



Projet de PNR  
Ecole Unjat  
09240 La Bastide de-Serou



Agence départementale Ariège  
9 rue du Lieutenant Paul Delpech  
09007 FOIX CEDEX



Laboratoire EDB  
Bâtiment 4R3 Université Paul Sabatier  
118, route de Narbonne  
31062 Toulouse

# LA BIO-INDICATION MYCOLOGIQUE DE LA FORET DOMANIALE SAINTE-CROIX-VOLVESTRE



**Stéphanie LEITE**

Mémoire de Master 2 Gestion de la Biodiversité  
Septembre 2008



MAITRE DE STAGE

**Sophie SEJALON**

Chargée de mission « Elaboration de la charte »  
Projet de PNR des Pyrénées Ariégeoises





## REMERCIEMENTS

Au terme de ce stage, je tiens à remercier sincèrement toute l'équipe du Syndicat Mixte de Préfiguration du Parc Naturel Régional des Pyrénées Ariégeoises qui m'a chaleureusement accueillie et plus particulièrement Sophie Séjalon pour ses suggestions et ses corrections concernant mon rapport.

Je remercie également Patricia Jargeat, Hervé Gryta et Fabian Carriconde pour m'avoir aidée et conseillée pour la réflexion scientifique et l'échantillonnage des ectomycorhizes.

Un grand merci à mon tuteur de stage : Patricia Jargeat pour ses conseils sur la partie expérimentale de l'analyse moléculaire réalisée durant ce stage (manipulations, séquençage, interprétations des résultats) ainsi que pour ses suggestions et ses corrections concernant mon rapport.

Je remercie également Charlotte Veyssière et Virginie pour leurs aides précieuses dans la partie expérimentale de l'analyse moléculaire des ectomycorhizes.

Je tiens à remercier Monique Gardes pour m'avoir orientée sur la méthodologie de travail.

Je remercie l'Office National des Forêts de l'Agence de Foix pour la réalisation du géo-référencement du dispositif expérimental et pour le prêt d'ouvrages bibliographiques.

Je tiens également à remercier Pierre-Arthur Moreau et Gilles Corriol qui m'ont apporté une aide indispensable dans l'attribution des statuts biologiques de certaines espèces fongiques et dans l'interprétation du spectre biologique.

Je remercie Louis Chavant pour la collecte des champignons sur l'ensemble de la forêt et son aide dans la détermination de ces espèces.

Je tiens à remercier l'équipe "Symbiose Endomycorhizienne et Signalisation Cellulaire" pour leur accueil chaleureux dans leur laboratoire à l'INRA-Auzeville et plus particulièrement Nathalie Séjalon pour son aide dans la réflexion scientifique, ses suggestions pour la présentation des résultats et ses corrections aux différentes parties du rapport.

Enfin, j'ai une pensée particulière pour Nicolas De Munnik, qui s'est investi avec engouement lors de nos nombreuses prospections de terrain et qui a fortement contribué à mon initiation mycologique. Je tiens aussi à le remercier pour ces précieux conseils et suggestions dans l'interprétation des résultats. Mais également, pour m'avoir prêté de nombreux ouvrages bibliographiques sur la mycologie.

## LISTE DES ABREVIATIONS

**PNR** : Parc Naturel Régional

**ONF** : Office Nationale des Forêts

**CRPF** : centre Régional de la Propriété Forestière

**SMPPNRPA** : Syndicat Mixte de Préfiguration du Parc Naturel Régional des Pyrénées Ariégeoises

**ACCA** : Association Communale de Chasse Agréé

**EDB** : Evolution et Diversité Biologique

**UPS** : Université Paul Sabatier

**ZNIEFF** : Zone Naturelle d'Intérêts Ecologiques, Faunistiques & Floristiques

**ECCF** : European Council for the Conservation of Fungi

**P07** : Placette 07

**P08** : Placette 08

**T** : Transect

**NCBI** : National Center for Biotechnology Information

# SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
<b>PREMIERE PARTIE : Sainte-Croix-Volvestre, une forêt domaniale originale.....</b>	<b>4</b>
<b>A Les particularités de la forêt domaniale de Sainte-Croix-Volvestre .....</b>	<b>4</b>
1) Une forêt domaniale hétérogène.....	4
2) Un état de santé préoccupant .....	5
3) Des valeurs patrimoniales et économiques à conserver .....	6
<b>B Bio-indication fongique et dépérissement : les objectifs du stage .....</b>	<b>6</b>
1) Problématique et objectifs du stage de fin de formation .....	6
2) Le Syndicat Mixte de Préfiguration du Parc Naturel Régional des Pyrénées Ariégeoises (SMPNRPA).....	7
a. <i>Le Projet de Parc Naturel Régional des Pyrénées Ariégeoises .....</i>	<i>7</i>
b. <i>Localisation et patrimoine du Projet de PNR des Pyrénées Ariégeoises .....</i>	<i>8</i>
c. <i>Missions et financement d'un PNR.....</i>	<i>8</i>
3) L'Agence départementale de l'Office National des Forêts Ariège.....	8
4) Le laboratoire d'Evolution et de Diversité Biologique (EDB).....	9
<b>C Importance des champignons dans la forêt de Sainte-Croix-Volvestre .....</b>	<b>9</b>
1) Le règne fongique, un règne autonome.....	9
2) La place des champignons dans les écosystèmes.....	10
a. <i>Des rôles biologiques diversifiés .....</i>	<i>11</i>
b. <i>Exigences écologiques des espèces fongiques.....</i>	<i>13</i>
c. <i>Etat de la protection mycologique .....</i>	<i>13</i>
3) La bio-indication fongique .....	14
<b>SECONDE PARTIE : Approche Méthodologique de l'identification de la diversité mycologique de la forêt.....</b>	<b>15</b>
<b>A Définition et localisation du dispositif expérimental.....</b>	<b>15</b>
1) Choix du dispositif expérimental.....	15
2) Choix et localisation du transect .....	16
3) Choix et localisation des placettes.....	18
<b>B La récolte des carpophores.....</b>	<b>18</b>
1) Les prospections mycologiques.....	18
a. <i>Prospections réalisées avant 2007 .....</i>	<i>18</i>
b. <i>Prospections réalisées dans le cadre de mon stage .....</i>	<i>18</i>
2) Constitution de la base de données des récoltes .....	19
<b>C La récolte des ectomycorhizes .....</b>	<b>20</b>
1) Réalisation de la cartographie .....	20
2) Prélèvements des mycorhizes .....	21
a. <i>Récoltes des racines d'Abies alba .....</i>	<i>21</i>
b. <i>Récolte et morphotypage des mycorhizes en laboratoire.....</i>	<i>21</i>

