, la productivité est faible. La faible évolution spatiale des zones de fructification au long des années suggère que la croissance du mycélium de cette espèce est un processus très lent dans la nature (Daza et al., 2007).



a- *A. ponderosa* à l'état « d'œuf », très apprécié.

b- *A. ponderosa* devant son habitat de type « Montado ».

c- *A. ponderosa* et Ciste (*Cistus ladanifer*), plante caractéristique des habitats actuels de l'espèce fongique.

d- *A. ponderosa* et *Cistus ladanifer*.

e- Fleur de *Cistus ladanifer*.

f- Une valorisation typique des montados, l'élevage ovin, compatible avec la production d'*A. Ponderosa* et d'autres champignons, mycorhiziques et saprotrophiques.



être l'un des facteurs qui expliquent la production élevée et durable de cette espèce. La productivité moyenne atteint souvent plusieurs dizaines de Kg /ha/an dans de nombreuses parcelles.

3 - La nature du sol

Amanita ponderosa se développe de préférence dans des sols dont les horizons se caractérisent par une structure très fine et très stable. Ce sont des sols drainants mais souvent peu épais et en tous cas très caillouteux. La Réserve utile en est diminuée d'autant. En outre, la végétation spontanée (Cistes, Chêne vert,...) produit une matière organique difficilement dégradable, créant un effet de mulch sur la dynamique de l'eau.



Aquarelle
Amanita ponderosa
dans son habitat
typique de Montado
à Chêne vert.

L'espèce se récolte
également sous
Chêne liège.



4 - Les Facteurs climatiques

Amanita ponderosa a une tendance xero-thermophile, fructifie dans des régions au climat chaud et sec, avec avec une somme annuelle de précipitations 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, le mois de productivité maximale étant Mars. Une fructification est exceptionnellement possible en automne.

La productivité et la durée de la période de fructification sont dépendantes de la pluviosité et des températures (Daza et al. 2007). Une

Le diagnostic mycosylvicole d'un peuplement de Chêne vert ou Chêne vert de type Montado (milieu agro-sylvo-pastoral ouvert).

Le diagnostic met en lien des données obtenues à partir de plusieurs disciplines complémentaires :

- sciences forestières
- approche de la biodiversité (Indice de Biodiversité Potentielle)
- pédologie et pédo-climatologie
- mycologie

Experts représentés

Mycologues (a) : Jacques Guinberteau et Helena Machado (et son fils)
Pédologue (b) : Laurent Rigou
Biodiversité (c) : Laurent Larrieu
Anaïs Zimmerlin

production optimale repose sur le fait que le sol présente une bonne réserve utile et/ou qu'il reçoive environ 15 à 20 mm tous les 15 jours, pendant les trois semaines précédant l'apparition des carpophores. Des températures moyennes inférieures à 12°C, pendant la fructification réduisent les pertes d'eau du sol par évaporation et sont favorables pour la fructification.

C - La gestion durable de la ressource et des montados favorables à *A. Ponderosa*

1 - Les bonnes pratiques de récolte

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 » qui prennent en compte 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 au soleil.

Ainsi, les données récoltées par Daza et al. (2007) et Henriques (2010) montrent qu' une récolte 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 devront être faites pour vérifier cela.

Le stade de développement du champignon devrait également être pris en compte. Les cueilleurs préfèrent récolter des exemplaires jeunes à l'état d'œuf, en prétextant en particulier une meilleure conservation à ce stade. Cependant, cette espèce est peu parasitée et un exemplaire ouvert peut se maintenir en bonnes conditions pendant plusieurs jours. Il serait ainsi recommandable de récolter plutôt des exemplaires bien développés, plus faciles à détecter, plus faciles à récolter sans dégrader le sol et moins sujets à des confusions avec des espèces toxiques.

Des confusions possibles ?
Si les « anciens » ou les experts ne peuvent pas se tromper, il n'en va pas de même de personnes moins habituées qui pourraient sans doute avoir l'impression de connaître l'espèce après une seule récolte par exemple !



Photos
Différents stades de récolte d'*A. ponderosa*.

La forme en « œuf », bien qu'appréciée, devrait être évitée car difficile à récolter sans dégrader le sol et les racines mycorhizées et car elle peut conduire à des confusions avec des amanites toxiques.



Extraction d'*Amanita ponderosa* au stade « d'œuf ».



Photo
Illustration d'un problème grave de conflit entre pratiques agricoles et pratiques forestières.

Par méconnaissance du fonctionnement des arbres et des systèmes racinaires, les charrues à disques labourent le sol à 25 cm de profondeur environ à proximité immédiate des troncs des arbres.

La culture de céréales sous couvert des arbres explique pour une grande part les graves problèmes actuels de dépérissement.

2 - La gestion des montados

Si on pense à la gestion sylvicole il semble 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 est compatible avec la production de cette espèce.

3 - L'effet du travail du sol

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 n'est pas nécessairement durable.

En effet, s'il est souvent démontré que le travail du sol a un impact positif immédiat, sur la fructification de beaucoup de champignons (comme les bolets bai - *Xerocomus badius* - par exemple), cet effet n'est cependant pas durable et souvent s'accompagne d'une nette chute de production dans les années suivantes. Ainsi, la productivité observée par Daza dans des parcelles où les interventions sont fréquentes est inférieure à celle observée dans des parcelles ne connaissant aucune intervention.

Ainsi, il est fondamental que les avantages / désavantages des travaux du sol soient évalués au cas par cas, avec une tendance à respecter une faible périodicité des interventions (4 à 5 ans) et des interventions mécanisées adaptées comprenant des disquages superficiels et alternativement de simples débroussaillages. Par ailleurs, pendant la réalisation des élagages sanitaires ou en vue de l'augmentation de la production de glands, il est nécessaire de respecter des « aires de protection » sur lesquelles éviter le passage des machines agricoles.

4 - La gestion du pâturage

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 une fertilisation modérée et peu concentrée. Cela améliore le turn-over de la matière organique dans des écosystèmes déjà pauvres et de type oligotrophes.

Cependant, un équilibre doit être trouvé car *Amanita ponderosa* ne doit pas supporter de trop gros niveaux de fumure azotée ou phosphatée. Il sera nécessaire dans l'avenir de bien différencier à ce propos les effets des apports d'azote et les effets d'apports de phosphore.

5 - La multifonctionnalité repose aussi sur des arguments économiques

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 !) l'effet négatif causé par la double exploitation des « montados » associant liège et cultures sur sols labourés.



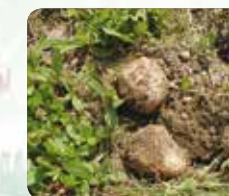
D - Quelques autres espèces comestibles importantes des montados : *Boletus aereus*, *Amanita caesaera*, *Terfezia arenaria*

L'ORONGE

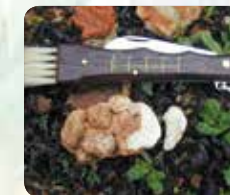
(*Amanita caesaera*)

Espèce très réputée, thermophile, fréquente sous chênaies ouvertes (Chêne vert, Chêne liège, Chêne tauzin, Chêne pédonculé,...)

Son écologie et sa gestion devraient faire l'objet d'une étude détaillée dans un prochain programme, en relation notamment avec le travail du CNRS de Montpellier (F. Richard).



Choiromyces gangliformis, autre comestible intéressant.



LE CÈPE BRONZÉ

(*Boletus aereus*),

Espèce thermophile décrite précédemment (cf. Chapitre 3 sur l'écologie des cèpes). Très fréquente sous chênaies à Chêne vert et à Chêne liège. Sa consommation et sa valorisation pourraient remplacer, selon Anabela Martins et Helena Machado, la consommation souvent exclusive d'*Amanita ponderosa*.

La récolte de cette espèce est moins agressive pour les sols (communication personnelle).

LA TERFÈZE OU « TRUFFE DU DÉSERT »

Cet espèce est associée à des plantes herbacées de la famille des Hélianthèmes. Elle a un grand intérêt alimentaire du fait de sa richesse en protéines. Elle a sans doute un intérêt touristique en lien avec son caractère mystérieux, au même titre que les véritables truffes. L'université de Murcia a développé des modes de culture intéressants (plants mycorhizés, conduite de plantation). Des applications de ces études devraient faire l'objet d'un prochain programme.

Photos : Helena Machado
Aquarelle : Jean Rondet

Deuxième partie

Jean RONDET,
Union Grand Sud des communes forestières

Nathalie SEEGERS,
Chambre d'Agriculture de la Dordogne

Laurent RIGOU,
Atelier sols, urbanisme et paysages

Guillaume ARLANDES,
Pyrénées cartographie

Fernando MARTINEZ - PEÑA,
CESEFOR



Les méthodes de diagnostic
et la gestion mycosylvicole pratique



Dix facteurs de diagnostic et de gestion

Sur la base des connaissances décrites en première partie ainsi que sur la base des connaissances forestières classiques, cette deuxième partie présente un cadre de diagnostic des forêts. Le diagnostic permettant de déduire ensuite des pistes d'amélioration.

Ce diagnostic a deux fonctions :

- Evaluer l'intérêt d'une forêt en terme de production de champignons comestibles (en considérant que de nombreuses espèces de bons comestibles ont des points communs quant aux facteurs qui favorisent leurs présences et leurs fructifications). A partir de cette évaluation, un gestionnaire peut décider de cibler des actions de valorisation des champignons comestibles sur des forêts particulières.
- Proposer un cadre de réflexion pour une gestion durable bien adaptée à une double production de bois et champignons. En effet, certains facteurs indiqués peuvent constituer des objectifs de gestion (par exemple, le gestionnaire peut travailler à améliorer progressivement des critères comme la diversité des essences-hôtes, la présence de bois mort au sol, la structure verticale du peuplement...).

Cette gestion durable doit tenir compte des évolutions du climat et les facteurs de diagnostic se réfèrent également à cette question de l'adaptation des forêts au changement climatique. Nous le signalerons dans la présentation de certains facteurs.

Le choix de dix facteurs de diagnostic et de gestion

Elaboré à partir de nombreuses observations de terrain, le cadre

d'analyse proposé met en relief dix facteurs, dont cinq sont en relation avec le peuplement forestier lui-même et avec son histoire et cinq sont liés aux conditions stationnelles.

Chaque facteur est évalué selon une notation de 0 à 5

L'évaluation tient compte à la fois de la notion de productivité mais également de celle de durabilité. En effet, certains écosystèmes favorables à une forte production de cèpes ne sont pas pour autant très durables (exemple des plantations en épicéas du Massif central). Au contraire, certains peuplements bien productifs présentent dans le même temps des critères intéressants de durabilité.

En associant ces deux notions de productivité et de durabilité dans notre analyse, nous répondons bien aux objectifs de la mycosylviculture. En effet, cette dernière propose à la fois une gestion des ressources bois + champignons et une approche innovante pour une gestion durable de l'écosystème. (La durabilité de l'écosystème signifie également la durabilité des productions qui valorisent cet écosystème !). Concrètement, certains facteurs favorisant les champignons comestibles, comme par exemple une diversité d'essences-hôtes ou encore la présence de bois mort au sol, sont également des facteurs de biodiversité et de résilience des écosystèmes.

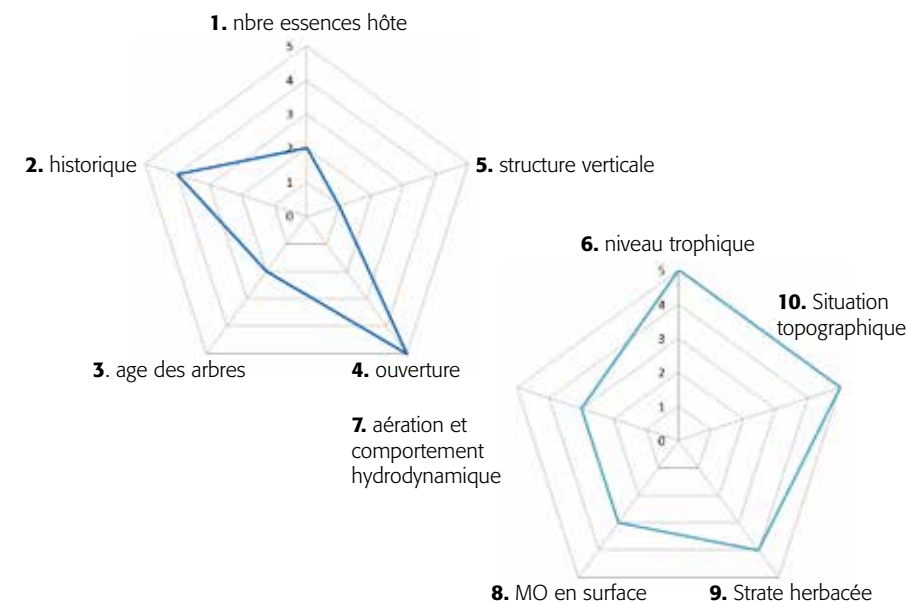
Trois points complémentaires :

- Ce guide n'est pas destiné à donner des solutions toutes faites mais plutôt à aider la réflexion. Chaque forêt est différente et chacun peut avoir des objectifs de gestion différents.
- Il sera impossible d'obtenir une note de 50/50 sur une parcelle donnée. De la façon dont les critères sont proposés, certains d'entre eux ne sont en effet pas compatibles. Par exemple, on ne pourra

pas espérer sur la même parcelle une note de 5/5 en ce qui concerne la M.O. et une note également maximale sur le critère de la flore herbacée ou muscinale.

- L'évaluation notée de chaque critère sera utile au gestionnaire pour estimer ensuite si tel ou tel critère lui semble pouvoir être amélioré, en fonction de l'écosystème, de ses objectifs et de ses moyens.

Les résultats des évaluations sont traduits de façon visuelle en diagrammes de type radar.



Notion de peuplement et quelques définitions

La caractérisation d'une forêt repose notamment sur la description des arbres qui la composent. Cette description est réalisée non pas arbre par arbre mais par populations d'arbres.

Les peuplements peuvent être qualifiés de différentes façons :

- **Artificiel ou naturel** : peuplement issu de régénération artificielle (semis ou plantation) ou bien de régénération naturelle.
- **Pur ou composé** : une seule essence ou plusieurs.
- **Mélangé** : peuplement formé de tiges appartenant à deux ou à plusieurs essences, soit toutes feuillues, soit toutes résineuses, dont aucune n'atteint le seuil de pureté retenu (en général couvert supérieur à 75-80%). Le mélange peut être organisé pied à pied, par bouquets, par parquets, par lignes, par étages... ;
- **Mixte** : peuplement composé à la fois de feuillus et de résineux ;
- **Irrégulier ou régulier** : peuplement formé de tiges de taille (hauteur, grosseur) et d'âges nettement dissemblables ou bien le contraire.
- **Étagé** : peuplement dans lequel les cimes des arbres forment deux ou plusieurs étages superposés ; (le contraire = simple).
- **Élémentaire** : plus petite partie d'un peuplement forestier, homogène du point de vue de la composition et de la structure susceptible d'être identifiée par le regard humain. Peut varier de quelques ares à un maximum de 25 ares pour la détermination d'un type de peuplement donné. Les peuplements élémentaires peuvent faire l'objet de regroupements synthétiques.

Notion de station forestière

Une station est une étendue de terrain de superficie variable (quelques m² à plusieurs dizaines d'ha), homogène dans ses conditions physiques et biologiques : mésoclimat, topographie, géomorphologie, sol, composition floristique et structure de la végétation spontanée. Une station forestière justifie, pour une essence déterminée, une sylviculture précise avec laquelle on peut espérer une productivité comprise entre des limites connues.

Les essences-hôtes

(voir également les informations données dans la première partie en pages 24, 27, 31)



Aquarelle
Exemple de situation notée 5.
Exemple fréquent en Massif-Central

Photo
Exemple de situation notée 3 :
Futaie de Pin sylvestre et sous-étage de Hêtre (Vallespir – Pyrénées orientales)

Note 0 : aucune essence-hôte.