3) Caractérisation moléculaire des mycorhizes prélevées.....	21
a. Extraction de l'ADN des ectomycorhizes.....	22
b. Amplification de la région ITS par Nested-PCR.....	22
c. Analyse RFLP des produits d'amplification de la région ITS.....	23
<b>TROISIEME PARTIE : analyse et interprétation de l'approche méthodologique .....</b>	<b>24</b>
<b>A Analyse de la récolte des carpophores .....</b>	<b>24</b>
1) Analyse méthodologique des prospections mycologiques.....	24
a. Dans la forêt.....	24
b. Comparaison avec la bibliographie.....	25
c. Au niveau du dispositif expérimental.....	25
2) Diversité fongique et valeur patrimoniale des espèces récoltées .....	26
a. La richesse mycologique de la forêt domaniale Sainte-Croix-Volvestre.....	26
i. Répartition des espèces recensées.....	26
ii. Diversité mycologique .....	27
iii. Comparaison de la diversité fongique estimée avec celle d'autres forêts.....	27
iv. Valeur patrimoniale des espèces recensées.....	28
b. La richesse mycologique recensée sur le dispositif expérimental .....	29
i. Nombre d'espèces recensées .....	30
ii. Valeur patrimoniale des espèces recensées.....	31
3) Analyse fonctionnelle de la bio-indication fongique.....	31
a. Bio-indication fongique à l'échelle de la forêt.....	31
b. Bio-indication fongique au niveau du dispositif expérimental.....	33
c. Bilan .....	34
<b>B Analyse de la diversité ectomycorhizienne du Sapin pectiné.....</b>	<b>34</b>
1) Caractérisation de l'échantillonnage et du typage moléculaire .....	34
2) Caractéristiques des taxons recensés au sein du dispositif expérimental.....	35
3) Caractéristiques des taxons recensés au sein du transect.....	36
<b>C Comparaison carpophores et mycorhizes.....</b>	<b>38</b>
<b>QUATRIEME PARTIE : LA BIO-INDICATION FONGIQUE DE SAINTE-CROIX-VOLVESTRE, UNE ETUDE INNOVANTE ET PARTICULIEREMENT INTERESSANTE ... ..</b>	<b>39</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>42</b>
<b>LISTE DES GRAPHIQUES</b>	
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	
<b>LISTE DES FIGURES</b>	
<b>LISTE DES ILLUSTRATIONS</b>	
<b>ANNEXES</b>	

## INTRODUCTION

La forêt domaniale de Sainte-Croix-Volvestre est située en région Midi-Pyrénées et plus particulièrement au Nord Ouest du département de l'Ariège. Localisée au cœur des Petites Pyrénées Ariégeoises et sur le territoire du Projet de Parc Naturel Régional (PNR) des Pyrénées Ariégeoises (Annexe 1). Cette forêt, gérée par l'Office National des Forêts (ONF), est proche du village de Sainte-Croix-Volvestre. Elle est entourée par des forêts privées sous la coordination du Centre Régional de la Propriété Forestière (CRPF).

L'histoire de la forêt est encore mystérieuse. Deux hypothèses sont envisagées :



Soit la sapinière de Sainte-Croix-Volvestre dépendrait de la construction au cours du douzième siècle du couvent des religieuses de Fontevrault.



Soit il s'agirait d'une forêt issue des dernières grandes glaciations qui aurait franchi la période xéothermique et trouvé refuge sur les versants Nord et le fond des vallons grâce notamment à des actions humaines modérées.

Une étude génétique sur le Sapin pectiné (*Abies alba*) de Sainte-Croix-Volvestre et du massif pyrénéen pourrait révéler et décrire l'origine historique de la sapinière.



En 1263, Gentille de Gensac, héritière de la famille des Tersac, fit don de la forêt domaniale aux religieuses de Fontevrault qui gèrent ce patrimoine jusqu'à la Révolution où l'Etat en devint propriétaire jusqu'en 1853. Cette forêt, réputée pour la beauté remarquable de ses arbres, impressionnait en 1667 l'intendant des forêts de Louis XIV, Louis de Froidour. Elle servit aussi de refuge aux gentilshommes-verriers protestants. Soumise au Régime Forestier de 1874, la commune de Sainte-Croix-Volvestre fit l'acquisition pendant 17 ans d'une partie de la forêt jusqu'au 25 novembre 1970 où l'Etat en redevint propriétaire (Office de Tourisme Volvestre-Couserans, communication personnelle).

Actuellement en la main de l'Etat, la forêt constitue un lieu agréable et original en raison de la présence du Sapin pectiné (*Abies alba*, Fig. 1) à basse altitude (325 mètres). Ce type de sapinière habituellement rencontrée au niveau de l'étage montagnard sur des sols bien drainés est un cas unique en Europe. Dans ce cadre stationnel très particulier, le Sapin pectiné est de ce fait très sensible au déficit de l'hygrométrie pédologique et atmosphérique qui devrait s'accroître avec le changement climatique. Ce dépérissement forestier est apparu depuis une trentaine d'années dans la sapinière de Sainte-Croix-Volvestre et inquiète particulièrement les gestionnaires forestiers de l'ONF mais aussi l'Office de Tourisme du canton.

**Figure 1**

Sapin pectiné (*Abies alba*)



La forêt présente également des groupements végétaux particuliers relatifs à l'étage montagnard par la présence des Myrtilles (*Vaccinium myrtillus*). Son sous-bois révèle des influences subatlantiques (Lobélie brûlante *Lobelia urens*, Bruyère vagabonde *Erica vagans*) et méditerranéennes (Ronces *Rubus sp.* et Fougères). Les autres essences rencontrées sont le Pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) introduit en 1855 et localisé au niveau des versants secs, le Châtaignier (*Castanea sativa*), le Chêne rouvre (*Quercus robur*), l'Alisier torminal (*Sorbus torminalis*), le Merisier (*Prunus avium*), l'Epicéa (*Picea sp.*), le Sapin de Douglas (*Pseudotsuga douglasii*), le Pin laricio (*Pinus laricio*), le Pin maritime (*Pinus pinaster*), le Noisetier (*Coryllus avellana*) et le Hêtre (*Fagus sylvatica*).

Aucune diversité animale particulière (Blaireau, Renard, Sanglier, Chevreuils, Pic Noir, Pivert, ...) ne caractérise la forêt domaniale et la densité de chevreuils est estimée à 6 animaux pour 100 hectares.

Outre la présence du Sapin pectiné à basse altitude, la forêt présente également une richesse mycologique réputée exceptionnelle qui attire le public. Cet intérêt mycologique s'explique non seulement par sa richesse mais aussi par l'interdiction de récolte existant dans les forêts privées voisines. Il semble en plus que les autres forêts de basse altitude de la région comporteraient une diversité mycologique moindre.

Du fait de ces particularités, la forêt domaniale de Sainte-Croix-Volvestre constitue donc une source économique importante pour le canton de Sainte-Croix-Volvestre doublé d'un fort enjeu patrimonial.

Parce que les champignons peuvent être considérés comme des révélateurs de l'état de santé des écosystèmes, les gestionnaires de l'Office National des Forêts et le Syndicat Mixte de Préfiguration du Parc Naturel Régional des Pyrénées Ariégeoises ont décidé de s'y intéresser afin d'identifier l'origine potentielle et la dynamique du dépérissement de la sapinière ainsi que de caractériser la diversité mycologique de la forêt.

Le mycélium des champignons est une structure souterraine qui caractérise les communautés fongiques. Il est, de ce fait, difficilement accessible. Les carpophores (organes de fructification des champignons) représentent les seuls témoins directs des champignons. Ils sont cependant non pérennes et donc non identifiables avec les techniques usuelles des végétaux : relevés phytosociologiques en définissant une aire minimale, ... . C'est pourquoi, il n'existe pas encore de méthodes d'investigations spécifiques aux études mycologiques (Guinberteau & Courtecuisse, 1997). Les inventaires fongiques sont souvent réalisés par la récolte des carpophores. Cependant ces campagnes ne permettent pas d'accéder à la diversité fongique réelle de la rhizosphère. La fructification fugace des carpophores est régie par de nombreux facteurs : périodicité des cycles biologiques fortement dépendante de l'espèce, méconnaissance des cycles biologiques de nombreuses espèces, fluctuations considérables de la fructification selon les conditions climatiques.

Par conséquent, les espèces hypogées c'est-à-dire à fructifications souterraines, et celle ne possédant pas de stade sexué apparent sont ainsi fortement sous-estimées lors des campagnes mycologiques (Guinberteau & Courtecuisse, 1997). De plus, il existe peu de correspondance entre les espèces qui fructifient et celles qui abondent dans la rhizosphère (Gardes & Bruns, 1996a).



Afin de pallier ces difficultés, l'étude de la diversité mycologique de la forêt domaniale de Sainte-Croix-Volvestre est entreprise au niveau d'un dispositif expérimental selon deux méthodes d'investigations :



la récolte des carpophores.



l'identification moléculaire des ectomycorhizes des racines du Sapin pectiné (*Abies alba*).

L'identification moléculaire des ectomycorhizes est réalisée par l'intermédiaire de la région ITS, marqueur génétique adapté aux études des communautés fongiques ectomycorhiziennes. Cette région à l'avantage d'être variable d'une espèce à l'autre mais rarement au sein d'une espèce (Gardes & Bruns, 1996b). Située sur l'ADN nucléaire entre le gène codant pour l'ARNr 18s (constituant la petite sous-unité du ribosome) et l'ARNr 28s (constituant la grosse sous-unité du ribosome) l'ITS est composée de deux régions non-codantes (ITS1 et 2) séparées par le gène codant pour l'ARNr 5,8s (Annexe 2).

Ces deux méthodes complémentaires seront analysées et interprétées sur un dispositif expérimental dans le but de confirmer la diversité mycologique et d'identifier si possible les causes du dépérissement de la forêt Sainte-Croix-Volvestre.

La diversité mycologique de la forêt sera estimée à partir de la base de données du mycologue Nicolas de Munnik qui regroupent les récoltes effectuées sur l'ensemble de la forêt depuis 1988. Les espèces possédant un intérêt patrimonial seront mises en évidence afin d'apporter aux partenaires de mon étude des arguments justifiant de la création d'une zone de protection au cœur de la forêt domaniale. A ce jour, la région Midi-Pyrénées ne possède pas encore de liste rouge des champignons supérieurs. Les espèces à caractères remarquables seront donc déterminées en utilisant la liste préliminaire des taxons de champignons déterminants validée par le Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel de Midi-Pyrénées dans le cadre de l'élaboration des zones ZNIEFF par le Conservatoire Botanique Pyrénéen, Direction Régional de l'ENvironnement, ... (août 2004).

L'analyse moléculaire des mycorhizes du Sapin pectiné (*Abies alba*) permettra l'identification moléculaire de la diversité fongique en association avec le Sapin pectiné. Cette méthode sera réalisée en collaboration avec le laboratoire Evolution et Diversité Biologique de l'Université des Sciences Paul Sabatier Toulouse III.

La comparaison des deux méthodes permettra de dresser un inventaire exhaustif du dispositif expérimental dans l'objectif de répondre à la problématique du dépérissement forestier.

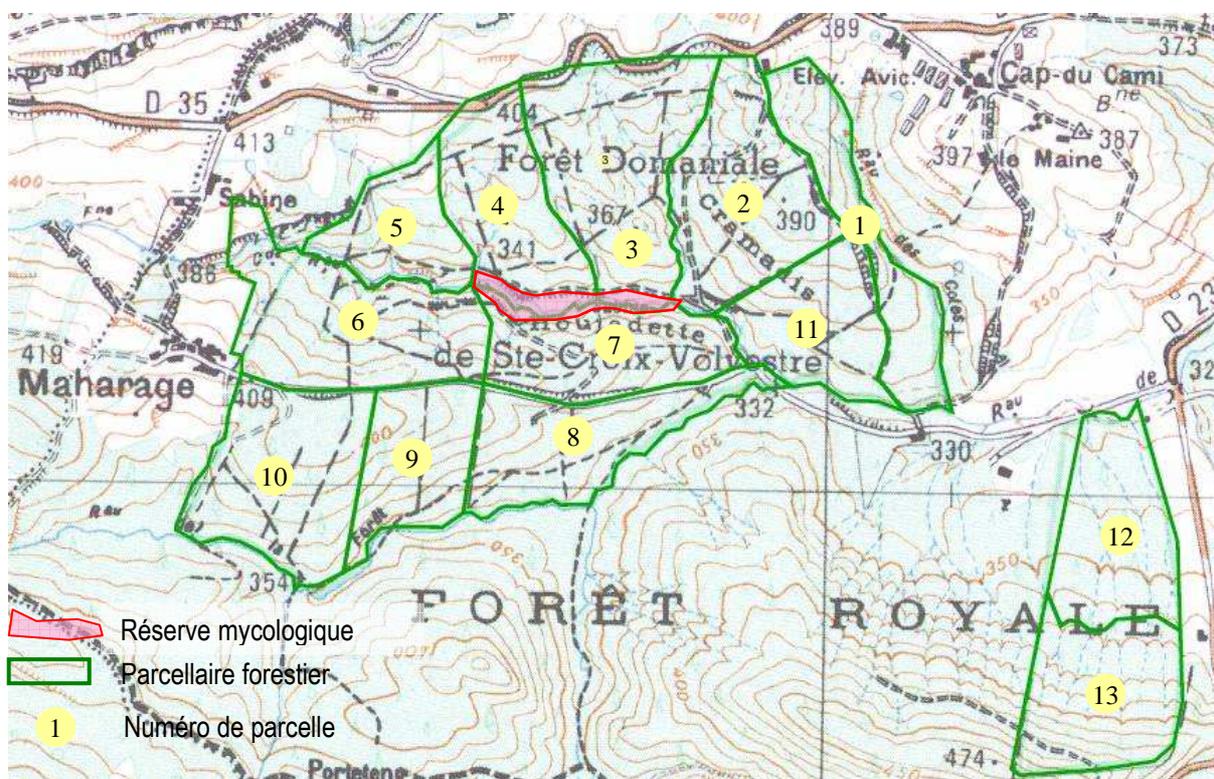


# PREMIERE PARTIE : Sainte-Croix-Volvestre, une forêt domaniale originale

## A Les particularités de la forêt domaniale de Sainte-Croix-Volvestre

### 1) Une forêt domaniale hétérogène

La forêt domaniale de Sainte-Croix-Volvestre est composée de deux massifs distants de 300 mètres représentant une surface d'environ 104 ha (103 ha 65 a et 04 ca selon le tableau général des propriétés de l'Etat). Le massif principal regroupe 11 parcelles forestières localisées sur le versant Nord et Sud de la petite vallée encaissée de la Sabine. Le massif secondaire dit des « Oustalots » est lui composé des parcelles forestières 12 et 13 situées sur le versant Nord de cette même vallée (Fig. 2). L'altitude de la forêt varie entre 470 m au niveau de la parcelle 13 et 325 m au niveau du ruisseau de La Sabine.



**Figure 2** Forêt Domaniale de Sainte-Croix-Volvestre (1 :25 000) (ONF Ariège, 2007)

Installée sur des sols limoneux-sableux plus ou moins lessivés selon la topographie, la forêt présente différents types de sol datant de terrain secondaire du crétacé supérieur. Des sols argileux sont ainsi localisés au nord sur le haut et des limons ont été observés sur une épaisseur supérieure à un mètre au niveau de la parcelle 12. La sapinière de Sainte-Croix-Volvestre possède une pluviométrie annuelle d'environ 1170 mm (station de référence de Saint-Girons). Le climat subit des influences océaniques et méditerranéennes avec des températures douces en hiver (0-10 °C) et en été (15-25 °C) qui maintiennent une certaine humidité en bas de versant grâce au confinement naturel.