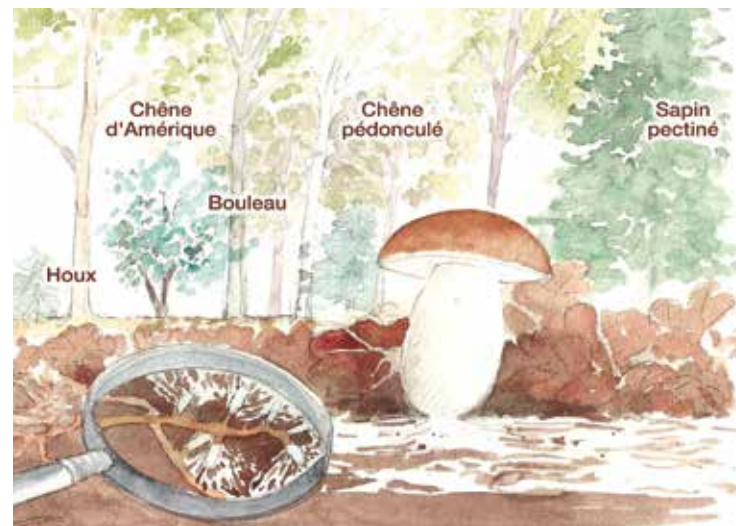
Note 1 : une essence-hôte.

Note 2 : deux essences hôtes, pas d'essence résineuse.

Note 3 : 2 essences hôtes avec au moins 1 essence résineuse.

Note 4 : 3 essences-hôtes au moins, 1 résineux + 1 feuillu au moins.

Note 5 : 3 essences-hôtes au moins, 1 résineux + 1 feuillu au moins + une ou plusieurs essences d'accompagnement bien représentées (> 10% des sujets de plus de 10cm de diamètres) + au moins 50% des arbres correspondant à des essences autochtones.



Note 5 : Cette notation donne une « prime » à la diversité et à la présence d'essences bien adaptées naturellement aux conditions stationnelles. Toutefois, le changement climatique impose une réflexion sur la question de l'adaptation des essences à des conditions stationnelles qui changent.

Note 4 : Trois essences-hôtes dont au moins une essence résineuse et une essence feuillue. Cette situation est en général plus intéressante en terme de durabilité, notamment à travers une meilleure qualité des litières mélangées de feuilles et d'aiguilles qui donnent des formes d'humus plus intéressantes. La présence de plusieurs essences-hôtes en mélange est une meilleure garantie pour une production plus régulière de champignons. En effet, dans les peuplements mélangés, un même mycélium du champignon recherché relie en général les systèmes racinaires de plusieurs arbres, d'essences différentes donc dans ce cas de figure. Or, les facteurs climatiques propres à une année particulière conditionnent directement le développement des espèces fongiques à travers le climat du sol mais également indirectement à travers leurs impacts sur les essences-hôtes. Si le climat affecte l'une des essences-hôtes, les autres essences pourront être mieux adaptées cette année là. Le mélange est ainsi plus « souple » dans sa capacité d'adaptation aux conditions climatiques d'une année.

Note 3 : Deux essences-hôtes dont au moins 1 essence résineuse. D'une manière générale, les essences résineuses sont plus productives que les essences feuillues. Certains mélanges de deux essences résineuses sont particulièrement productifs : Sapin pectiné + Pin sylvestre (exemple de peuplements du Massif Central dans la Margeride).

Note 2 : Deux essences-hôtes feuillues présentes. Dans le cas d'une seule essence productrice associée à une essence « vectrice » de mycélium comme le Bouleau (cf.explication au point suivant), le peuplement mélangé compte pour « deux essences-hôtes ».

La « composition » des peuplements

La notion de composition rend compte de la proportion des différentes essences qui constituent le peuplement principal. On parle de peuplement pur, en présence d'une seule essence (exemple : une futaie de douglas, un taillis de chêne,...). On parle de peuplement mélangé, lorsqu'il existe plusieurs espèces (exemple : une hêtraie-sapinière, un taillis sous futaie de chênes et charmes, etc.).

La notion de répartition

Cette notion complète la notion de composition et précise la distribution spatiale du mélange d'essences. En effet le mélange des différentes espèces peut se faire :

- Intimement ou « pied à pied » ;
- Par bouquet (surface inférieure à 0.5 ha) ;
- Par parquet (surface supérieure à 0.5 ha mais inférieure à l'unité de gestion telle que la parcelle ou la sous-parcelle) ;
- Par parcelle forestière complète, au sens de l'aménagiste.

Quelle répartition faut-il rechercher ?

C'est une question de compromis entre deux intérêts : celui de faire voisiner le plus souvent possible les arbres d'essences différentes afin que le même mycélium puisse être associé aux racines d'arbres d'essences différentes; celui de rationaliser les opérations sylvicoles pour gagner du temps et pour pouvoir mécaniser ces opérations. Une solution de compromis est de diminuer la dimension des parquets ou même des bouquets, jusqu'à une surface de 0,2 ha par exemple. Une autre est de concevoir des parquets ou bouquets plus longs sur une dimension et plus étroits sur l'autre, sans changer ainsi leur surface globale. L'objectif est ainsi de faire voisiner des « bandes » d'arbres d'essences différentes. Une autre solution est de border des bandes constituées de l'essence ou des essences principale(s) par des haies d'arbres d'essences secondaires mais qui apportent une contribution importante à la production de champignons. Dans tous les cas, la réflexion sur la répartition peut s'accompagner d'une réflexion sur un mélange des âges et sur la multiplication de lisières et de zones ouvertes aux effets du climat.



Page de droite

1-Aquarelle illustrant l'hypothèse sur la transmission d'inoculum de cèpes depuis une « essence vectrice » vers une essence réceptrice de mycélium.

2-Aquarelle illustrant l'hypothèse sur la transmission de mycélium depuis des essences pionnières vers des essences post-pionnières ou des dryades. Exemple : Bouleau vers Epicéa commun, dans le cas des reboisements résineux.

L'histoire du peuplement

Note 1 : peuplement issu d'un reboisement d'un sol agricole et ne comprenant pas d'essence pionnière ou post-pionnière.

Note 2 : idem mais comprenant une essence post-pionnière.

Note 3 : reboisement après coupe rase d'un précédent forestier comprenant des essences hôtes, souches laissées ou enterrées sur place.

Ou bien présence initiale de haies avec des arbres producteurs.

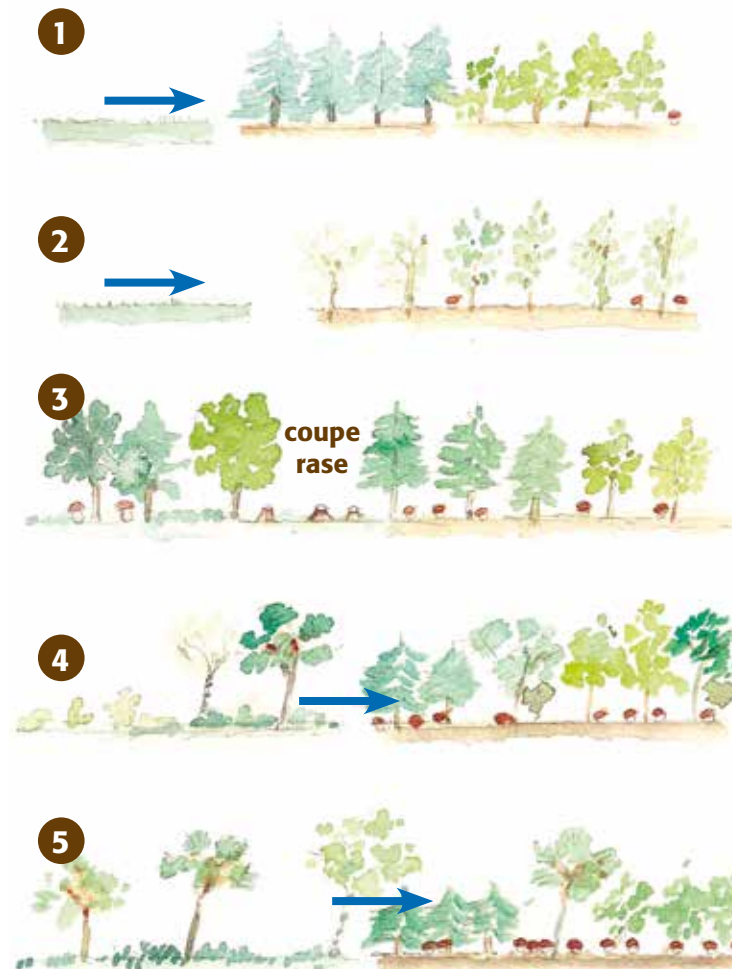
Ou bien Plantations avec essences pionnières.

Note 4 : boisement issu d'une colonisation spontanée d'une ancienne prairie ou terre agricole.

Note 5 : continuité forestière ou bien reboisement spontané ou artificiel, avec un précédent particulièrement intéressant :

Exemple de précédents intéressants pour les cèpes :

Landes à callune + Bouleau ou Bouleau/Pin sylvestre ou Pin sylvestre, Strate Myrtilier, vigne, boisement très productif en cèpes, le sol et les souches des arbres exploités ayant été préservés et des arbres de l'ancien peuplement étant restés en place pendant l'installation du nouveau peuplement.



L'origine des peuplements forestiers : notion de régime.

Les arbres peuvent se reproduire à partir de germination des semences ou par rejet de souche. De ces deux modes de reproduction, on déduit la notion de régime.

Le régime de la futaie

Un peuplement qui se régénère par semences ou par plants issus de graines (ou, par extension, marcottes, boutures, drageons) porte le nom de futaie. Cette futaie est dite naturelle si elle provient de la germination ou du développement sur place de graines, drageons, marcottes issus des arbres préexistants ou situés alentour. Elle est dite artificielle si elle est issue de semences ou plants introduits par l'homme. Dans ces deux cas, chaque individu ne comporte qu'une seule tige, ou tronc.

Le régime du taillis

Un peuplement constitué d'arbres issus de rejets de souches porte le nom de taillis. L'ensemble des rejets porté par une même souche se nomme une cèpée. L'ensemble des souches s'appelle l'ensouchement.

Le régime du mélange taillis-futaie

Un peuplement forestier composé à la fois d'arbres issus de graines et d'arbres obtenus par rejets de

souches est un mélange taillis-futaie. La forme la plus aboutie de ce type de formation végétale est le taillis sous futaie ou T.S.F.

L'importance des « essences vectrices », pour la production de champignons comestibles

Pour être productifs en champignons comestibles (cèpes, lactaires, oronges...), les arbres d'un peuplement doivent bénéficier dans leurs premières années d'un « inoculum » préalablement présent dans le sol. Il existe trois formes possibles d'inoculum dans le sol : des spores (présentes dans le sol ou apportées par le vent), du mycélium fixé sur des racines vivantes d'arbres ou arbustes présents au moment de la plantation, du mycélium associé à des racines restées en place après une exploitation préalable d'arbres. Le cas est maintenant connu pour les cèpes et à l'étude pour d'autres espèces. Dans le cas des cèpes, les racines d'un chêne peuvent rencontrer du mycélium provenant de mycorhizes déjà formées sur les racines d'une essence pionnière comme le bouleau. Le bouleau est ici appelé une « essence vectrice » de mycélium de cèpe.

La colonisation naturelle des milieux par la forêt se fait par une succession d'essences pionnières (Bouleau, Pin sylvestre...), puis post-pionnières et enfin dryades (Epicéa commun, Hêtre). Les essences pionnières auraient une capacité à s'associer aisément

avec du mycélium issu de spores, notamment de spores de cèpes.

Dans le cas d'une régénération artificielle, les conditions de « traitement » du précédent arboré éventuel, du sol et de la litière sont déterminantes pour la future production de cèpes.



1



2

L'âge des arbres

(arbres de franc-pied ou rejets de souches)
(cf. explications page 14, 22, 44)



1-Futaie régulière de chênes productrice de cèpes, en Dordogne.

2-Hêtraie-sapinière pyrénéenne. Malgré une tendance à la régularisation des peuplements, il demeure cependant des peuplements irréguliers qui offrent des habitats très intéressants notamment pour les cèpes.

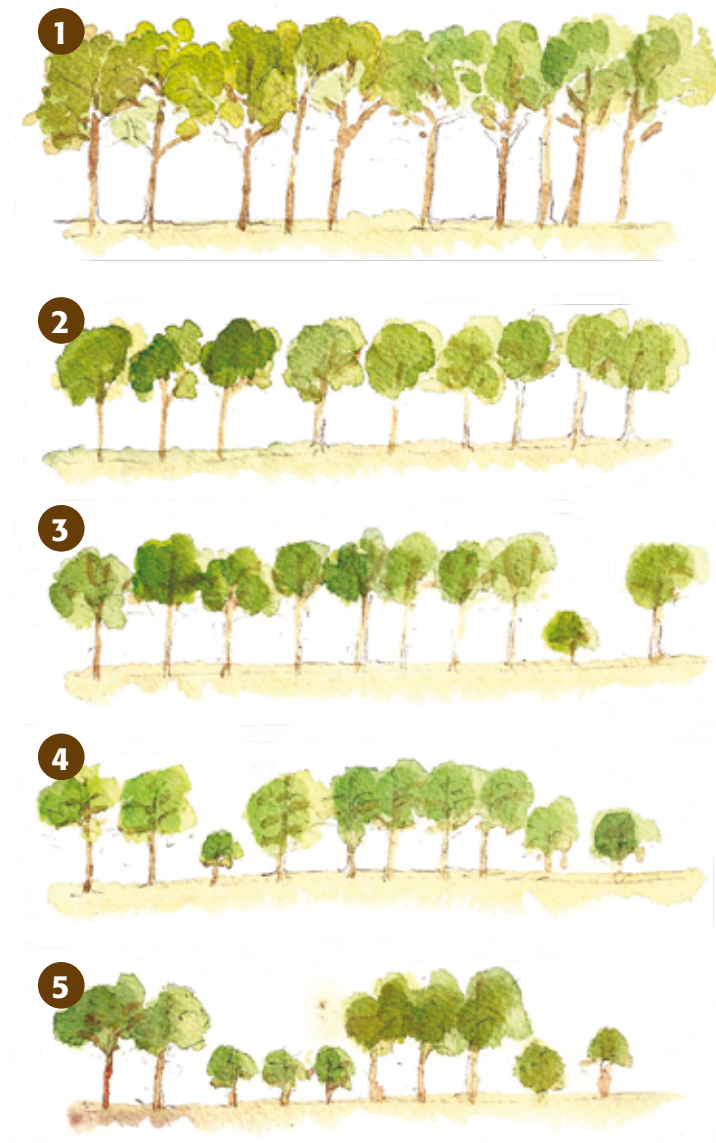
Note 1 : peuplement régulier constitué d'arbres-hôtes (ou tiges...) tous âgés de 100 ans et plus.

Note 2 : peuplement régulier constitué d'arbres-hôtes d'âge situé entre 25 et 100 ans.

Note 3 : peuplement irrégulier avec forte proportion d'arbres-hôtes situés entre 25 et 100 ans et 10 à 20% d'arbres entre 10 et 35 ans.

Note 4 : idem mais avec 30% d'arbres-hôtes de 10 à 35 ans
Cas des vergers : arbres âgés de 18 à 35 ans.

Note 5 : idem mais avec 50% d'arbres-hôtes de 10 à 35 ans.



Importance de la présence d'arbres jeunes pour les champignons comestibles.

Les lactaires sont des espèces plutôt pionnières qui peuvent fructifier sous des arbres ou arbustes très jeunes. Les cèpes peuvent fructifier sous des arbres un peu plus âgés mais encore très jeunes (*Epicéa* commun de 10 ans, exceptionnellement, dans des conditions particulières de densité, *Cistus ladanifer* de 5 ans en Espagne ou Portugal...). D'une manière générale, des habitats intéressants sont constitués par des arbres adultes (mais connaissant une bonne dynamique de croissance), proches de jeunes arbres.

Remarque : en forêts issues de régénération naturelle, la taille d'un petit arbre n'est pas nécessairement en relation avec son âge. Un arbre peut être petit et âgé si il a été dominé durant de nombreuses années ou soumis à des conditions de croissance difficile. L'observation montrera si il s'agit d'arbres en croissance significative ou non.

Le traitement du peuplement conditionne la présence d'arbres jeunes.

Le traitement se définit comme étant l'ensemble des opérations sylvicoles (coupes et travaux) effectuées dans un peuplement donné pour en assurer l'amélioration ou la régénération.

On parle de traitement régulier (« équiennne »), lorsque tous les arbres ont sensiblement le même âge. Dans ce cas, la présence d'arbres jeunes se raisonne à l'échelle de la forêt toute entière. Le gestionnaire s'emploie habituellement à ce que toutes les classes d'âges soient représentées sur l'ensemble de la forêt. Du point de vue de la production de champignons, il est intéressant de repenser les dimensions et les formes des parquets ou des bouquets de façon à multiplier les situations où des arbres déjà un peu âgés côtoient des arbres plus jeunes. C'est un raisonnement identique à celui qui peut être appliqué pour faire voisiner le plus possible des arbres d'essences différentes dans le cas de peuplements régénérés par parquets (> 0,5 ha) ou bouquets (< 0,5 ha) et comme il est expliqué précédemment.



1

On parle de traitement irrégulier (« inéquiennne »), lorsque l'on cherche à obtenir ou à maintenir un peuplement dont les arbres présentent des âges ou des dimensions différentes. Ce mode de traitement est plus intéressant pour multiplier des micro-habitats très favorables aux champignons comestibles. Si la rentabilité de la production fongique le justifie (exemple d'une productivité de 20 à 30 kg de champignons « nobles » / ha et valorisation de la cueillette à 15 euros/kg...), la gestion peut avoir pour objectif de favoriser une « mosaïque » de « micro-habitats » à champignons. Ces micro-habitats peuvent réunir à petite échelle l'essentiel des conditions les plus favorables et que nous passons en revue à travers ce guide de diagnostic en dix facteurs.



2

Le degré d'ouverture du peuplement

(cf. explications pages 22, 26, 30, 40, 46, 47)

Note 1 : peuplement fermé et d'une surface telle que les effets de lisière ne sont pas significatifs. « Fermé » signifiant qu'il existe une concurrence systématique « par le haut » entre les houppiers des arbres de l'étage dominant.

Note 3 : peuplement fermé mais avec effets de lisières significatifs ou peuplement éclairci d'une manière Homogène.

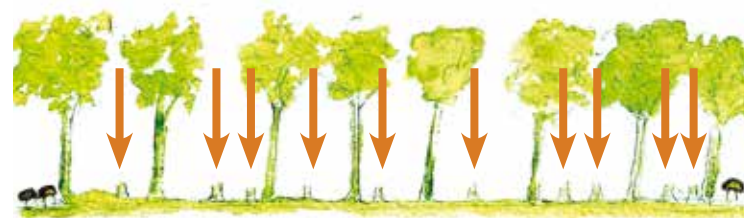
Note 5 : ouverture irrégulière du peuplement (dans l'étage dominant), des zones bien ouvertes d'au moins 6-10 m de diamètre, au moins tous les 20 m en tous sens (« zones ouvertes » = clairières ou clairières de « détourage »).

Autre cas : vergers de châtaigniers plantés avec un écartement de 10m x 10m et de moins de 40 ans environ.

Manque de pénétration des agents climatiques (sols + froids, apports d'eau insuffisants pour initiation fructifère)



Risque d'excès de chaleur au niveau du sol, de manière homogène



Diversité de micro-climats



Importance de l'éclaircie

Comme nous l'avons expliqué en première partie sur l'écologie des cèpes, ce facteur conditionne directement la pénétration des pluies qui conditionnent elles-mêmes l'initiation de la fructification. Le degré d'ouverture du milieu conditionne également le réchauffement du sol, paramètre important pour la croissance mycélienne et le fonctionnement du mycélium.

Un autre effet des apports d'eau et de la chaleur est une accélération du cycle de la matière organique. Les mycéliums de certaines espèces comestibles sont peut-être impliqués dans cette transformation de la litière.

Enfin l'ouverture du milieu favorise la photosynthèse et donc la croissance des arbres. Les mycéliums des

espèces mycorhiziques peuvent bénéficier de plus d'apports de photosynthétats.

La figure suivante montre un exemple d'éclaircie en taillis de châtaigniers (Dordogne) et symbolise les effets rappelés ci-dessus.

Importance d'une ouverture irrégulière du milieu.

Un conseil de base : maintenir des zones d'ombrage, sous lesquelles le sol ne se réchauffe pas trop !

Il semble essentiel pour les années à venir de tenir compte à la fois des déficits hydriques croissants en été et en automne et de l'augmentation des températures.

L'ouverture des milieux et notamment de l'étage dominant favorise la pénétration jusqu'au sol des pluies de faibles et moyennes importances. Cette pénétration des pluies est essentielle pour initier la fructification, puis pour soutenir une croissance des fructifications.

Cependant, le maintien d'un ombrage dans une proportion importante du sous-bois limitera dans ces zones ombragées la température du sol. La différence de température entre zones éclairées et zones ombragées est de plusieurs degrés (3-5°C). C'est un point essentiel car des températures supérieures à 25-27°C semblent par exemple bloquer le processus de fructification des cèpes (27°C pour *B.aereus* et *B.aestivalis* en Dordogne, température mesurée dans les premiers cm de sol).



Les effets de l'éclaircie sur l'écosystème et sur les champignons comestibles.
(Peuplement de châtaigniers, éclairci à gauche et non-éclairci à droite). Photo N. Seegers

La structure verticale

(cf. explications en pages 19, 40)

Note 1 : Un seul étage de végétation.

Note 2 : Deux étages sur au moins 20% surface (et moins de 50%).

Note 3 : Deux étages sur au moins 50% surface.

Note 4 : Trois étages sur au moins 50% surface.

Note 5 : Quatre étages sur au moins 30% surface.



Fig. représentation symbolique d'une structure irrégulière, dans la hêtraie-sapinière (ex. des forêts Pyrénéennes).



Notions de structure et de structure verticale

La **structure** des peuplements forestiers se définit par la répartition spatiale des arbres dans le plan vertical (stratification ou étagement des houppiers des arbres) et dans le plan horizontal.

La structure peut être régulière

Elle se caractérise alors par l'individualisation très nette d'un étage formé par les houppiers des arbres et par la dominance d'une catégorie de diamètre. Dans ce cas, le propriétaire fait évoluer une parcelle, homogène en classe d'âge, en diminuant progressivement la densité, depuis celle de plantation (1 000 à 2 500 tiges / ha) ou de régénération naturelle (50 000 semis à 1 000 000) jusqu'à la densité finale (50 à 350 tiges par hectare suivant les essences), atteinte 40, 100 voire 200 ans plus tard.

Il peut s'agir également d'une « culture d'arbres » (cas des vergers de châtaigniers, cas de vergers de plants mycorhizés), la plantation n'est réalisée qu'à une ou deux fois la densité définitive et le sylviculteur doit alors soigner individuellement chacun de ses plants, par des tailles de formation et des élagages notamment. A l'échelle de la forêt entière, le propriétaire devra s'efforcer d'obtenir un étalement, le plus régulier possible, des classes d'âges de ses peuplements, ceci afin de se garantir des revenus constants dans le temps, en bois mais également en champignons (cf. facteur « âge des arbres »).

La structure peut être irrégulière

Dans ce cas, on observe un étagement continu des arbres et la représentation de toutes les classes de diamètre, en mélange plus ou moins intime. Ce cas est représenté de manière symbolique dans le schéma de la page précédente.

Le gestionnaire recherchera donc un équilibre des classes d'âges à l'échelle de chaque parcelle, en s'assurant que les arbres les plus vieux soient suffisamment peu nombreux et loin les uns des autres pour permettre un éclaircissement du sol et assurer le renouvellement permanent du peuplement par l'installation de semis en continu. Pour ce faire, il recherchera une répartition optimale en petits bois, bois moyens, gros bois et très gros bois des individus constituant le peuplement et veillera à maintenir la surface terrière à un niveau relativement bas (de l'ordre de 15 à 30 m²/ha), suivant les espèces et la fertilité des stations et compte-tenu également de l'écologie des espèces fongiques.

Constitution des étages de végétation

Les étages sont constitués par les arbres du peuplement, d'une même essence et d'âges différents ou d'essences différentes. Les étages bas peuvent être constitués de semis de ces mêmes arbres, d'arbustes, de plantes herbacées, de mousses.

Intérêt d'une structure verticale riche

Une structure à plusieurs étages repose sur un

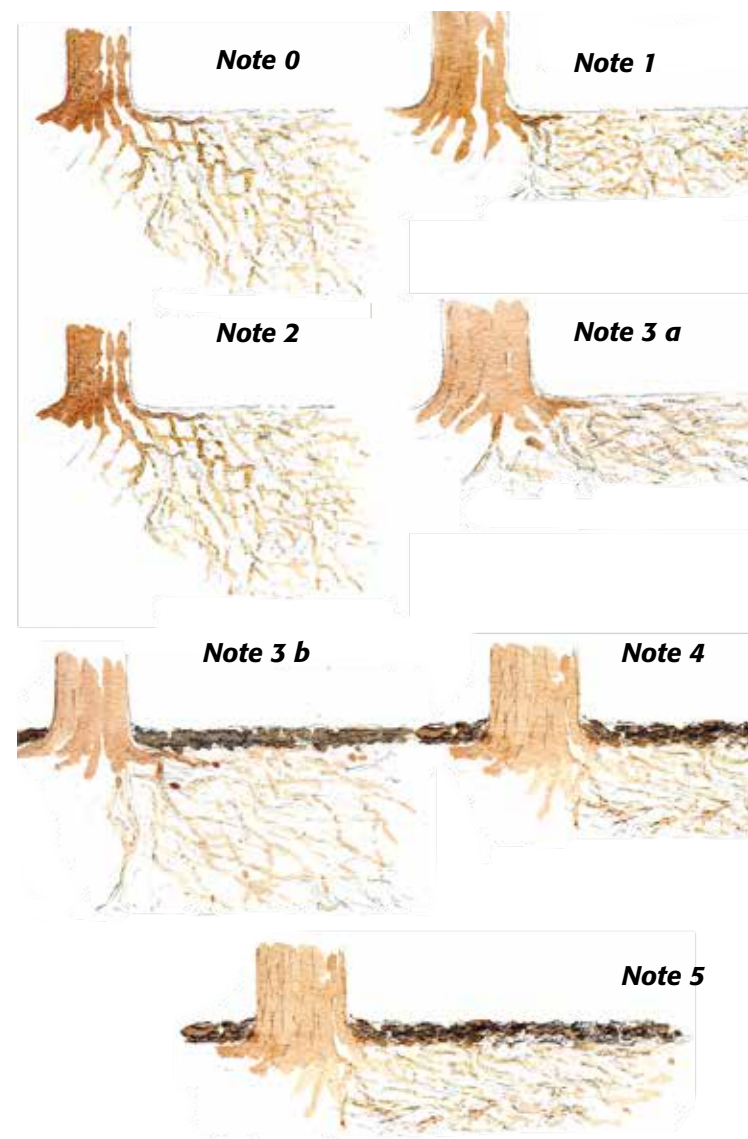
mélange d'arbres âgés et plus jeunes. Elle repose également souvent sur un mélange d'essences de lumière et d'ombre, qui exploitent mieux ainsi « l'offre en lumière » en même temps que le sol (les différentes essences n'ont pas le même mode d'exploitation racinaire ni les mêmes besoins minéraux). Elle permet d'obtenir un sous-bois à la fois éclairé et dans le même temps des plantes de sous-étages qui protègent une bonne partie du sol d'un ensoleillement direct et des vents desséchants. Ces conditions sont essentielles pour à la fois permettre la pénétration des pluies à travers un étage dominant ouvert et pour limiter la chaleur au sol qui bloquerait la fructification des champignons, notamment des espèces estivales. La fructification des cèpes d'été (*Boletus aereus* et *B. aestivalis*) est par exemple interrompue si la surface du sol connaît durant une journée une température égale ou supérieure à 27°C. Or, à conditions de température atmosphérique égales, les températures de la surface d'un sol mis en lumière et d'un sol ombragé sont différentes de 4 ou 5°C.

Enfin, il importe aujourd'hui de rechercher des structures de peuplement qui permettent d'obtenir le meilleur bilan hydrique en périodes sèches. Des travaux montrent que la meilleure solution générale est représentée par une densité modeste d'arbres dans l'étage dominant, accompagnée de sous-étage qui protègent le sol et créent une ambiance plus humide.

Niveau trophique du sol

(cf. Explications en pages 18, 26, 34)

Note 0 :	Sans Matière organique (MO) complexe Sol riche Enracinement profond
Note 1 :	Sans MO complexe Sol riche Enracinement superficiel
Note 2 :	Sans MO complexe Sol pauvre Enracinement profond
Note 3 (a) :	Sans MO complexe Sol pauvre Enracinement superficiel
Note 3 (b) :	MO complexe Sol au niveau trophique indifférent Enracinement profond
Note 4 :	MO complexe Sol riche Enracinement superficiel
Note 5 :	MO complexe Sol pauvre Enracinement superficiel



Pourquoi un sol peu fertile et riche en matières organiques complexes est-il favorable aux champignons comestibles ?

Pauvreté chimique

La plus ou moins grande richesse du sol en éléments minéraux et azotés détermine le niveau de présence et d'activité des champignons mycorhiziens. En effet, ces champignons ont pour fonction d'aider les arbres (les plantes en général) à trouver dans le sol de quoi s'alimenter. Si les sols sont pauvres, les champignons sont d'autant plus utiles et donc présents.

D'une manière générale, une faible fertilité chimique minérale des sols s'accompagne d'une forte activité des champignons mycorhiziens, lesquels ont pour fonction de mobiliser les réserves minérales et azotées présentes dans le sol mais difficilement accessibles aux racines des plantes non mycorhizées. Le nombre de mycorhizes et la densité de mycéliums sont fortes dans des sols à fortes contraintes chimiques et en particulier les sols pauvres, en relation avec le fait de mobiliser au mieux les ressources minérales solubles présentes en faibles teneurs et pour participer en outre à la mobilisation des ressources minérales peu biodisponibles pour l'arbre (fractions minérales très peu solubles, voire insolubles).

Or, nous avons vu que la quantité de mycélium était sans doute un facteur déterminant du nombre de fructifications qui allaient apparaître ensuite.

Présence de formes organiques complexes

Par ailleurs, des sols caractérisés par des formes azotées également difficilement assimilables favorisent certains champignons mycorhiziens comme les cèpes qui semblent avoir la capacité de mobiliser ces formes moléculaires. Cette hypothèse s'appuie principalement sur des observations de croissances mycéliennes dans des substrats naturels dont nous savons qu'ils sont résistants à la décomposition : aiguilles d'Épicéa commun ou de Pin sylvestre, écorces résineuses, litières d'Ericacées... (Ces matières organiques sont résistantes à la décomposition du fait de leur richesse en molécules « agressives » pour les micro-organismes impliqués dans la décomposition : polyphénols, tannins, molécules aromatiques diverses).

Cependant, des recherches sont nécessaires pour valider l'hypothèse suivante : certains champignons mycorhiziens, comme les cèpes pourraient se caractériser par un double fonctionnement : un fonctionnement de type mycorhizique bien sûr mais également un fonctionnement de type saprophytique. Ce deuxième fonctionnement s'exprimerait par un rôle actif dans le recyclage des éléments de la matière organique de la litière.

Si cette hypothèse se révélait fautive, d'autres éléments pourraient expliquer le rôle très favorable de ces matières organiques difficiles à décomposer : présence d'une micro-flore et d'une fonge sapro-

phytiques favorables à la présence des champignons recherchés comme les cèpes ou les lactaires délicieux; constitution de litières favorables d'un point de vue micro-climatique.

En associant les deux éléments d'analyse, nous pouvons estimer qu'une situation très favorable aux cèpes correspond à un sol pauvre en éléments chimiques et azotés aisément solubles et présentant des matières organiques difficilement décomposables.

Enracinement superficiel

Il s'agit essentiellement de l'enracinement en racines fines. Un enracinement superficiel en racines fines signale un ou plusieurs de ces facteurs :

- sol superficiel avec présence d'une roche imperméable proche de la surface.
- sol présentant une rupture de perméabilité, les racines fines se développant préférentiellement dans les horizons perméables de surface (cf. le facteur suivant).
- sol très pauvre chimiquement, l'essentiel de la nutrition se faisant au dépend des horizons superficiels riches en humus.