La forêt domaniale Sainte-Croix-Volvestre est classée en Zone Naturelle d'Intérêts Ecologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF) de type I (secteur caractérisé par son intérêt biologique remarquable) du



fait de la présence du Sapin pectiné (*Abies alba*) à basse altitude et de son cortège fongique et en ZNIEFF de type II (grand ensemble nature riche et peu modifié ou qui offre des potentialités biologiques remarquables) en raison de la chaîne calcaire avec réseau karstique, de la présence de petites rivières, de dolines, de landes, de bois et de bocage sur le plateau.

La sapinière cantonnée aux endroits les plus frais est actuellement traitée en futaie jardinée. Le Pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) localisé sur les versants secs est géré en futaie régulière et les autres essences sont conservées en mélange à but cultural et dans l'objectif de favoriser la biodiversité. Conscient du rôle prépondérant des champignons dans la sylviculture, l'ONF Ariège en partenariat avec Nicolas De Munnik, mycologue réputé, ont créé une zone d'intérêt écologique où les arbres dépérissants sont conservés depuis 1997 (Fig. 2) afin de maintenir la biodiversité fongique. La gestion sylvicole a évolué au fur et à mesure des plans de gestions présentés en Annexe 3. Le dernier aménagement de l'ONF a pour objectifs principaux de maintenir et régénérer cette sapinière exceptionnelle par un renouvellement permanent et la prise en compte des trouées laissées lors de l'extraction des arbres dépérissants. Toutes les parcelles, exceptées la treizième et la zone de mise en repos, ont été rajeunies par des passages en coupe et la récolte d'arbres dépérissants. Le plan de gestion prévoit également de favoriser la diversité écologique par le développement d'un sous-étage feuillu varié qui protégerait dans un premier temps l'abroustissement des jeunes pousses du Sapin pectiné au détriment des ronces et autres herbacées.

## 2) Un état de santé préoccupant

Depuis 30 ans, la sapinière de Sainte-Croix-Volvestre montre de signes de dépérissement et de mortalité qui inquiètent les gestionnaires forestiers mais aussi l'Office de Tourisme Volvestre-Couserans soucieux de maintenir l'état de santé et les services économiques, environnementaux et sociaux de la forêt.

Apparu dans les forêts européennes au début des années '80', ce phénomène se manifeste par une perte de vitalité progressive, des mortalités d'organes pérennes chez les feuillus et une perte anormale des aiguilles chez les conifères. Initialement attribué aux pluies acides, le dépérissement forestier est en fait un processus évolutif difficile à appréhender, faisant intervenir de multiples facteurs (pauvreté des sols, stress dû aux épisodes météorologiques, pollutions atmosphériques, déficit de l'hygrométrie pédologique et atmosphérique ...). Les attaques d'insectes, de Gui (*Viscum album*) et de champignons lignicoles seraient des phénomènes aggravants consécutifs aux événements climatiques. Les dommages encourus entraînent une dépréciation de la qualité des produits sylvicoles, altèrent la diversité biologique et le fonctionnement des écosystèmes forestiers (Laurent & Lecomte, 2007 ; Flot *et al.*, 2007).

Avec le changement climatique, ce phénomène devrait s'accroître dans les années à venir. Étant donnée la localisation particulière du Sapin pectiné à basse altitude ainsi que sa sensibilité à la sécheresse et aux fortes chaleurs, le processus de dépérissement devrait être plus soutenu à Sainte-Croix-Volvestre que dans les autres forêts. Les gestionnaires forestiers ont déjà enregistré un dépérissement accéléré de la sapinière qui pourrait notamment s'expliquer par un déficit de l'hygrométrie pédologique et atmosphérique. Pour cette raison, le Syndicat Mixte de Préfiguration du PNR des Pyrénées Ariégeoises a proposé **d'étudier la diversité mycologique** de la sapinière ainsi que sa possible **bio-indication** pour tenter d'expliquer **l'origine et la dynamique de ce dépérissement**.



### 3) Des valeurs patrimoniales et économiques à conserver

La présence d'une sapinière à basse altitude riche en champignons fait que la forêt possède une forte valeur patrimoniale pour les habitants et constitue une source économique importante pour le canton de Sainte-Croix-Volvestre dans une région économiquement peu développée. Située à seulement une heure de l'agglomération Toulousaine, la sapinière est fortement fréquentée pour son dépaysement montagnard et très appréciée dans une région dominée par les essences caducifoliées.

La sylviculture et la chasse sont les deux principales sources économiques du canton. La forêt domaniale produit du Pin sylvestre de bonne qualité et du Sapin de qualité moyenne utilisé dans les charpentes. La proximité de la scierie de Sainte-Croix-Volvestre et les conditions climatiques favorables (enneigement et gel très rares) à la sylviculture assurent une exploitation hivernale et un écoulement rapide de la production contrairement à d'autres départements français. Pour réduire les dégâts de la faune sauvage dans la forêt, l'Association Communale de Chasse Agréée (ACCA) y pratique la chasse au sanglier et au chevreuil.

Outre l'exploitation sylvicole, l'intérêt mycologique de la forêt attire, d'année en année, de plus en plus de mycologues et amateurs de champignons. Cet accroissement d'intérêt découle d'une part de sa réputation mycologique en terme de diversité jugée exceptionnelle et d'autre part en raison de l'existence d'une interdiction de récolte fongique dans les forêts privées voisines. Un panneau de sensibilisation et d'information localisé à l'entrée de la forêt informe des conditions de la cueillette aussi bien en forêt domaniale (l'arrêté préfectoral du 10 juillet 1996 fixe et détermine les pratiques de la cueillette des champignons à 3 kg par personne et par jour) qu'en forêts privées où la cueillette est strictement interdite sans autorisation préalable du propriétaire selon les articles 547 et 583 du code civil et les articles R331-2 et L331-6 du code forestier (arrêt de la Cour d'Appel de Bordeaux du 13 février 1986).



Dans ce contexte (dépérissement préoccupant du cœur de la sapinière, richesse mycologique jugée exceptionnelle et le cadre stationnel particulier du Sapin pectiné à basse altitude), la sapinière de la forêt domaniale de Sainte-Croix-Volvestre a fait l'objet d'une étude mycologique intéressante et innovante en partenariat avec l'Office National des Forêts, le Syndicat Mixte de Préfiguration du Parc naturel Régional des Pyrénées Ariégeoises et le laboratoire Evolution et Diversité Biologique (EDB) de l'Université Paul Sabatier Toulouse III.

## B Bio-indication fongique et dépérissement : les objectifs du stage

### 1) Problématique et objectifs du stage de fin de formation

Face aux signes évidents de dépérissement de la sapinière Sainte-Croix-volvestre, le maintien de cette forêt est devenu un enjeu patrimonial important. Le Syndicat Mixte de Préfiguration du PNR des Pyrénées Ariégeoises a donc proposé une étude innovante et intéressante pour tenter d'expliquer l'origine de ce dépérissement.



Les objectifs principaux de mon stage sont donc :



de confirmer la **richesse mycologique** de la forêt.