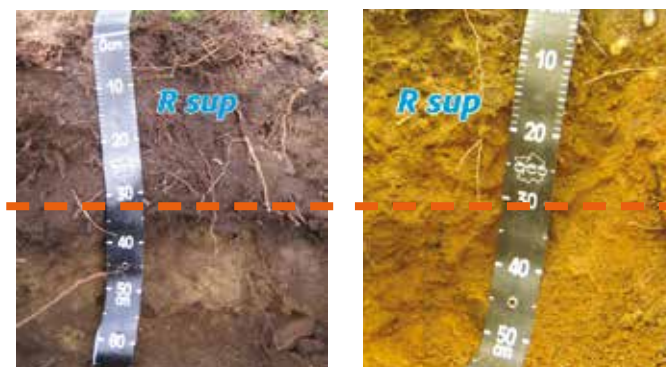
Ces conditions, difficiles pour les arbres, favorisent en premier lieu la présence et la fonction nutritionnelle des champignons mycorhiziens. En deuxième lieu, la localisation superficielle des mycorhizes et du mycélium favorise l'initiation fructifère par saturation en eau de la surface du sol (cf. facteur suivant).

Aération, comportement hydrodynamique

(cf. explications pages 34 à 39)

- Note 1 :** Absence de Réservoir superficiel (R sup)
Sol compact dès la surface
- Note 2 :** Absence de R sup
Sol épais homogène
- Note 3 :** Présence R sup
Rupture forte de perméabilité
R sup moyennement épais (10-50cm)
- Note 4 :** Présence R sup
Rupture forte de perméabilité
R sup peu épais (<10cm)
Rupture de porosité provoquée artificiellement (volontairement ou non)
- Note 5 :** Présence de R sup
Rupture forte de perméabilité entre R sup et réservoir sous-jacent
R sup peu épais (<10cm)
Rupture de perméabilité naturelle : cas d'un sol « jeune » ou sol « peu évolué »

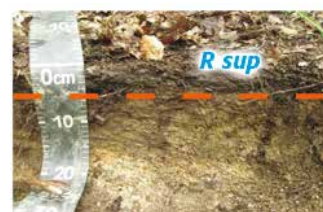
Note 3



Note 4



Note 5



— — — — — **Rupture de perméabilité**
R sup **Réservoir superficiel**

Importance des caractéristiques physiques des sols pour la vie des systèmes racinaires et des champignons

Les caractéristiques physiques du sol ont une grande importance vis à vis du fonctionnement des racines fines mycorhizés et des partenaires fongiques des arbres. L'ensemble des stades de développement des champignons mycorhiziens sont concernés.

Développement des mycorhizes et des mycéliums des espèces mycorhiziennes.

Durant l'essentiel du cycle des champignons, les mycorhizes et les mycéliums qui prospectent le sol ne fonctionnent bien que sous la conjonction de trois conditions : (i) un sol contenant de l'eau mais suffisamment ressuyé et poreux pour (ii) être aéré et pour (iii) se réchauffer rapidement par échange avec l'atmosphère extérieure au sol.

Ce sont des conditions que l'on rencontre habituellement dans des sols qui présentent une structure aérée et donc non tassée, au moins dans les horizons qui abritent les racines fines mycorhizées et l'essentiel du mycélium (selon les sols, de 5 à 30 cm d'épaisseur environ). La richesse habituelle des sols forestiers en matière organique, de même que leur forte activité biologique, participent en particulier à la stabilité de cette structure aérée.

Le besoin de ces trois conditions (eau, aération, chaleur) est simple à expliquer : (i) le mycélium est riche en eau, il doit donc la trouver dans son environnement mais, dans le même temps, (ii) il respire et demande un apport régulier d'oxygène. D'autre part, (iii) les cellules mycéliennes ne fonctionnent bien qu'au-delà d'une certaine température. La croissance mycélienne ne devient significative qu'au-delà de 15°C environ (dans le sol) et n'est importante qu'au-delà de 18-20°C. Par contre, des températures supérieures à 30°C ralentissent fortement la croissance et le fonctionnement des cellules mycéliennes.

Initiation fructifère

Nous avons expliqué en première partie que l'initiation fructifère est principalement provoquée par une pluie qui doit être suffisante pour « noyer » le mycélium. Nous pourrions assimiler un sol idéal à un réservoir dans lequel l'eau circule rapidement, délimité vers le bas par un horizon suffisamment imperméable pour ralentir l'écoulement de l'eau d'une pluie et donc limiter le départ de cette eau hors du réservoir. L'ensemble du réservoir du sol peut donc se saturer petit à petit, jusqu'aux horizons de surface qui contiennent justement l'essentiel du mycélium et une grande part des racines mycorhizées. A cette condition, accompagnée d'une durée de saturation suffisante mais non excessive, le mycélium est

« noyé » et le processus de fructification est lancé. Notons que l'eau peut également provenir de ruissellement de surface (cas des chemins par exemple). La plupart du temps, on constate empiriquement ce phénomène : quand il y a plusieurs fructifications successives (on constate cela quand la fructification dépasse la durée d'une semaine, avec plusieurs pics successifs), la première fructification (marquée par un premier pic de production) demande une pluie importante, alors que les pluies suivantes peuvent être beaucoup plus modestes. Cela s'explique par le fait que la première pluie doit remplir en quelque sorte deux réservoirs : un réservoir profond, le plus important et un réservoir de surface qui contient l'essentiel du mycélium.

Fructification

La fructification se déroulera efficacement quand le réservoir de surface se sera ressuyé : en effet, le mycélium devra respirer activement pour alimenter les fructifications en phase de grossissement. Le réservoir profond étant rempli par la première pluie importante, il suffira d'une petite pluie pour remplir le réservoir de surface et relancer une nouvelle fructification. Un « sol idéal » devra à la fois présenter une rupture de perméabilité superficielle mais également une capacité de mise en stockage de l'eau. Le réservoir inférieur peut bien sûr y participer, de même que la matière organique de surface (cf. facteur 8).

La matière organique en surface du sol

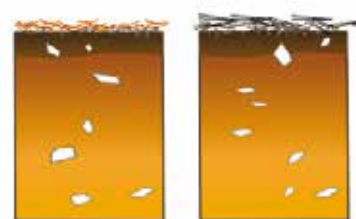
(cf. explications en pages 16 à 18, 26, 36)



Note 1 :
Litière imperméable
Peu ou pas de bois mort



Note 2 :
Litière temporaire (pas de litière
durant l'essentiel du temps)
Peu ou pas de bois mort



Note 3 :
Litière simple (aiguilles ou feuilles)
Peu de bois mort. Litière perméable
Ou bien Litière simple
+ herbacées gyrobroyées



Note 4 :
Litière mélangée (feuilles **et** aiguilles)
Peu de bois mort
Litière perméable



Note 5 :
Litière mélangée
Bois mort
Litière perméable

Note 1 : litière imperméable constituée par des accumulations de grandes feuilles, dans les conditions peu propices à la transformation de la litière en humus (mauvaise exposition, milieu fermé, conditions d'humidité excessive...). Exemple des litières de feuilles de chêne d'Amérique et de litières de feuilles de châtaignier en milieux fermés.

Note 2 : pas de litière présente durant l'essentiel de l'année (matière organique se transformant très rapidement ou emportée par une érosion éolienne ou nivale).

Note 3 : matière organique bien présente en surface sous forme de litières de feuilles ou d'aiguilles et d'horizons sous-jacents humifères bien identifiables. Pas ou peu de bois mort.

Note 4 : matière organique bien présente en surface sous forme de litières de feuilles et d'aiguilles (peuplements mélangés) et d'horizons sous-jacents humifères bien identifiables. Pas ou peu de bois mort. La présence d'aiguilles est notamment intéressantes pour les cèpes. La présence de feuilles de chênes est intéressante pour le fonctionnement des litières des pinèdes à lactaires,...

Note 5 : matière organique bien présente en surface sous forme de litières mélangées de feuilles

et d'aiguilles (peuplements mélangés) ou feuilles + aiguilles + résidus de certaines plantes intéressantes (cf. point suivant) et d'horizons sous-jacents humifères bien identifiables. Bois mort bien présent, en différents diamètres de petits bois à gros bois ou très gros bois. La présence de bois mort est importante pour la biodiversité mais également pour la constitution de micro-habitats favorables aux fructifications. Le bois mort crée des zones d'accumulation de mycélium à son contact, favorise l'initiation fructifère par formation d'une lame d'eau à la surface du bois, favorise des apports d'eau localisés le long des troncs et des branches. Il constitue des réserves d'eau.

L'origine de la litière et sa transformation en humus

En forêt, la matière organique accumulée en surface du sol correspond à la litière. La litière comprend les feuilles et les aiguilles mortes, du bois mort depuis des très petits diamètres jusqu'aux troncs de très gros arbres, les restes des plantes herbacées des sous-bois, un ensemble de formes de vie qui participent au recyclage de ces éléments provenant des arbres et des autres plantes de l'écosystème, enfin les cadavres de ces organismes. Après transformation en humus, la litière est plus ou moins incorporée au sol. L'humus constitue avec la fraction minérale du sol des horizons plus ou moins identifiables par la texture, l'épaisseur et la couleur. Des formes d'humus

différentes vont s'établir selon les conditions, la façon dont la litière est transformée et la vitesse de transformation. Le type de litière, de climat et de sol sélectionnent les organismes qui vont participer au recyclage de la litière et à la formation des humus et de leurs mélanges plus ou moins intimes avec la fraction minérale sous-jacente.

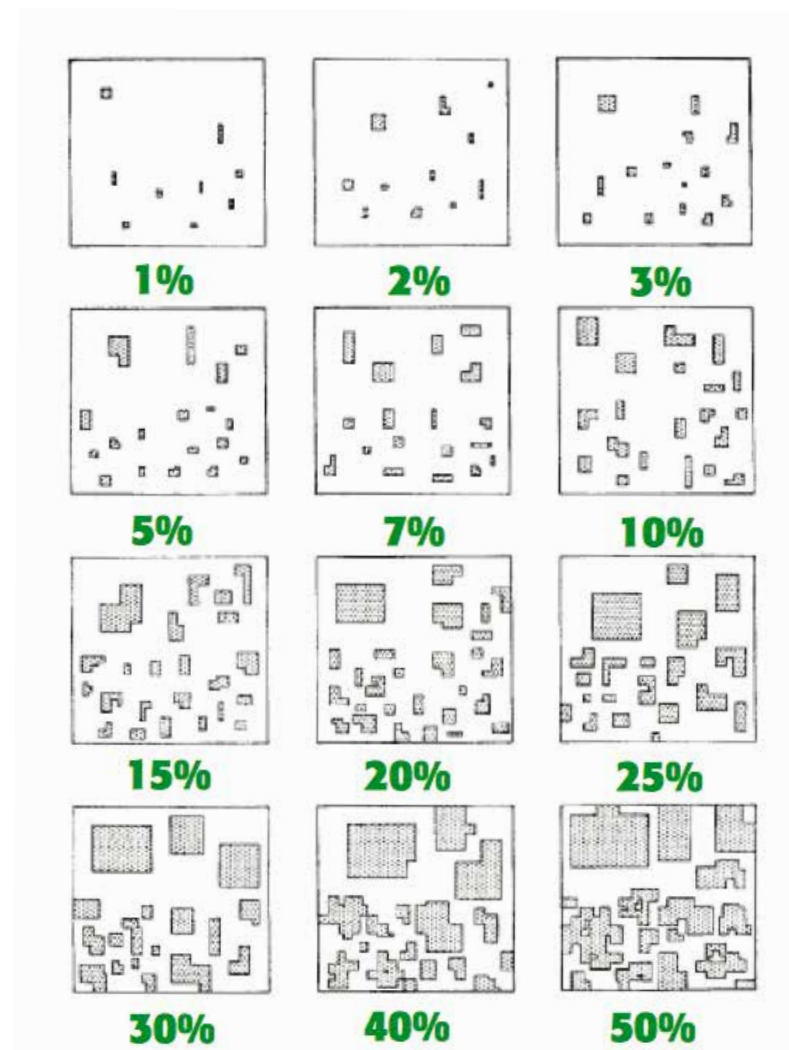
Le rôle climatique de la litière

Les horizons de surface caractérisés par la litière en cours de transformation constituent les milieux de vie préférentiels pour les mycorhizes, le mycélium ainsi que pour les stades initiaux des fructifications (petits champignons encore cachés par la litière...). Ces milieux réunissent souvent les conditions citées plus haut : ce sont des milieux généralement bien aérés et qui jouent dans le même temps un rôle de tampon thermique. Par ailleurs, la «trame» formée par les constituants organiques en cours de décomposition ou sous forme d'humus peut avoir une importante capacité de stockage de l'eau.

La litière de surface non encore transformée ou très partiellement transformée forme une sorte de mulch en surface qui protège le milieu sous-jacent d'une évaporation directe importante ou du froid. Dans le cas de certains sols, un tapis de matière organique peut constituer l'essentiel du «réservoir de surface» décrit dans le point précédent.

Les strates herbacée et muscinale

- Note 1 :** Peu d'herbacées forestières favorables
Ou densité excessive (fermeture milieu)
- Note 2 :** Espèces herbacées forestières
Recouvrement faible <15%
- Note 3 :** Espèces herbacées forestières
Recouvrement d'environ 15% - 30%
- Note 4 :** Espèces herbacées forestières
Recouvrement important > 30%
Gyrobroyage ou pâturage
- Note 5 :** Espèces herbacées forestières
Recouvrement important > 30%
Sans gyrobroyage ni pâturage



Importance des mousses

La présence d'une strate muscinale, sur une partie de la surface d'un sol de sous-bois est un élément très favorable en constituant un milieu protecteur pour les fructifications des champignons : elle les protège dans un micro-environnement riche en humidité et elle constitue une réserve en eau importante comparée aux seuls horizons humifères du sol. Il est possible que le mycélium puisse dégrader des résidus de mousses mortes mais cela est hypothétique (études québécoises concernant les chanterelles notamment).

Importance de la strate herbacée

La présence d'une strate herbacée accompagne une ouverture du milieu à la lumière, facteur dont nous avons vu qu'il était déjà important en soi en permettant la pénétration des agents climatiques en sous-bois.

La fougère aigle, vivante comme morte, protège les fructifications de l'ensoleillement excessif et du vent. En mourant et en se couchant de manière incomplète sur le sol, elle crée des « nids » (terme consacré !) de végétation qui maintiennent une ambiance à la fois humide et aérée. Il est également possible que le mycélium puisse participer à la dégradation des tiges mortes.

Dans le cas des cèpes, les bruyères (famille des éricacées) et la callune (« fausse-bruyère ») constituent

des milieux très favorables, sans doute également par la protection qu'elles assurent aux champignons en croissance. Les cèpes atteignent de grandes dimensions, avec des pieds importants, qui permettent aux champignons de traverser les épaisseurs de végétation morte (litière constituée des bruyères et callune mortes) et vivante. Des études montrent que la callune empêche le développement de mycéliums de certaines espèces fongiques (phénomène d'allélopathie). Elle permettrait ainsi indirectement de favoriser les cèpes. Il est possible que le cèpe soit encore ici impliqué dans la dégradation de la litière d'éricacées. Celle-ci constituerait alors un milieu nutritionnel intéressant pour ce champignon. Il en irait de même avec la molinie.

L'exploration scientifique de ces relations est nécessaire pour valider ces hypothèses et déduire des pistes de gestion, notamment en lien avec les conditions de reboisement.

Ces études devraient concerner les cèpes mais également d'autres espèces. Le CNRS de Montpellier a d'ailleurs entrepris des études sur les relations existant entre la truffe noire (*Tuber melanosporum*) et certaines plantes herbacées connues des observateurs de terrain et considérées comme plantes « compagnes » ou « indicatrices » de la truffe noire (Elisa Taschen, communication personnelle).

La Note 5 attribuée pour l'absence de gyrobroyage = une « prime » pour la biodiversité

Le gyrobroyage est important voire indispensable si la végétation herbacée est trop dense (concurrence pour l'eau, difficulté de récolte des fructifications...). Cependant, il est intéressant de le limiter car il accélère artificiellement la minéralisation de la matière organique. Il uniformise également les « micro-habitats », ce qui est préjudiciable à la biodiversité.

A quelle échelle de surface doit-on établir la notation proposée ici ?

Il est souvent difficile de noter ce facteur sur la globalité d'une parcelle. Les situations peuvent varier d'une zone à l'autre, en fonction de la station, de l'état d'éclairage du sol. On peut alors évaluer ce facteur à l'échelle de micro-habitats (3m x 3m par ex.) et établir une moyenne ensuite sur l'ensemble de la parcelle.

La situation topographique

(cf. Explications en pages 49 et 84 à 87)

Note 1 :

Expositions peu ensoleillées (Nord...)

Cas des écosystèmes à champignons d'automne dominants et reliefs accusés.

Ou bien

Expositions très ensoleillées

Cas des écosystèmes produisant des champignons plutôt en été et sous climat très chaud (cas de plus en plus fréquent avec le changement climatique).

Note 3 : situations intermédiaires et situations de plaine

Note 5 :

Expositions ensoleillées, protection vis à vis des vents dominants. Cas des écosystèmes à champignons d'automne dominants

Ou bien

Expositions protégées d'un ensoleillement excessif

Cas des écosystèmes produisant des champignons plutôt en été et sous climat très chaud.

Cas des écosystèmes produisant des champignons en automne mais sous climat chaud et sec (exemple des montagnes de Catalogne espagnole).

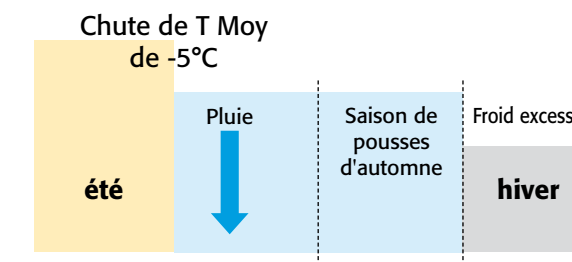
Moduler cette notation en fonction de deux critères :

- Champignons aimant l'humidité (tendance hygrophile : ex. *B.edulis*) : **Note 5** seulement pour les parcelles situées en parties inférieure des pentes et inverse pour les champignons à tendance xérophile (ex. *B. pinophilus*). **Note 3** sinon.

- Tenir compte de la micro-topographie. Un relief irrégulier au niveau micro-topographique peut multiplier les situations favorables (en terme d'expositions et de cheminements d'écoulement des eaux).

Note 5 pour les expositions ensoleillées, en montagnes françaises

En montagne et en zone de climat plutôt froid, les champignons d'automne sont limités par le froid. La période de fructification des champignons d'automne s'inscrit entre l'après « choc froid » (refroidissement de -5°C entre la moyenne des températures encore estivales (ex. 20°C) et la moyenne des températures plus automnales (ex. 15°C) et l'avant « froid hivernal » (Moy < 7°C, pour *Boletus edulis*, peut-être un peu plus froid pour *B. Pinophilus*,...). Dans l'intervalle il faut de plus une ou plusieurs pluies suffisantes pour initier la ou les pousses.



La période idéale est donc finalement souvent assez brève dans l'année. C'est surtout vrai les années où l'été dure anormalement longtemps (=> retard du « choc froid » dans ce cas) et où l'hiver arrive malgré tout assez vite avec une température moyenne passant sous la barre de 7°C citée plus haut). Dans ces conditions, on comprend que des expositions bien protégées du froid hivernal permettent

de gagner du « temps de saison automnale ». Ce gain peut s'établir à une bonne quinzaine de jours ou plus dans les parcelles les mieux exposées, c'est à dire celles qui reçoivent le plus de rayonnements solaires en automne.

Un autre intérêt des « expositions chaudes » est de permettre aux sols de se réchauffer rapidement au printemps et de permettre ainsi aux sols d'être le plus longtemps possible à des températures qui permettent une bonne croissance mycélienne des champignons recherchés (T > 17 ou 18°C pour les cèpes en général, avec un optimum entre 20 et 25°C selon les espèces et les « provenances »).

On trouvera dans le chapitre suivant des informations sur la façon de caractériser précisément les parcelles d'un territoire selon le critère de l'irradiation solaire.

Note 5 pour les expositions protégées du soleil

Pour les champignons poussant en été ou bien en automne mais en climat plus chaud et plus sec, les deux facteurs limitants sont d'une part le dessèchement du sol et d'autre part des températures trop chaudes qui bloquent le processus de fructification. Dans ces conditions, les expositions de versants Nord sont plus propices. C'est par exemple le cas pour les productions de Lactaire délicieux en Catalogne. Cela pourrait être le cas également de plus en plus

souvent en France, dans les conditions actuelles et à venir d'augmentation des températures moyennes et de déficits hydriques croissants, en été mais aussi en automne.

Note 5 pour les expositions protégées des vents dominants à effets desséchants

L'exposition conditionne également fortement le niveau de protection vis à vis des vents dominants à effet desséchant. Les litières et les premiers centimètre de sol sont très sensibles à cet effet de dessèchement. En conséquence, les mycéliums et fructifications ne trouvent plus l'humidité nécessaire.

Importance de la micro-topographie

La microtopographie est un facteur majeur dans les parcelles aux reliefs accidentés, notamment en créant des chemins préférentiels d'écoulement des eaux, des zones d'accumulation d'eau, des protection contre l'ensoleillement direct, etc

Importance de la structure forestière

Nous avons vu que la structure forestière conditionne fortement le climat du sous-bois et du sol. La notation des critères topographiques doit tenir compte de l'effet amplificateur (structure forestière qui ne protège pas le sol) ou au contraire atténuateur de la structure forestière.

Hêtraie-sapinière acidiphile, montagnarde atlantique du versant Nord des Pyrénées Parcelle d'un ha



Historique 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 stratification est satisfaisante. Plan d'aménagement géré par l'ONF, avec pour objectif la production de bois d'œuvre et d'industrie.



Flore

Un ensemble d'espèces acidiphiles montagnardes composé de *Luzula sylvatica*, *Gymnocarpium dryopteris*, *Phegopteris connectilis* et *Dryopteris remota*, caractérise bien l'alliance forestière du **Luzulo-Fagion** où prend naturellement place cette hêtraie-sapinière montagnarde. Le caractère atlantique (sous-alliance de l'**Illici-Fagenion**) est marqué par *Dryopteris affinis ssp. affinis*.

Caractéristiques du sol

L'humus est de qualité moyenne, le sol est un ALOCRISOL 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 1.60 m de profondeur. Un risque de toxicité aluminique existe en sol acide, limitant la nutrition des arbres.



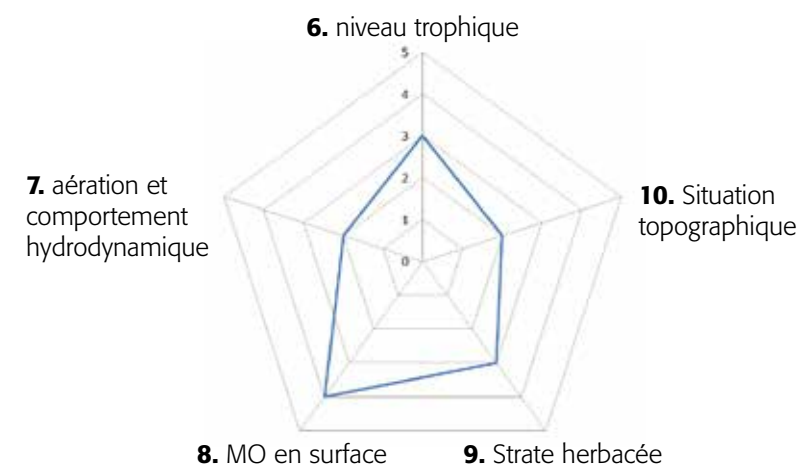
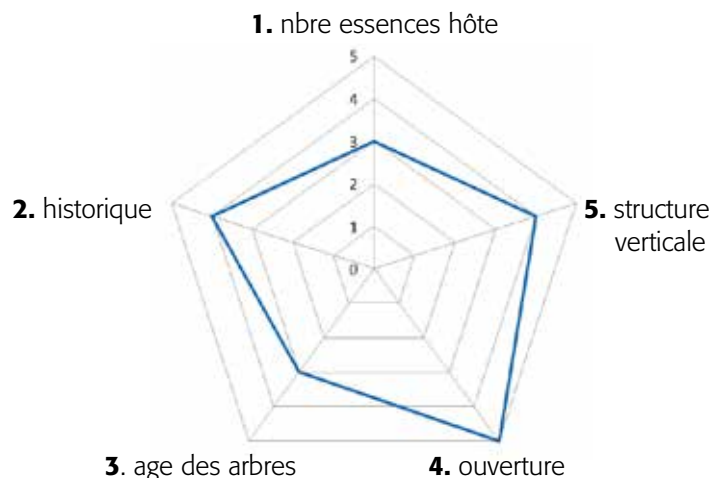
Episolum humifère, abritant l'essentiel des racines fines mycorhizées.

0 - 160cm :
Continuité en terme de perméabilité.

Pas de rupture de perméabilité avant 1,60 m en conséquence.

Production de champignons

Production moyenne de cèpes (environ 10 Kg/ha), essentiellement *Boletus edulis* (cèpe de Bordeaux).
Production intéressante de Chanterelles (*Cantharellus amethysteus* et *Cantharellus friesii*), de trompettes des morts (*Craterellus cornucopioides*, *Craterellus sinuosus*), de bolet à pied rouge (*Boletus erythropus*), de laccaire améthyste (*Laccaria amethystina*).



Notes de 18 / 25 pour le peuplement

Le bon équilibre entre les deux essences-hôtes feuillue et résineuse, qui sont des hôtes favorables aux espèces recherchées (cèpe, chanterelles notamment) et à d'autres espèces intéressantes et productives comme *B.erythropus* constituent un point fort. L'équilibre doit être maintenu dans les sous-étages. Certaines essences secondaires caractéristiques de l'habitat naturel manquent cependant. Les jeunes classes d'âges de sapins les plus productives en cèpes (20-30 ans) sont peu représentées.

Le niveau d'ouverture est favorable aujourd'hui mais la densité de l'étage dominant pourrait être diminuée, dans un objectif d'adaptation au changement climatique (surface terrière actuelle de 33 m² /ha => 25 m² par exemple). Ceci en considérant qu'il faudrait parallèlement laisser vieillir quelques arbres du fait du manque de très gros bois.

Note de 15 / 25 pour les conditions stationnelles

Deux facteurs pénalisent la productivité en champignons. L'absence de niveau de rupture de perméabilité dans le sol. (Ce facteur est cependant un facteur favorable de l'écosystème, associé à la profondeur des sols). L'exposition n'est par ailleurs pas la plus favorable, dans les conditions climatiques actuelles de la vallée de Lesponne. Une diversité de conditions d'occupation de la surface du sol (litière complexe ou bien strate herbacée) explique les notes attribuées. La matière organique de surface est assez pauvre en bois morts et cela peut être corrigé.

Verger de Châtaigniers Dordogne Parcelle de 1,70 ha



Historique et gestion du verger

A l'origine, la parcelle portait un taillis mélangé à base de bouleaux et de châtaigniers producteurs de cèpes. Les souches ont été enterrées sur place. La parcelle a connu cinq années de cultures céréalières avant la plantation du verger (variété Marigoule ou M15, en 1975, sur 1,70 ha, en espacement 10m x 12m). L'objectif initial était bien sûr de production de châtaignes = 1.5 tonnes/an. L'importante récolte de cèpes (valorisée depuis 7 ans) constitue une deuxième valorisation essentielle.

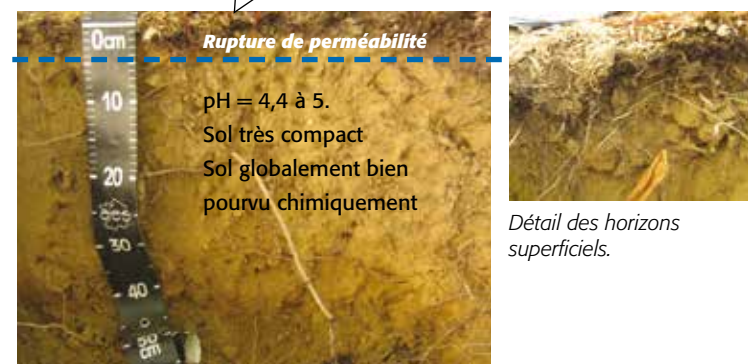
Flore

La flore herbacée et arbustive est typiquement acidophile : bruyère cendrée, callune, ajoncs. Un grand nombre d'espèces sont mésoxérophiles (sol ni trop sec, ni trop humide) et héliophiles (milieu ouvert) ; la présence d'espèces comme la molinie et le mélampyre des prés indiquent que ces sols présentent de grandes variations d'humidité. Nombreuses graminées prairiales (agrostide ténue, flouve odorante) favorisées par le gyrobroyage. Les graminées sont broyées avec les bogues de châtaignes.

Caractéristiques du sol

Le sol est un BRUNISOL très peu épais développé à partir du système des 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 radicules et de réseau mycélien. Au-delà de 5 cm de profondeur, le sol est extrêmement compacté : la limite entre les horizons de surface à forte teneur en matière organique et les horizons sous-jacents constitue une barrière difficilement franchissable à la fois pour les racines mais aussi pour l'eau. On a donc **une rupture forte de perméabilité à - 5 cm**. Le travail du sol (culture de céréales) pendant 5 ans entre le défrichement et la plantation peut expliquer la détérioration du sol initialement fragile*.

La RUM du premier compartiment (0 à -5 cm) est très réduite (5 à 10 mm); une petite quantité d'eau suffit à le saturer et ainsi à initier les pousses de cèpes. Abondance de matière organique mais peu dégradée : C/N = 46



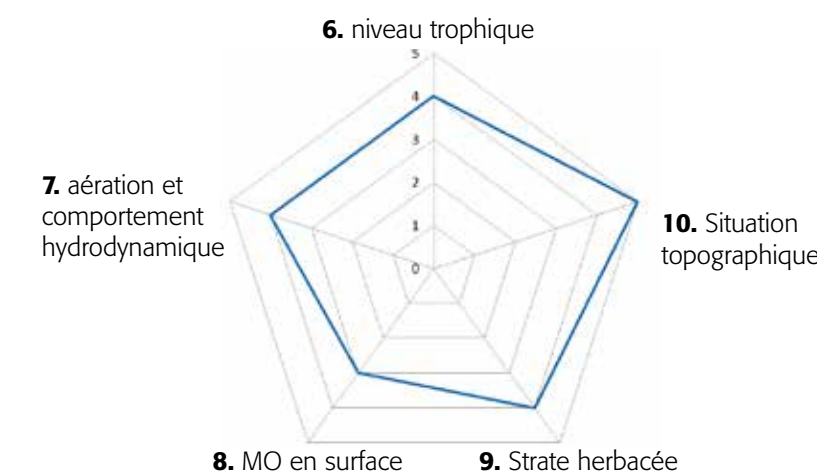
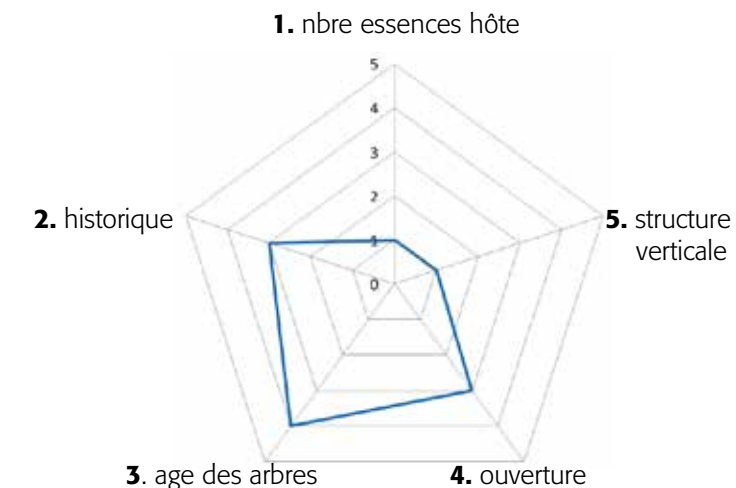
Détail des horizons superficiels.