**d'étudier le dépérissement** de la sapinière en utilisant la **bio-indication fongique**.

Cette étude doit permettre également de valoriser cet espace forestier et de préserver son patrimoine mycologique. Elle est établie en partenariat avec l'Office Nationale des Forêts qui souhaite maintenir cette sapinière en bon état de conservation. Elle pourrait déboucher sur la création de la première **réserve mycologique nationale** (5 à 6 hectares) au cœur de la sapinière en dépérissement. Cette étude a également fait l'objet d'une fiche d'action : mise en valeur de la forêt « relique » de Sainte-Croix-Volvestre dans le cadre de la charte forestière du Couserans. Elle vise à : étudier la forêt, le dépérissement et ses évolutions ; rechercher des mesures adaptées de gestion en envisageant des substitutions d'essences ; sensibiliser les élus, habitants et visiteurs ; créer un sentier pédagogique ; relancer l'organisation de la « fête à la forêt ».

Afin de répondre aux objectifs de l'étude, mon stage s'est effectué au sein de trois structures d'accueil : le Syndicat Mixte de Préfiguration du PNR des Pyrénées Ariégeoises, l'Agence Départementale de l'ONF Ariège et le laboratoire Evolution et Diversité Biologique.

## 2) Le Syndicat Mixte de Préfiguration du Parc Naturel Régional des Pyrénées Ariégeoises

Un Parc Naturel Régional est un « territoire rural habité, reconnu au niveau national pour sa forte valeur patrimoniale et paysagère, qui s'organise autour d'un projet concerté de développement durable, fondé sur la protection et la valorisation de son patrimoine » (Argumentaire des Parcs naturels régionaux, 2005).



### a. Le Projet de Parc Naturel Régional des Pyrénées Ariégeoises

L'idée du Parc Naturel Régional est née en 1997 par les acteurs locaux (associations, chefs d'entreprise, ...). Favorable à ce projet, le Conseil général de l'Ariège a mis en place une démarche visant à étudier les possibilités d'un Parc et a décidé de consulter les communes quant à l'engagement d'une étude de faisabilité. En décembre 2002, suite aux réponses favorables de 139 communes, le Département sollicitait officiellement le Conseil régional pour l'engagement de la procédure d'élaboration de la « charte du PNR ». En 2003, après l'étude de faisabilité commanditée par le Conseil Régional et réalisée par le cabinet MARGE-OGE, le périmètre d'étude du PNR a été délimité. L'équipe du Projet de PNR a été constituée en Janvier 2005. Le 1<sup>er</sup> juillet 2005, le Syndicat Mixte de Préfiguration du PNR a été créé pour rédiger la charte constitutive du Parc. Ce document contractuel valable 10 ans détermine les actions et le programme des actions.

Au terme d'une enquête publique réalisée début 2008, l'approbation de la charte constitutive du Projet de PNR est en cours. La création du Parc est attendue début 2009.



## **b. Localisation et patrimoine du Projet de PNR des Pyrénées Ariégeoises**

Le périmètre du projet de PNR des Pyrénées Ariégeoises se situe au cœur du Massif Pyrénéen, à la verticale de Toulouse. Il est intégralement inclus dans le département de l'Ariège et couvre la moitié de sa superficie soit 2 500 km<sup>2</sup>. Le Projet de PNR s'étend des Pré-Pyrénées au Nord, coteaux calcaires marquant la spécificité des Pyrénées ariégeoises, à la frontière espagnole et andorrane au Sud. Sa limite Ouest correspond à la limite du département de la Haute-Garonne et sa limite Est est constituée entre Foix et Tarascon par la rivière de l'Ariège (Annexe 1). L'ensemble du territoire est en "zone d'économie montagnarde" et "zone de haute montagne".

Le périmètre du Projet de PNR présente une grande hétérogénéité de paysages liés à la diversité des altitudes (montagne, "piémont" et coteaux), de nombreux milieux (majoritairement des forêts feuillues, pelouses et pâturages, des prairies, des roches nues, des terres cultivées), une eau de qualité en abondance et une très grande diversité biologique (faune, flore, fonge) qui lui confèrent un caractère patrimoine remarquable et qui se traduisent par de nombreuses mesures de protection et de gestion (84,4 % du territoire est classée en zone ZNIEFF de type II). Ce patrimoine naturel est reconnu par ses habitants comme le principal atout du territoire.

## **c. Missions et financement d'un PNR**

Un Parc Naturel Régional détient cinq missions : la protection et la gestion du patrimoine naturel et culturel ; l'aménagement du territoire ; le développement économique et social ; l'accueil, l'éducation et la formation ; l'expérimentation et la recherche. Il a pour objectifs de préserver et faire vivre le patrimoine naturel et culturel de son territoire, apporter au territoire des moyens financiers spécifiques, doter le territoire d'une excellente image et d'une reconnaissance nationale et internationale, à travers notamment, l'attribution d'une marque « Parc » aux produits de qualité.

Pour cela le PNR dispose d'un budget de fonctionnement et d'un budget d'investissement. Le budget de fonctionnement d'un Parc est alimenté en moyenne à hauteur de 30 % par la région, 30 % par le département et par les communes et groupements de communes, 12 % par l'Etat (notamment le Ministère en charge de l'Environnement), 13 % par des crédits européens et 15 % par des opérations spécifiques et des ressources propres. Le budget d'investissement est variable d'un PNR à l'autre.

C'est le Syndicat Mixte de Préfiguration du PNR des Pyrénées Ariégeoises qui a porté l'étude et a fixé les objectifs de mon stage. C'est également lui qui a coordonné l'ensemble du dispositif expérimental.

### **3) L'Agence départementale de l'Office National des Forêts Ariège**

**Office National des Forêts**

L'Office National des Forêts est placé sous la tutelle de l'Etat autour de deux Ministères : le Ministère de l'Agriculture et de la pêche, le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. Sur le plan national, l'ONF s'organise autour de 10 directions territoriales dont celle du Sud-Ouest. La direction territoriale du



SUD-OUEST regroupe la région aquitaine et Midi-Pyrénées. Elle s'organise autour de 7 agences dont l'Agence départementale de l'ONF Ariège, elle-même gérée en 4 Unités Territoriales et en 3 Unités Spécialisées (Aménagement, Expertises et travaux). La forêt de Sainte-Croix-Volvestre fait partie de l'Unité Territoriale Couserans Ouest.

L'Office National des Forêts a pour missions principales la gestion des forêts domaniales et des forêts publiques relevant du régime forestier ainsi que la réalisation de missions d'intérêt général confiées par l'Etat (protection du territoire par la gestion des risques naturels ; protection de la forêt par la création de réserves naturelles et biologiques ; la production conjuguant les exigences économiques, écologiques et sociales ; l'accueil du public par les aménagements, l'information et sensibilisation à l'environnement ; l'activité de "partenaire naturel" au services de tous responsables de milieux naturels). Ainsi, plus de 12 millions d'hectares de forêts et d'espaces naturels d'une grande diversité sont gérés pour le compte de l'Etat et des Collectivités Locales. En Ariège, l'Agence départementale de l'ONF gère 116 658 hectares dont la forêt de Sainte-Croix-Volvestre. Le financement du Régime Forestier provient à 87,4% de l'Etat et à 12,6 % des Collectivités.

L'Agence départementale de l'ONF Ariège m'a apporté un soutien technique dans le géo-référencement du dispositif expérimental et dans l'acquisition de divers ouvrages bibliographiques.

#### 4) Le laboratoire d'Evolution et de Diversité Biologique



EDB est un laboratoire situé sur le campus de l'Université Paul Sabatier Toulouse III dans le bâtiment 4R3. Il dépend de trois établissements : l'unité de recherche (UMR 5174) de l'Université Paul Sabatier Toulouse III, du Centre National de la Recherche Scientifique et de l'Ecole Nationale de Formation Agronomique.