* 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.

Production de champignons

Les 4 espèces de cèpes nobles sont récoltées : *Boletus edulis* (cèpe de Bordeaux), *Boletus aestivalis* (cèpe d'été), *Boletus aereus* (cèpe bronzé), *Boletus pinophilus* (cèpes des pins de montagne). Productivité moyenne élevée de 281 kg de cèpes / 1,7 ha (moyenne/6 ans) (cèpes effectivement valorisés).

Les fructifications sont bien réparties sur la surface. De très faibles pluies initient les pousses et les fructifications sont ainsi très fréquentes. En 2009, 8 pousses sont comptabilisées entre le 02/09/2009 et le 09/12/2009.



Note de 12/25 pour le peuplement

La pérennité de la production demande d'envisager d'ici quelques années de maintenir un bon niveau d'ouverture du milieu, par une taille des arbres ou en envisageant une régénération progressive du peuplement : remplacement de quelques arbres par des nouveaux arbres. En fonction de l'évolution du climat et des atteintes sanitaires (notamment Cynips), cet enrichissement progressif pourrait se faire avec d'autres essences-hôtes des cèpes. Cela impliquerait un changement de modèle de production, en passant d'un modèle de production de châtaignes à un modèle plus diversifié, sylvicole ou agro-sylvicole (châtaignes, cèpes, culture herbacée complémentaire).

Note de 20/25 pour les conditions stationnelles

La productivité exceptionnelle actuelle en cèpes repose sur une conjonction de caractéristiques stationnelles favorables. La gestion de la strate herbacée et de la matière organique doivent être maintenues à l'identique.

Le diagnostic mycosylvicole à l'échelle d'un territoire

Les connaissances et les moyens d'étude développés dans le programme Micosylva+ permettent d'apporter des réponses à deux questions qui peuvent se poser non plus à l'échelle simplement de la parcelle forestière mais à celle d'un territoire, depuis l'échelle communale jusqu'à celle du Massif Pyrénéen par exemple.

La première question générale est celle du potentiel mycologique d'un territoire. Quelles quantités de champignons ce territoire produit-il en moyenne chaque année ? Y-a t'il des secteurs particulièrement favorables ? Où sont localisés ces secteurs ?

La méthode présentée ici a donc pour objectif de caractériser et cartographier le potentiel mycologique du territoire et en particulier les secteurs sur lesquels un gestionnaire pourra cibler des actions pour valoriser la ressource en champignons comestibles.

La deuxième question générale est celle de la sensibilité des peuplements aux épisodes croissants de déficit hydrique.

Les peuplements souffrent de plus en plus d'un manque d'eau en raison d'une modification du régime des pluies mais surtout d'une élévation des températures. La saison de végétation est plus longue et la transpiration des arbres est globalement plus importante au printemps, été, automne.

La méthode présentée ici permet de caractériser et de cartographier les parcelles d'un territoire selon une série de paramètres pédo-climatiques (sol+climat) qui influencent fortement la sensibilité des

peuplements au manque d'eau. Pour compléter cette introduction, il nous faut remarquer que ce ne sont pas les arbres seuls qui connaissent les épisodes de stress hydriques mais bien l'ensemble constitué par les arbres + la communauté de champignons associés aux systèmes racinaires. Il nous faut garder ce point fondamental à l'esprit pour pouvoir comprendre certains résultats qui seront présentés ici.

1 - Estimer la ressource et identifier les secteurs à enjeux de production à partir de l'étude de 4 facteurs appréhendables macroscopiquement

Méthode générale

Le principe est le suivant :

a) Nous connaissons par diverses enquêtes menées précédemment le potentiel des forêts à produire les principaux champignons comestibles récoltés en France (ou en Espagne également). En climat tempéré, un ha moyen de forêt produit environ 8 à 10 kg de cèpes ou *lactaires délicieux* (moyenne/ha/an). Nos estimations ne prennent en compte que ces espèces car elles constituent actuellement le plus gros des productions récoltées et valorisées. (En climat méditerranéen, ce rendement doit être divisé par deux). Dans les exemples proposés pour cette étude, nous nous basons par précaution sur un potentiel de 6 kg/ha/an.

b) A partir des connaissances de terrain, nous avons défini les paramètres qui avaient le plus d'influence sur le potentiel de production d'une parcelle et que nous pouvions estimer sans aller sur le terrain. Il s'agit de la nature des peuplements, de la quantité de chaleur reçue par la parcelle, de la capacité de réserve utilisable maximum en eau

(= R.U.M), qui dépend de la nature du sol et de sa profondeur), de la capacité ou non de la parcelle à recevoir de l'eau depuis les sols situés au-dessus d'elle.

c) pour chacun de ces paramètres nous établissons une série de coefficients pour caractériser chaque parcelle selon ces différents paramètres. Par exemple, une parcelle portant une forêt de sapin pectiné se voit attribuer un coefficient de 1 pour ce paramètre contre 0,8 pour une parcelle en hêtraie.

d) le potentiel de chaque parcelle est finalement calculé en multipliant un « potentiel maximum » par les coefficients successifs attribués pour chaque facteur.

Potentiel parcelle = Potentiel maximum x Coefficient peuplement x coef.irradiation x coef R.U.M x coef eaux drainage latéral

e) nous avons établi le potentiel maximum en considérant que les forêts pyrénéennes produisaient 6 kg en moyenne/ha/an. Sur cette base, il est possible d'estimer le potentiel des meilleures parcelles à une moyenne de 30kg. (Cette moyenne intègre les productivités des parcelles « exceptionnelles » produisant beaucoup plus que 30 kg / ha / an).

Critères et coefficients choisis

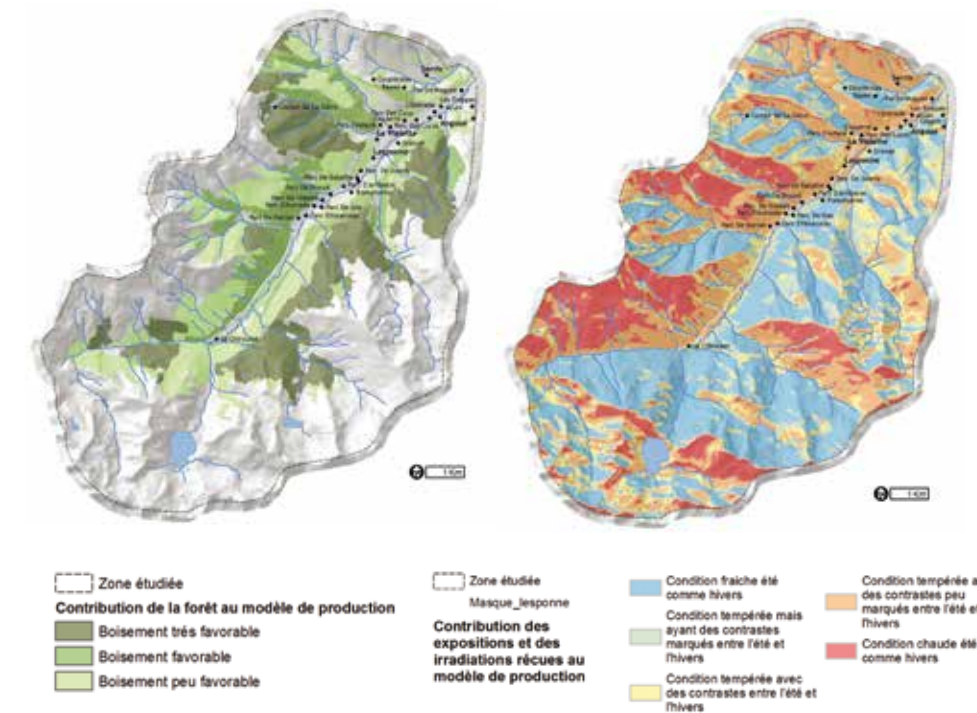
- Type de peuplement

Les données de l'Institut National Géographique (et IFN), nous permettent de disposer d'une cartographie précise des forêts, par types. Pour le territoire pris en exemple ici (Pyrénées), nous avons affecté un coefficient à chaque type de peuplements.

Exemples : futaie jeune de chênes décidus 0,25, Futaie jeune de conifères 0,50, futaie jeune de douglas 0,00, futaie jeune de feuillus indif 0,50, futaie jeune de hêtres 0,75, futaie mixte de feuillus et sapins 1,00, etc... La carte suivante présente la spacialisation des résultats.

- Chaleur reçue par la parcelle

Elle est estimée par une combinaison de deux paramètres. D'une part l'irradiation globale reçue durant les mois les plus chauds (Juin-Juillet-Août) et d'autre part le ratio entre l'irradiation de septembre à novembre et celle de Juin à Août. Pour les parcelles bien exposées au rayonnement solaire, ce ratio permet en complément de tenir compte du fait que certaines parcelles bénéficient encore de forts rayonnements solaires tard en saison (Novembre). Cela est crucial en Montagne où nous pouvons considérer que la saison automnale de fructification est courte et limitée par le froid en fin d'automne.



- Réserve utilisable maximale

Nous considérons que des réserves en eau moyennes à faibles sont plus propices aux fructifications de champignons, par expériences de terrain. Deux raisons peuvent l'expliquer. La principale est que les champignons mycorrhiziens comme les cèpes et les lactaires sont plus actifs dans les situations où les arbres disposent de réserves en eau réduites. La deuxième raison est que l'initiation fructifère, comme nous l'avons vu, suppose une saturation forte en eau des horizons superficiels. Cette saturation est plus fréquente en sols à faibles réserves en eau. Coefficient de 1 pour les sols à R.U.M < 80mm; 0,75 de 80 à 100; 0,5 de 100 à 140 ; 0,25 quand R.U.M > 140.



Zone étudiée
Contribution de la réserve utile des sols au modèle de production
RU très peu favorable | RU peu favorable | RU favorable | RU très favorable

- Indice de Beven&Kirby

Cet indice nous permet en complément de tenir compte des transferts d'eau latéraux (importants dès qu'il y a du relief) et notamment des accumulations d'eau (en particulier en bas des pentes). Ces zones d'accumulation sont globalement moins propices car elles entraînent un manque d'aération des sols et un défaut d'activité mycélienne. L'indice est classifié en 3 secteurs et nous retenons les coefficients suivants : 1er = 0.05; 3e = 0.2; 4e = 1.

(<http://eusols.jrc.ec.europa.eu/>) (programme IGCS – Inventaire, Gestion et Conservation des Sols - <http://gissol.fr/programme/programmes.php>).



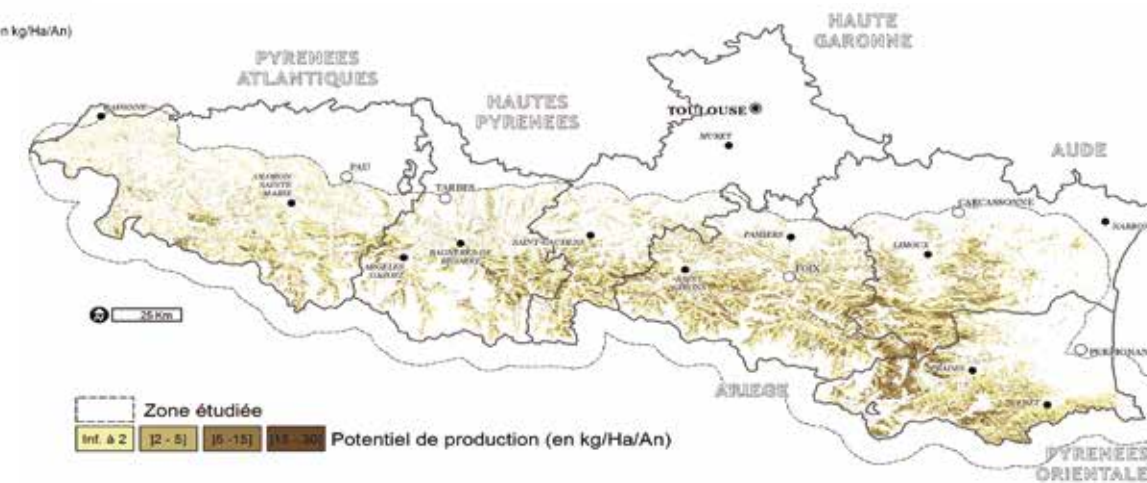
Zone étudiée
Contribution des phénomènes de circulation hydrique dans les sols au modèle de production
Très favorable | Favorable | Peu favorable

- Potentiel de production d'une vallée pyrénéenne

Cette carte est donc réalisée en combinant les quatre facteurs précédents.



Zone étudiée
Potentiel de production (en kg/Ha/An)
Inf. à 2 | [2 - 5] | [5 - 15] | [15 - 30]



Zone étudiée
Potentiel de production (en kg/Ha/An)
Inf. à 2 | [2 - 5] | [5 - 15] | [15 - 30]

Estimation du potentiel de production à l'échelle des Pyrénées

Le principe général utilisé est le même que celui utilisé à l'échelle valléenne. La carte ci-dessous correspond à la carte de production de cèpes ou lactaires (selon les types de peuplements) dans les Pyrénées. Il s'agit d'une estimation des quantités de champignons effectivement récoltés. Le modèle ne prend en compte que les espèces qui constituent actuellement l'essentiel des récoltes valorisées soit par les familles (récoltes familiales et autoconsommation) soit par des revendeurs. Il s'agit dans ce deuxième cas d'une économie souvent parallèle mais qui participe au maintien d'une activité dans des zones rurales boisées. Rapportées aux différents départements de la chaîne pyrénéenne, ces récoltes annuelles correspondent à : **664 tonnes** (Pyrénées-Atlantiques), **546 tonnes** (Hautes-Pyrénées), **339 tonnes** (Haute-Garonne), **946 tonnes** (Ariège), **796 tonnes** (Aude), **693 tonnes** (Pyrénées-Orientales).



Photo
Symptômes de dépérissement du Sapin pectiné sur un versant exposé au Nord. Les conditions stationnelles sont pourtant théoriquement favorables à cette essence.

2 - Estimer la sensibilité des peuplements aux déficits hydriques. Le rôle supposé des champignons mycorhiziens dans l'adaptation des peuplements.

Méthodologie

Le travail vise à modéliser et cartographier les facteurs descriptifs du fonctionnement hydrodynamique des sols de façon à pouvoir prédire les comportements de phénomènes biologiques qui nous intéressent directement. Dans le cas présent, le phénomène est la sensibilité des peuplements de Sapin pectiné aux conditions de stress hydriques croissants. Cette sensibilité se manifeste par des signes de dépérissement.

Le dépérissement a fait l'objet d'une étude de l'ONF menée entre 2000 et 2002 dans les Hautes-Pyrénées. Les résultats ont été cartographiés. Des visites de terrain ont permis de constater une « certaine » évolution du dépérissement depuis cette époque, sur les secteurs déjà identifiés à l'époque.

La méthode employée se base sur le concept de secteur de référence :

- Les relations entre le sol et le dépérissement sont analysées et comparées sur les secteurs sur lesquels le dépérissement est constaté.
- Les paramètres pedoclimatiques déterministes associés à ces relations, ou « paramètres d'extrapolation » sont identifiés : topographie, rayonnement solaire...
- Ces paramètres peuvent être ensuite extrapolés à l'échelle du massif forestier, afin de différencier les secteurs quant à leur sensibilité au dépérissement du Sapin pectiné. Dans une première approche, trois paramètres ont été choisis :

L'irradiation, la réserve utilisable maximale (= RUM), la circulation latérale des eaux.

Il s'agit des mêmes paramètres que ceux utilisés pour le modèle de production de champignons dans les pages précédentes mais donc à des fins de description et cartographie d'un autre phénomène biologique.

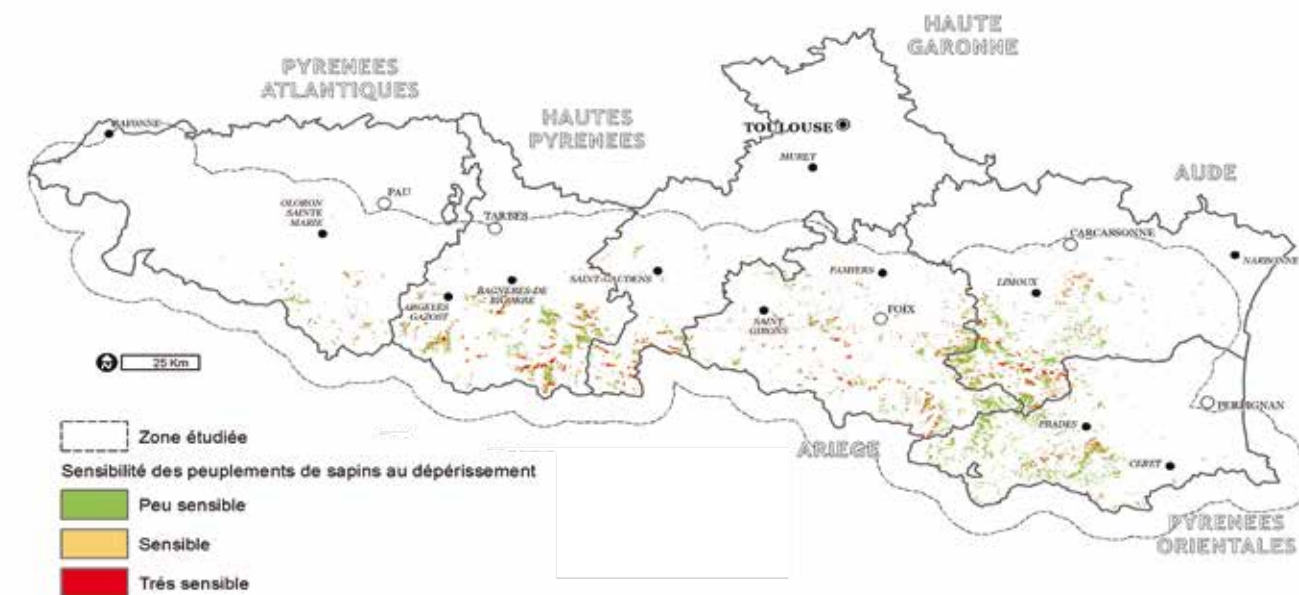
Résultats

Par cette méthode il est possible de mettre en évidence que le dépérissement du Sapin pectiné est plus marqué dans des situations stationnelles qui devraient pourtant être favorables à cette essence : situations de faible irradiation, bonne R.U.M, apports latéraux d'eau.



Ces facteurs descriptifs des situations de dépérissement peuvent être modélisés et cartographiés (extrapolation aux situations stationnelles équivalentes sur un territoire plus vaste de façon à pouvoir identifier les zones à risque de dépérissement).

Cette modélisation a été réalisée à l'échelle des Pyrénées (cf. page suivante).



Dans ce document, l'évaluation de la sensibilité des peuplements se base sur une approche exploratoire visant à cartographier des secteurs dont les conditions stationnelles sont similaires à des stations témoins sur lesquelles le dépérissement du Sapin pectiné a été constaté. Les conditions retenues dans cette version sont la Réserve Utilisable Maximale des sols et les conditions d'irradiation des sols (estimées en combinant l'irradiation globale reçue durant les mois les plus chauds (Juin-Juillet-Août) et d'autre part le ratio entre l'irradiation de Sept à Nov et celle de Juin à Août).

Discussion

1) La méthodologie pourra être précisée à deux conditions :

- Caractériser et cartographier plus précisément les zones actuelles de dépérissements.
- Disposer de données plus précises sur la R.U.M. En produisant des cartes des sols mieux adaptées aux échelles du programme.

2) Cette première approche tend à montrer qu'un dépérissement marqué des peuplements est préférentiellement associé à des conditions d'insolation faible. Si cette observation était confirmée, elle inviterait à prioriser les interventions dans les situations stationnelles correspondantes. En effet, on espérait jusque là que les peuplements situés dans leurs conditions stationnelles (où jugées comme telles) seraient protégés dans un avenir proche ou à moyen terme. Selon ces observations, cela ne serait pas le cas, bien au contraire.

3) Cette observation conduit à rechercher des hypothèses pouvant expliquer la meilleure adaptation apparente des sapins en conditions de forte insolation. Une hypothèse proposée est que cette adaptation pourrait être due à la présence de champignons mycorhiziens ayant un rôle efficace pour capter l'eau dans des situations de sols secs. Cette hypothèse correspond bien au fonctionnement des arbres qui en réalité vivent en compagnie de communautés de champignons spécialisés en particulier dans l'approvisionnement des racines en eau. En versants Sud, il est certain que les communautés de champignons sont adaptées à des conditions de forts contrastes climatiques, contrairement aux communautés de versants plus protégés. Les peuplements de versants protégés seraient ainsi désormais moins bien armés pour résister aux nouvelles conditions climatiques.

La fructification des champignons comme facteur indicateur de gestion forestière

Il s'agit pour nous d'une approche complémentaire innovante pour la restauration des écosystèmes et pour l'adaptation des forêts au changement climatique.

Les nouvelles connaissances sur l'écologie de certaines espèces donnent également des éléments nouveaux d'analyse du fonctionnement des écosystèmes forestiers. Les programmes Micosylva et Micosylva+ permettent ainsi de proposer aujourd'hui deux nouveaux indicateurs simples de ce fonctionnement.

1 - Le niveau de productivité en cèpes comme indicateur de l'état d'équilibre de l'écosystème

Les cèpes ont été particulièrement étudiés depuis une vingtaine d'années et particulièrement durant ces deux programmes européens. Il a ainsi été possible de comparer de nombreuses forêts propices à ces champignons, ces forêts révélant des niveaux de productivité très différents.

Il ressort de cette comparaison que les niveaux élevés de productivité en cèpes s'expliquent par la présence d'un ou plusieurs facteurs de déséquilibre de l'écosystème, en lien avec le sol et/ou avec le peuplement. Ces facteurs peuvent être naturels ou d'origine anthropique. Les conclusions présentées dans ce chapitre pourraient par ailleurs servir de base à un travail identique sur les autres espèces comestibles importantes, les lactaires notamment.

1.1- Facteurs pédologiques négatifs signalés par une forte productivité en cèpes

Aspects physiques : très faible profondeur du sol limitant l'exploration racinaire, rupture forte de porosité à faible profondeur limitant la percolation de l'eau, texture extrême, déséquilibrée vers un pôle (ex : texture très sableuses) avec comme conséquences une très faible Capacité d'Echange Cationique (CEC) et donc une faible fourniture en éléments minéraux ou bien des sols qui se tassent très facilement. Sols bouleversés dans un passé récent («sols rajeunis»).

Aspects chimiques : Sols très appauvris chimiquement, sols très acidifiés, en lien avec un fort lessivage (sols filtrants et forte pluviométrie) et/ou des exportations excessives de bois (+ éventuellement rémanents,...)



Photo et aquarelle : Sapinière des Hautes-Pyrénées. La forte productivité en *Boletus edulis* est en relation avec une fertilité très faible du sol. Cette dernière s'explique par des exportations excessives de bois au fil des temps passés. Les propriétaires (groupement forestier) ont décidé de renoncer aux exportations de bois et de permettre ainsi une restauration progressive de la fertilité. Des productions de cèpes de plusieurs dizaines de Kg/ha sont valorisées par les propriétaires (cueillettes familiales) et compensent le manque à gagner correspondant à la vente de bois.

Litières, formes d'humus :

- Litières difficiles à décomposer, à C/N élevés, riches en poly-phénols ou en tanins (litières issues de peuplements d' Epicéa commun, Pin sylvestre, Châtaignier, de strates à éricacées, cistes), notamment pour les fructifications de *Boletus edulis* et *B.pinophilus*. Formes d'humus de type Mor ou Moder.
- Litière peu évoluée, soit en lien avec la faible vitesse de décomposition (voir ci-dessus), soit en lien avec son entraînement par érosion et renouvellement par de nouveaux apports (exemple de l'érosion liée à la neige et/ou au vent en montagne).



Photo : Hêtraie pyrénéenne. La litière de feuilles de hêtre est entraînée chaque année par le vent et la neige vers le bas de la forte pente de cette parcelle. Les branches laissées sur le sol ont l'intérêt de retenir cette litière et de favoriser ainsi une restauration du sol par ailleurs chimiquement très appauvri.

1.2 Facteurs liés aux peuplements

Peuplements résineux denses ayant un impact fort sur la modification des formes d'humus (évolution d'un humus doux => moder et mor).

Exemple des reboisements en Epicéa commun. Exemple plus général des peuplements monospécifiques de résineux, souvent très productifs en différents bolets (exemple du bolet bai (*Boletus badius*) sous Pin maritime, en lactaire délicieux (*Lactarius deliciosus*) sous Pin sylvestre, Pin laricio).

Interprétation : Les champignons mycorhiziens en général et ces champignons très fréquemment rencontrés que sont les cèpes, les lactaires, les chanterelles ont un rôle écologique majeur dans les situations de sol et de climat difficiles pour les arbres.

Les fructifications de cèpes (*Boletus edulis* et *Boletus pinophilus*) sont par exemple extrêmement abondantes dans les forêts boréales, de Russie, Finlande, Canada par exemple, sur des sols caractérisés par des formes d'humus très acides (Mor). Les cèpes ont apparemment un rôle écologique important comme auxiliaires des arbres dans des conditions de régénération forestière ou d'implantation sur des sols non encore forestiers, de landes arbustives à éricacées, à molinie, à fougère aigle, ajoncs,... Il s'agit souvent de sols pauvres naturellement ou appauvris par une pression agricole forte (sur-pâturage notamment) datant du XIX^{ème} siècle et diminuant ensuite jusqu'au milieu du XX^e. L'intérêt traditionnel porté vers les cèpes dans de nombreuses régions s'explique par l'histoire des pratiques de cueillette qui remonte à une époque où les forêts subissaient sans doute certains excès de gestion (exemple des prélèvements des litières pour les utiliser comme litières dans les étables, coupes trop fréquentes d'arbres jeunes, prélèvement de tous bois pour le feu, pâturage excessif en sous-bois). Ces excès engendraient probablement de fortes fructifications de ces espèces, ce qui a favorisé leur usage.



Conséquences en terme de gestion

De fortes productions de cèpes dans une forêt devraient conduire à se poser des questions sur le ou les facteurs de déséquilibre qui peuvent expliquer cette productivité. Dans tous les cas, les cèpes devraient être considérés comme des auxillaires de croissance essentiels pour les arbres. Dans certains cas, le facteur de déséquilibre est naturel et sans remède (exemple d'un sol très peu profond sur granit ou grès par exemple), on pourra alors s'appliquer simplement à bien valoriser la production mycologique qui pourra compenser la productivité en bois faible ou moyenne probable. A partir du constat d'un facteur de déséquilibre stationnel réhibitoire, on pourra d'ailleurs définir des zones à enjeux « champignons comestibles » et privilégier ainsi les champignons par rapport au bois. Dans d'autres cas, le déséquilibre pourra être pallié : régénération permettant un mélange résineux-feuillus en lieu et place d'un peuplement résineux, maintien des litières grâce aux branches mortes, protection des sols contre des excès de pâturage, etc... Notons que la restauration des conditions d'équilibre étant très progressive et sur le long terme, il ne faudra pas craindre une diminution à court terme des productions de champignons.

2 - Le niveau de production globale de champignons et le poids moyen d'une récolte comme indicateur des bilans hydriques des sols

2.1 - Problématique

Le changement climatique se traduit dans de nombreuses régions (notamment françaises, espagnoles et portugaises) par des situa-

tions plus fréquentes de sols secs en forêt. Le déficit hydrique peut résulter d'une diminution de la pluviométrie mais souvent et surtout d'un allongement de la période de transpiration active des arbres, en raison de l'augmentation globale des teneurs en CO² et de la température moyenne.

Il est ainsi nécessaire de rechercher des structures forestières qui permettent de valoriser au mieux l'eau disponible. Le principe est de favoriser la pénétration des pluies et de chercher une diminution de la perte d'eau par transpiration des arbres et évaporation par le sol. Dans ce sens, des travaux ont montré l'intérêt d'une « sylviculture claire » avec diminution de la densité des arbres de l'étage dominant, ces arbres manifestant une transpiration très active en regard de leurs surfaces foliaires et de leur niveau d'activité physiologique. Pour valider ces hypothèses, nous devons cependant disposer d'indicateurs fiables pour vérifier sur le moyen terme le bon fonctionnement du peuplement (indicateurs visuels de l'état des arbres et indicateurs de croissance) et pour vérifier sur le court terme les effets des éclaircies sur les bilans hydriques des sols.

Un premier indicateur est l'humidité du sol, mesurée grâce à des tensiomètres. Nous avons en effet vu précédemment (pages 38 à 41) que les sondes tensiométriques permettaient de comparer les évolutions des bilans hydriques sous des peuplements de structures différentes. Nous voulons maintenant proposer un autre indicateur : un bioindicateur fongique. Nous verrons que cet indicateur pourra être facilement corrélé aux valeurs tensiométriques, permettre ainsi « d'économiser » l'installation de sondes tensiométriques et permettre également de travailler à large échelle avec des observateurs de terrain.

2.2 - Observer les fructifications de champignons pour rechercher les structures forestières adaptées au climat

Le principe de la méthode résulte donc de la mise en relation de deux types d'observations : mesures de l'humidité du sol grâce à des tensiomètres et données sur les fructifications des champignons. Il est ainsi recherché la possibilité de disposer d'indicateurs biologiques simples qui traduisent bien l'état hydrique des sols.

Résumé des observations tensiométriques et phénologiques

- a) L'ouverture des peuplements par éclaircies permet une meilleure pénétration des pluies de moyenne et faible intensités et une amélioration du bilan hydrique dans des conditions de sécheresse relative.
- b) Le niveau d'humidité des sols forestiers peut être estimé précisément à l'aide de tensiomètres.
- c) L'ouverture des peuplements par éclaircies permet l'expression de la fructification des champignons. Au contraire, une fermeture trop grande interdit généralement des fructifications significatives.
- d) la fructification des champignons correspond à l'action de pluies capables de modifier fortement le niveau d'humidité des sols et de maintenir ensuite le sol à un niveau d'humidité suffisant.
- e) Une fructification optimale d'une espèce donnée peut être estimée par le poids moyen des exemplaires d'une récolte et cet optimum correspond à un niveau connu d'humidité du sol. Un critère plus simple peut être également le diamètre moyen des sporophores récoltés.

Nous pouvons déduire de ce qui précède que la capacité d'un peuplement à produire de manière significative des champignons, en été ou en automne, traduit le fait que la structure du peuplement permet un bilan hydrique satisfaisant dans les sols.

La capacité moyenne d'un peuplement à produire des champignons peut ainsi être pris comme un indicateur pour le choix de niveaux d'éclaircies et de structures de peuplements. Cela signifie que la structure de ce peuplement peut être utilisée comme un modèle des structures à rechercher pour optimiser les bilans hydriques des sols (dans des conditions topographiques, pédologiques et climatiques données).

Vers une méthode complète de diagnostic pour l'adaptation des forêts au changement climatique

Les travaux menés dans le cadre des projet de coopération européenne Micosylva et Micosylva+ permettent aujourd'hui de faire des liens innovants entre **diverses approches de compréhension du fonctionnement des écosystèmes forestiers et entre des méthodes très complémentaires de diagnostic forestier.**

Ces liens permettent de proposer des améliorations concrètes dans le domaine de la gestion forestière et de la production durable de bois, dans le domaine de la production de champignons comestibles et enfin dans l'approche nouvelle et nécessaire de l'adaptation des écosystèmes forestiers au changement climatique. Sur ce dernier aspect, une approche complète devrait à nos yeux intégrer cet ensemble de méthode :

- 1 - une caractérisation et cartographie des stations dans lesquelles le dépérissement est le plus marqué (cf. pages 88 et 89). L'objectif est de localiser les zones les plus sensibles pour programmer rapidement des interventions.
- 2 - une analyse des communautés fongiques caractéristiques des stations dans lesquelles les arbres manifestent une capacité à résister



L'adaptation des forêts au changement climatique doit prendre en compte les critères habituels (climat, caractères saisonniers, essences) mais également les partenaires symbiotiques des arbres.