Il s'organise autour de trois groupes de recherches : Interaction et Coévolution, Génétique et Evolution de la Biodiversité, Groupe Ecologie comportementale et structures des Communautés (GECCO).

J'ai réalisé mon stage en collaboration avec le Groupe "Interaction et Coévolution" et plus particulièrement au sein de l'équipe "Symbiose Mycorhizienne et Evolution des Champignons". Cette équipe m'a apporté un soutien technique et matériel dans les techniques d'analyses modernes de la biologie moléculaire tout au long de la réalisation de mon stage.

## C Importance des champignons dans la forêt de Sainte-Croix-Volvestre

### 1) Le règne fongique, un règne autonome

Autrefois considérés comme des végétaux particuliers, les champignons possèdent désormais leur propre règne en raison de particularités originales notamment découvertes grâce aux techniques moléculaires modernes. Les champignons sont des eucaryotes hétérotrophes (sans pigments



chlorophylliens) et absorbotrophes (la nutrition est réalisée par la pénétration de petites molécules à travers leur paroi et membrane cellulaire). Ils se développent dans le substrat sous la forme de mycélium (appareil végétatif formé de filaments diffus, tubulaires et / ou ramifiés) et se reproduisent par la production de spores selon un cycle de vie complexe capable d'utiliser la voie sexuée et / ou asexuée. La reproduction du mycélium est temporaire et se réalise lorsque les conditions climatiques sont favorables (Courtecuisse, 2000).

Les **Eumycota** ou les "**vrais champignons**" sont actuellement divisés en **5 groupes** :

-  Les **basidiomycètes**, saprotrophes, pathogènes ou ectomycorhiziens (cf **I.C.2)a.**
-  Les **ascomycètes** comprenant quelques espèces ectomycorhiziennes, beaucoup d'espèces phytopathogènes et de nombreuses espèces microscopiques.
-  Les **glomérormycètes** en association avec de nombreuses plantes par le biais des endomycorhizes (cf **I.C.2)a.**
-  Les **zygomycètes** surtout saprotrophes et plus communément appelés moisissures.
-  Les **chytridiomycètes**, les seuls champignons à produire des spores flagellées, surtout parasites des végétaux supérieurs.

Les mycologues distinguent l'embranchement des eumycota en deux groupes artificiels. Les **macromycètes** représentent les champignons possédant un carpophore de taille supérieure à 2 mm et les **micromycètes** plus difficilement discernables et observables en nature sont caractérisés par l'absence de carpophores ou leur présence à des tailles inférieures à 2 mm (Senn-Irlet *et al.*, 2007). Pour des raisons évidentes les micromycètes sont habituellement peu considérés lors des inventaires.

Traditionnellement étudiés par les mycologues, les **Myxomycètes** se sont ensuite révélés être plus proches du règne des protozoaires et les **Oomycètes** de celui des Algues brunes ou Phéophytes. Les myxomycètes (Fig. 3) sont des organismes se présentant sous la forme d'une masse gélatineuse. A déplacement lent, ils ingèrent par phagocytose la matière organique issue de la litière des forêts. Les oomycètes sont des organismes produisant des spores à deux flagelles nécessitant de ce fait une humidité suffisante pour assurer leur mobilité.



**Figure 3**  
Myxomycète  
indéterminé  
(Stéphanie Leite)

Ne faisant plus partie du règne fongique pour ses raisons, ces organismes n'ont pas été considérés dans l'analyse des résultats récoltés au cours de mon stage.

## 2) La place des champignons dans les écosystèmes

Hétérotrophes vis-à-vis du carbone, les champignons ont développé trois types de stratégies (Annexe 4) pour s'approvisionner en matière organique : le **saprophytisme**, le **parasitisme** et le **mutualisme** (ou symbiose). L'action bénéfique des espèces mycorhiziennes et l'abondance relative des espèces parasites ou saprophytes décomposant la matière organique vivante ou morte jouent des rôles fondamentaux dans les écosystèmes naturels et les équilibres biologiques. Cette diversité d'adaptation provient aussi de leur mode de reproduction complexe et très efficace. Ils sont désormais considérés comme étant des indicateurs de l'état de santé des écosystèmes (Courtecuisse, 2000).



### a. Des rôles biologiques diversifiés

Les champignons **saprophytes** (annexe 4) décomposent la matière organique morte ou inerte (débris végétaux, cadavres, ...) et représentent la majorité des macromycètes (Senn-Irlet *et al.*, 2007). Selon le substrat décomposé, nous pouvons différencier divers types de champignons saprophytes : les **saprophytes humicoles** (décomposant la matière organique du sol), **de la litière** (décomposant les feuilles mortes, brindilles et autres débris végétaux), **fongicoles** (sur d'autres champignons), **lignicoles** (décomposent la matière organique du bois mort), **herbicoles** (sur les plantes herbacées) et **coprophiles** (vivant sur les excréments).

La décomposition du bois mort et des débris végétaux fait intervenir une succession d'espèces saprophytes spécialisées dans la dégradation des glucides et des hydrates de carbone facilement hydrolysables, de la cellulose et hémicellulose (hydrates de carbone à longues chaînes moléculaires) et de la lignine (molécule complexe à nombreux noyaux phénoliques). Cette spécificité découle principalement de la nature biochimique des enzymes qu'ils sont capables de synthétiser (Durrieu, 1993).

Ainsi, nous pouvons distinguer les champignons des hydrates de carbone faciles à hydrolyser (principalement des moisissures pionnières), les champignons cellulolytiques (pourriture rouge cubique) et lignolytiques (pourriture blanche). Selon Gilbertson (1980, cité par Durrieu 1993), les champignons responsables des pourritures cubiques sont plus nombreux dans les bois de conifères et rempliraient un rôle écologique important dans leur perpétuation. Les pourritures cubiques produisent des débris stables qui peuvent persister jusqu'à 500 ans et qui constituent jusqu'à 30 % des couches superficielles du sol. Ces débris augmenteraient la capacité de rétention en eau du sol, favoriseraient la germination et l'installation des plantules, le développement des ectomycorhizes et la fixation en azote. Il est donc conseillé de ne pas découper, ni enlever les rémanants en forêts.

Les **parasites** (Annexe 4) éliminent les individus affaiblis ou malades en exploitant la matière organique vivante. Selon le substrat parasité nous pouvons distinguer les parasites **biotrophes** qui ne survivent que sur des organismes vivants et les parasites **nécotrophes** pouvant survivre en tant que saprophytes sur l'hôte parasité après sa mort. Les champignons parasitent tout type d'organismes : les champignons (**fongicoles**), les plantes (phytopathogènes) et les animaux (insectes, batraciens, poissons, ...). La distinction entre les saprophytes et les parasites est parfois difficile pour certaines espèces.

Les champignons mutualistes (ou **symbiotiques**) établissent des associations à bénéfices réciproques avec d'autres organismes autotrophes. Ainsi, les **mycorhizes** (Annexe 4), organes issus de l'association entre les radicelles des végétaux et le mycélium des champignons, constituent une symbiose très importante dans les écosystèmes forestiers. Cette symbiose réalisée par 90 % des végétaux assure au partenaire chlorophyllien une protection et une résistance contre les parasites et les prédateurs de la rhizosphère. Elle permet aussi la nutrition des deux partenaires par le biais d'un échange réciproque : le champignon développe son mycélium dans la rhizosphère et augmente ainsi la capacité d'absorption des éléments minéraux et de l'eau qu'il échangera contre des molécules carbonées primaires synthétisées par le végétal.