En effet, ce sont bien les champignons mycorhiziques qui captent l'eau des sols pour les arbres.

aux conditions de sécheresse. Une hypothèse qui ressort de nos travaux est que les sapins résistent mieux dans des versants très exposés à la chaleur et que cette résistance peut être due à la présence sur les systèmes racinaires de champignons mycorhiziens bien adaptés à des conditions de contrastes thermiques et hydriques. Il apparaît anormal aujourd'hui de ne pas tenir compte des auxillaires naturels des arbres dans une réflexion sur l'adaptation des essences aux conditions stationnelles.

Cette analyse des communautés fongiques devrait se faire à la fois par les méthodes de biologie moléculaire (méthodes maintenant utilisables à large échelle) et par les méthodes classiques d'inventaires des fructifications. En effet, l'inventaire des espèces à travers la présence de mycorhizes et l'inventaire des fructifications donnent des indications complémentaires.

3 - La recherche des structures forestières les plus favorables pour optimiser la ressource en eau des sols. Cette recherche peut se faire par comparaisons de différentes structures, dans des conditions stationnelles identiques (cf. Page 38 à 41 pour explications). Les niveaux d'humidité des sols, sous différentes modalités de structures forestières, peuvent être évalués par utilisation de tensiomètres, par observation des fructifications globales de champignons et par observation de fructifications d'espèces utilisées comme espèces indicatrices (cf. paragraphes précédents).

4- Une approche complémentaire à la précédente et qui est l'analyse du fonctionnement hydrodynamique des sols (cf. Pages 35 à 37), du rôle protecteur des litières forestières et de la stratification des racines fines (mycorhizées) et qui sont les racines fonctionnelles de l'arbre du point de vue de la fonction globale de nutrition (en eau, minéraux, azote).

Ces méthodes complèteraient :

- (i) les méthodes d'analyse macroscopique des secteurs de dépérissement :
 - étude diachronique d'images satellites - activité chlorophyllienne, couleur des peuplements, quantité d'eau des masses vertes
 - photointerprétation pour compléter la méthode précédente et valider les résultats. Cette approche permet, dans les secteurs préalablement identifiés par l'étude d'images satellites, de caractériser les densités et les répartitions d'arbres très dépérissants ou morts.
- (ii) les méthodes développées actuellement par l'Institut pour le Développement Forestier : l'indice bioclimatique et les cartes de vulnérabilité des essences forestières (Lemaire - 2014), la méthode ARCHI pour la description des niveaux de dépérissement (ou de résilience) des essences (Drenou - 2014)

Conclusion générale La mycosylviculture : Deux objectifs à hiérarchiser

1 - Préserver la ressource « arbres + champignons »

A travers notamment la possibilité offerte par les programmes interreg Sudoe, et le développement dans ce cadre de Micosylva et Micosylva+, il a été possible de réunir des connaissances très utiles sur le fonctionnement du système global « arbres-champignons-sols-climat ». Les relations sont en effet directes entre les arbres, les champignons associés aux racines (et qui collectent l'eau des sols), les sols (et leur fonctionnement hydrodynamique), le climat. La mycosylviculture s'intéresse particulièrement à l'eau des sols car les champignons

ont besoin d'eau et ce faisant elle s'intéresse également (avec des méthodes d'investigation communes) au besoin en eau des arbres. Les modifications du climat conduisent généralement à une augmentation de la demande en eau des peuplements en même temps qu'à des modifications de la pluviométrie (quantité et répartition). Il semble donc essentiel de réunir les connaissances dans ce domaine et de les appliquer sur les forêts. La contribution de la mycologie porte sur le rôle essentiel de la biodiversité fongique dans le fonctionnement de la forêt et sur l'intérêt des champignons en tant qu'indicateurs pour la gestion. Les travaux sont prometteurs et méritent d'être intensifiés.

2 - Valoriser le potentiel productif des écosystèmes

La mycosylviculture s'intéresse à une valorisation conjointe du bois et des champignons d'intérêt économique (comestibles ou sources de « bio-molécules »). La valorisation des champignons doit, pour être durable, s'appuyer également sur une préservation de la biodiversité, des sols, de la matière organique. Pour concilier ces objectifs, l'ouvrage propose un guide en dix indicateurs de diagnostic et de gestion. Insistons sur le fait que ce guide n'est pas fait pour donner des recettes toutes faites mais bien pour aider l'observation dans chaque forêt.

Associer la mycosylviculture à une réflexion plus globale sur les fonctions forestières, le développement des territoires, le développement de nouvelles ressources alimentaires et/ou sources de bio-molécules.

On ne saurait dissocier les enjeux de gestion mycosylvicole des enjeux de gestion multifonctionnelle des espaces forestiers. La

réflexion sur les modes de valorisation des champignons comestibles invite en particulier à voir dans le mycotourisme une opportunité intéressante pour mieux valoriser la fonction d'accueil des espaces forestiers. Une demande urbaine croissante existe dans ce domaine et des conflits d'usages autour de la cueillette peuvent être résolus de manière positive en transposant et adaptant les actions menées en particulier en Castille et León. Le mycotourisme peut participer au développement de territoires ruraux et même parfois constituer le fil directeur d'un projet territorial innovant, en permettant d'inventer de nouveaux modes d'accueil du public, une nouvelle gastronomie associant produits sauvages et produits de terroir, de nouvelles relations sociales entre ruraux et urbains,...

On peut également avec profit relier les enjeux de la mycosylviculture aux enjeux alimentaires. Les champignons comestibles représentent une ressource alimentaire importante. Une estimation de 50 kg/ha/an de champignons faciles à reconnaître et intéressants d'un point de vue alimentaire permet de se représenter l'importance de la ressource sur un massif forestier de plusieurs milliers d'hectares. Il y a là des perspectives d'innovation et de développement importantes. Au-delà des champignons, la réflexion conduit à s'intéresser (ou à s'intéresser à nouveau) à la fonction alimentaire de la forêt, en comprenant l'ensemble des produits alimentaires « sauvages ». Enfin, les produits fongiques se révèlent être des sources diversifiées de bio-molécules d'intérêt alimentaire (compléments alimentaires) ou médical. Cette fonction des champignons, connue par certaines traditions (en Asie notamment) peut être valorisée. Une même réflexion peut d'ailleurs associer dans ce domaine les champignons et les plantes et fruits sauvages.

BONET, J.A.; FISCHER, CR.; 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 ARAGON, J. y 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.

BONET, J.A., DE-MIGUEL, S., MARTÍNEZ DE ARAGÓN, J., PUKKALA, T., PALAHI, M. 2012. "Immediate effect of thinning on the yield of *Lactarius* group *deliciosus* in *Pinus pinaster* forests in North-Eastern Spain". *Forest, Ecology and Management*, 265: 211-217.

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.

CHAMBRES D'AGRICULTURE DE DORDOGNE et des HAUTES-PYRENEES (2011). *Sylviculture et champignons, L'exemple du Sud-Ouest de la France*. Bataillon de Bataillon, Sarlat. 60p.

CORRIOL G., HANNOIRE C., 2010 - Diagnostics phytosociologiques et myco-coenologiques 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.

CRPF Rhône-Alpes (2013) *Guide pratique de mycosylviculture – Projet Amycoforest*. Programme ALCOTRA http://www.boisforets67.fr/UserFiles/File/PDF/Exemples/Guide_Mycosylviculture.pdf

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 adehesado de la Sierra de Aracena (Huelva). *Investigación Agraria: Sistemas Y Recursos Florestales*, 16: 89-94.

DE ROMAN, M.; BOA, E. (2006). The marketing of *Lactarius deliciosus* in Northern Spain. *Economic Botany*, 60(3): 284-290.

DRENOU, C. (2014) Utilisation de la méthode ARCHI pour diagnostiquer les dépérissements du sapin pectiné. http://www.parc-pyrenees-ariegeoises.fr/IMG/pdf/6_Diagnostic_deperissement_Sapin3.pdf

DUCHIRON M.S, SCHNITZLERB A. (2009). La forêt face aux changements climatiques : de la gestion productiviste à une sylviculture de l'écosystème. *Courrier de l'environnement de l'INRA* n° 57, juillet 2009

EGLI, S., AYER, F. Est-il possible d'améliorer la production de champignons comestibles en forêt ? l'exemple de la réserve mycologique de la Chanéaz en Suisse *Rev. For. Fr.* XLIX - n° sp. 1997

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

GARBAYE, J. 2013. La symbiose mycorhizienne, une association entre les plantes et les champignons. *Quae*

GOMEZ, N.- 2012 Quel avenir pour le sapin et l'épicéa ? Synthèse bibliographique sur l'autécologie et la vulnérabilité comparée du sapin et de l'épicéa dans le cadre des changements climatiques. *Rendez-vous techniques ONF – N°36-37* www.onf.fr/outils/medias/20130108-153942-8497/++files++/2

GUERIN-LAGUETTE A. et al (2014) *Lactarius deliciosus* and *Pinus radiata* in New Zealand: towards the development of innovative gourmet mushroom

orchards - Springer-Verlag Berlin Heidelberg
GUINBERTEAU J., COURTECUISSÉ R., 1997 – Diversité des champignons (surtout mycorhiziens) dans les écosystèmes forestiers actuels, *Revue Forestière Française*, XLIX, n°spécial 1997, p. 222-234.

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.

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.

LARRIEU, L., CORRIOL, G., RONDET, J., GUINBERTEAU, J. (2010). Les Cèpes sont-ils bioindicateurs de gestion durable des forêts? De biodiversité taxonomique?. Presented at Programme européen Micosylva ; Champignons : opportunité pour la réussite d'un développement local, Mertola, PRT (2010-03-24). <http://prodinra.inra.fr/record/46020>

LARRIEU L., GONIN P. Plaquette Indice de Biodiversité Potentielle (IBP) avec mode d'emploi et feuille de calcul Excel

LEMAIRE, J. (2014) Focus n°3 sur BIOCLIMSOL - (CRPF) de Midi-Pyrénées. <http://www.crpf.fr/actualite/PDF/Focus3>. <http://www.crpf.fr/actualite/PDF/Focus3>

LEPRINCE, F., RONDET, J., SEEGER, N. GUINBERTEAU, J., 2005 - Favoriser le cèpe, *Forêt entreprise*, 164, pp.18-22.

LE TACON, F. vers une meilleure prise en compte des champignons mycorhiziens dans la gestion forestière. *Rev. For. Fr.* XLIX - n° sp. 1997

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 manage-

ment of mycological resources". *Forest, Ecology & Management*, 252: 239-256
MARTÍNEZ-PEÑA, F., DE MIGUEL, S., PUKKALA, T., BONET, J.A., ORTEGA-MARTÍNEZ, P., ALDEA, J., MARTÍNEZ DE ARAGÓN, J. 2012. "Yield models for ectomycorrhizal mushrooms in *Pinus sylvestris* forests with special focus on *Boletus edulis* and *Lactarius group deliciosus*". *Forest, Ecology and Management*, 282: 63-69 (DOI 10.1016/j.foreco.2012.06.034).

NEVILLE, P. & S. POUMARAT, S. (2004). *Amaniteae, Amanita, Limacella & Torrendia*. Ed. Fungi Europei, Candusso, 1120 pages.

PINHO-ALMEIDA & BAPTISTA-FERREIRA (1998). *Amanita curtipes* Gilb. et *A. ponderosa* Mal. & Heim au Portugal: étude systématique de deux Amanites méditerranéennes. *Documents Mycologiques* XXXIII, 27-38.

POITOU, N., MAMOUN, M., DUCAMP, M., GUINBERTEAU, J., OLIVIER, J.-M. - Mycorhization contrôlée et culture expérimentale au champ de *Suillus granulatus* et *Lactarius deliciosus*. *Mush Sci.*, vol. 12, n° 2, 1989, pp. 551-564

WANG, Y., CUMMINGS, N., GUERIN-LAGUETTE, A. (2012) Cultivation of Basidiomycete edible ectomycorrhizal mushrooms: *Tricholoma*, *Lactarius* and *Rhizopogon*. In Zambonelli A and Bonito G (eds) *Edible ectomycorrhizal mushrooms*. *Soil Biology* 34, Springer-Verlag, Berlin, pp 281–304.

LEMAIRE, J. (2014) Les forêts face aux changements climatiques : Anticiper, s'Adapter et Agir avec. BIOCLIMSOL. Jean Lemaire. CNPF. IDF Lyon. Focus n°3 - (CRPF) de Midi-Pyrénées

Site Micosylva : www.micosylva.com
Nombreux ouvrages (manuels de mycosylviculture de Castille et Léon, Catalogne, Portugal-Norte, Aquitaine, Midi-Pyrénées) téléchargeables

Contacts :
Jean Rondet : jeanrondet@gmail.com
Nathalie Seegers : nathalie.seegers@dordogne.chambagri.fr

Nos remerciements vont à toutes les personnes qui ont rendu possible la réalisation de cet ouvrage précurseur :

En tout premier, les propriétaires forestiers, communes ou propriétaires privés, qui ont offert depuis des années l'accès aux visites techniques et scientifiques et leurs indispensables observations et connaissances de terrain. Il s'agit :

- dans les Hautes-Pyrénées, des membres (communes et propriétaires privés) de l'Association des Propriétaires Forestiers et Agriculteurs de Bigorre (APFAB).

- des propriétaires forestiers de l'association « Cèpes du Périgord », qui depuis de nombreuses années, ont largement contribué à la progression de nos connaissances.

Nos remerciements vont aussi :

- aux membres du Comité Scientifique de ce projet, qui ont contribué directement en tant qu'auteurs des articles de l'ouvrage et

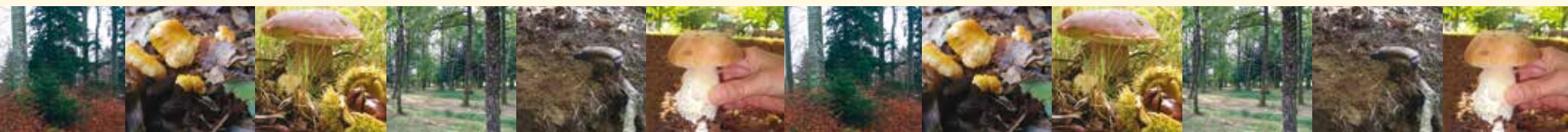
indirectement en partageant leurs connaissances à l'occasion des différents ateliers internationaux qui se sont déroulés depuis deux ans, en Dordogne, dans les Hautes-Pyrénées, en Castille et León, en Catalogne, en Languedoc Roussillon.

- d'une manière générale, à tous les représentants des organismes scientifiques, techniques, associatifs partenaires du programme Mico-sylva+. Ces organismes sont représentés par les logos ci-dessous.

- à l'ensemble des services administratifs qui ont accompagné le projet de coopération européenne Mico-sylva+ : le Secrétariat Technique Conjoint du programme SUDOE, les services des différentes Régions de l'espace Sudoie impliquées dans ce projet, en Espagne, France et Portugal.

Un grand merci enfin à l'imprimerie Bataillon et tout particulièrement à Marion Bourgade.





Un ouvrage précurseur qui propose une synthèse des travaux menés sur la « mycosylviculture », dans le cadre de deux projets de coopération européenne, dans l'espace de coopération « Sud-Ouest Europe ».

Des informations très pratiques pour comprendre l'écologie des champignons, pour réaliser l'importance des champignons dans la vie des peuplements d'arbres et pour apprendre à mieux gérer sa forêt.

Des pistes précieuses enfin pour l'adaptation des forêts au changement climatique. L'arbre ne vit pas tout seul.

Les champignons prolongent ses racines pour aller en particulier rechercher l'eau dans les sols. Comment dès lors s'intéresser à la question du climat et des forêts sans tenir compte de ces « auxiliaires » essentiels des arbres que sont les champignons mycorhiziens ?

Un ouvrage illustré, abordable par tous : gestionnaires et propriétaires forestiers, enseignants, étudiants, lycéens, mycologues amateurs et, plus largement, amoureux de la nature.

www.micosylva.com