Il existe différents types de mycorhizes : les plus fréquentes sont les endomycorhizes (les plus anciennes où le mycélium du champignon est en contact intracellulaire avec les cellules corticales des racines du végétal) et les ectomycorhizes (en contact extracellulaire). Cette association a bénéfice réciproque aurait permis la colonisation du milieu terrestres par les végétaux (Le Tacon & Selosse, 1997).

Les ectomycorhizes dominent les écosystèmes forestiers et concernent un petit nombre d'essences mais un nombre d'espèces fongiques relativement variés. Un dixième des macromycètes serait des champignons mycorhiziens (Senn-Irlet *et al.*, 2007). Plusieurs espèces ectomycorhiziennes peuvent coexister autour des racines d'un même arbre voire autour d'une même racine (Durrieu, 1993). En revanche beaucoup d'espèces fongiques (comme les espèces du genre *Suillus*) sont spécifiques à une essence. Les mycorhizes sont très sensibles aux pluies acides et aux pratiques sylvicoles : traitements chimiques, tassement du sol, mécanisation, engrais minéraux ... qui provoquent leur disparition (Courtecuisse, 2000). Sans cette symbiose, la forêt aurait des difficultés à survivre.

Une autre association symbiotique est fréquemment rencontrée en forêt : la **symbiose lichénique** qui résulte de l'association entre un champignon et une algue ou une cyanobactérie.

De par les relations qu'ils entretiennent avec les autres organismes, les champignons remplissent des rôles écologiques essentiels dans les écosystèmes naturels. De ce fait, ils influencent le cycle des nutriments, la dynamique et la succession des plantes et stabilisent le sol. Comme tous les autres êtres vivants, ils participent aux équilibres biologiques (Fig. 4).

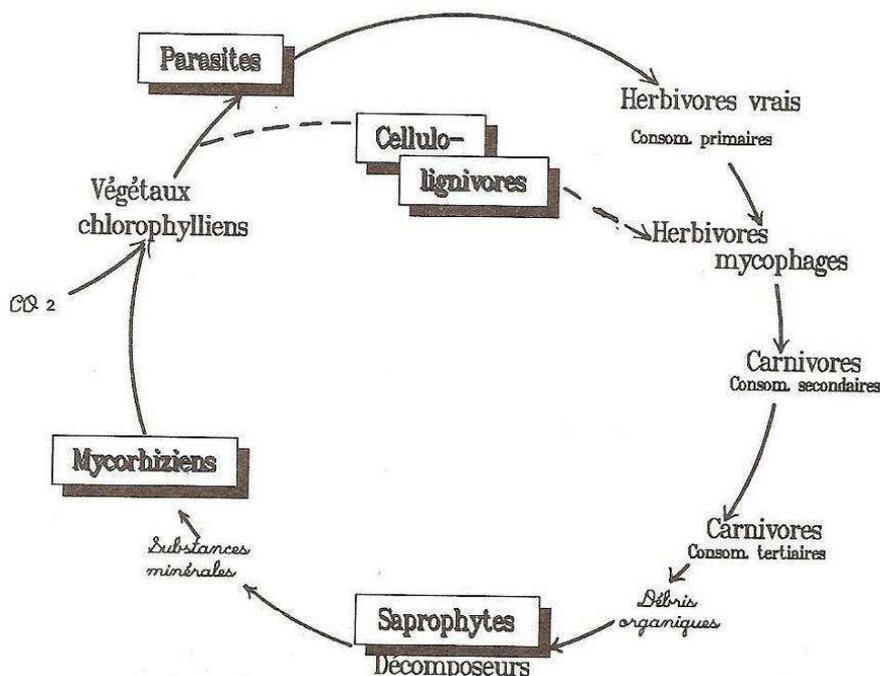


Figure 4 Place des champignons dans les écosystèmes naturels (Durrieu, 1993)



## **b. Exigences écologiques des espèces fongiques**

Les champignons sont des espèces aux besoins variés. Certains sont qualifiés d'ubiquistes tandis que d'autres ont des préférences impératives (biotope particulier, essence d'arbres, ...). La nature et la qualité du substrat sur lesquels vivent les espèces sont importantes pour leur survie. Les conditions climatiques sont aussi déterminantes. Certaines espèces sensibles peuvent ainsi ne plus apparaître pendant des années si certaines conditions météorologiques et environnementales ne sont pas respectées. La température, la lumière et l'humidité sont donc des paramètres à considérer lors des études et des prospections mycologiques.

Les écosystèmes forestiers représentent les milieux les plus diversifiés en espèces fongiques. A chaque type de boisement correspond un cortège fongique qui évolue selon l'âge, l'état de santé des peuplements et la gestion du site. Les jeunes peuplements et peuplements mono-spécifiques offrent peu de diversité fongique. C'est en revanche l'inverse pour les peuplements âgés et en mélange d'essences. Dans les écosystèmes forestiers, il existe une hiérarchie et une compétition entre les espèces : certaines apparaissent en premier pendant une certaine période puis laissent leur place ou cohabitent avec d'autres au fur et à mesure de la maturité du peuplement. On parle d'espèces pionnières et tardives. Les espèces tardives sont très importantes dans les forêts âgées (Selosse, 2001).

## **c. Etat de la protection mycologique**

En France, il n'existe à ce jour encore aucune liste de protection d'espèces fongiques. Dans le cadre de la convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe, le conseil européen pour la protection des champignons a établi une première liste rouge de 33 espèces à protéger. L'ECCF (*European Council for the Conservation of Fungi*), créé en 1985, est formé d'un groupe de mycologues confirmés comportant un délégué par pays européen. Il a pour objectif final l'établissement d'une liste rouge européenne. Ce projet nécessite la rédaction des listes rouges fongiques de chaque pays. En France, la liste rouge nationale est en cours de réalisation. Certaines régions sont déjà dotées de listes rouges, la première étant la liste rouge des champignons menacés du Nord-Pas-De-Calais créée par Régis Courtecuisse (Professeur à la Faculté des Sciences Pharmaceutiques et biologiques de l'Université de Lille, Groupe Recherche sur la Biodiversité et la Bioindication) en 1997. Cette liste alarmante regroupait environ 43,5% de la mycoflore de la région du Nord-Pas-De-Calais et concernait principalement les champignons ectomycorhiziens.

La raréfaction de certaines espèces est le résultat de facteurs anthropiques et environnementaux : réchauffement climatique, sylviculture, récolte excessive et destructive, .... Des restrictions de ramassage existent dans les forêts domaniales et privées mais restent difficilement contrôlables surtout en forêt domaniale où l'accès est libre.

Les trois quarts des forêts françaises couvrant 16 millions d'hectares sont privés et leur fréquentation ainsi que la cueillette y sont généralement interdites.



### 3) La bio-indication fongique

Souvent négligés dans les études environnementales, les champignons se révèlent pourtant être des témoins efficaces de l'état sanitaire d'un écosystème (Courtecuisse, 2000). Ils participent en effet à l'équilibre naturel des écosystèmes, entretiennent des relations importantes avec les autres êtres vivants de la biosphère et subissent les mêmes pressions anthropiques et environnementales.

La bio-indication fongique est une notion assez récente dans le domaine mycologique. Elle nécessite la connaissance et l'étude :

-  du comportement des champignons par rapport aux biocénoses,
-  de la distribution géographiques des espèces (chorologie),
-  des réponses des espèces face aux pressions environnementales. Ces connaissances apportent des renseignements sur les exigences et les seuils de tolérance écologique des espèces (Courtecuisse, 2000).

Ainsi, le développement d'une espèce, l'apparition ou sa disparition dans un écosystème dénonce un déséquilibre environnemental qui peut être dû à une évolution spontanée du milieu ou à une perturbation naturelle ou anthropique.

La bio-indication se mesure à partir du spectre biologique (**SB**) défini par Régis Courtecuisse comme étant le rapport entre le nombre d'espèces mycorhiziennes et le nombre d'espèces saprophytes humicoles et de la litière (Moreau *et al.*, 2002).

A ce jour, il existe une seule publication officielle utilisant ce concept : il s'agit du Renecofor 2002. Le calcul du spectre biologique nécessite la connaissance du statut biologique des champignons recensés dans l'écosystème.

Il est estimé qu'un spectre biologique autour de 0,5 correspondrait à un milieu forestier en bon équilibre. En dessous de 0,5 ce spectre indiquerait un déficit en espèces mycorhiziennes, signe probable d'eutrophisation ou de dépérissement des arbres. Au dessus de 0,5, le spectre biologique évoquerait un déficit en champignons décomposeurs et donc de matière organique dans le sol qui pourrait résulter d'une surexploitation forestière ou d'un sol appauvri en matière organique (Pierre-Arthur Moreau, communication personnelle).

$$\text{SB} = \frac{\text{Nombre d'espèces mycorhiziennes}}{\text{Nombre d'espèces saprophytes humicoles + saprophytes de la litière}}$$



## SECONDE PARTIE : Approche méthodologique de l'identification de la diversité mycologique de la forêt

Afin de répondre aux objectifs du stage tout en considérant les particularités des communautés fongiques, la récolte des carpophores sera couplée à l'analyse moléculaire des ectomycorhizes du Sapin pectiné.

### A Définition et localisation du dispositif expérimental

Les récoltes des carpophores et des ectomycorhizes ont été effectuées à l'échelle d'un dispositif expérimental délimité en octobre 2007 en partenariat avec l'ONF Ariège, le Syndicat Mixte de Préfiguration du Projet de PNR des Pyrénées Ariégeoises et le laboratoire EDB de l'Université des Sciences Paul Sabatier Toulouse III. Ce dispositif permet d'effectuer des récoltes sur une aire de surface réduite afin d'éviter, d'une part, un temps de prospection long et fatiguant et, d'autre part, de sous évaluer l'importance relative des différentes espèces. Par ailleurs, il limite les risques d'analyser simultanément plusieurs milieux.

#### 1) Choix du dispositif expérimental

Le dispositif expérimental comprend un transect délimité sur le massif principal au niveau de la sapinière en dépérissement puis deux placettes localisées sur le second massif de la forêt et présentant une écologie différente du transect dans l'objectif de pouvoir établir des comparaisons (Fig. 5).

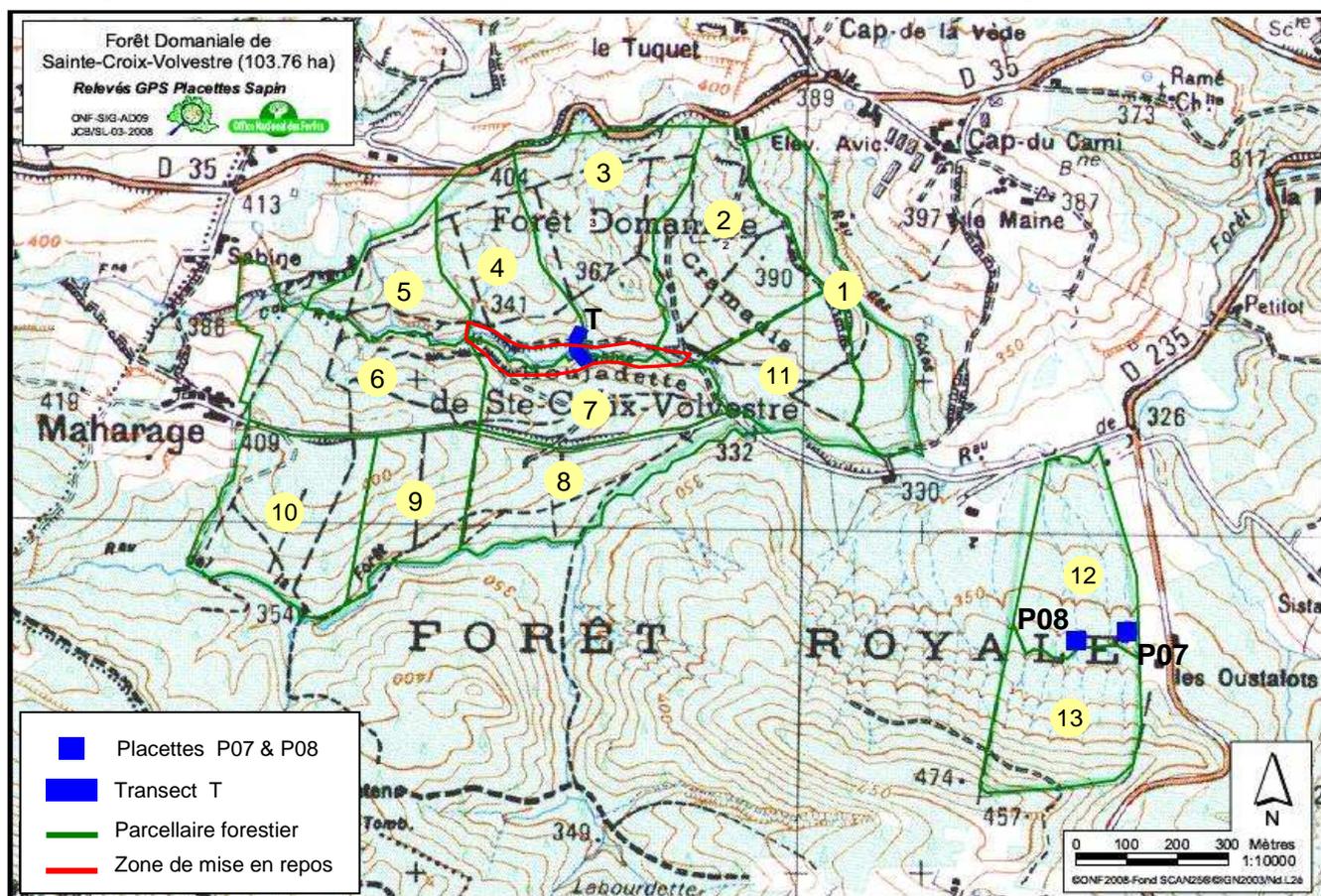


Figure 5 Localisation du dispositif expérimental dans la forêt domaniale Sainte-Croix-Volvestre (ONF Ariège)

## 2) Choix et localisation du transect

Un transect a été délimité sur le massif principal au sein de la sapinière en dépérissement et plus précisément au niveau des parcelles forestières domaniales 4 et 7. Ce transect mesure 65 m de long et 13 m de large soit une surface de 845 m<sup>2</sup>. Etant donné les objectifs du stage (cf. I.B.1)) et les caractéristiques propres au Sapin pectiné, le transect a été disposé sur la sapinière en dépérissement présentant un gradient hygrométrique intéressant. En effet, il semblerait que le dépérissement de la sapinière de Sainte-Croix-Volvestre connaît une accélération en raison d'un déficit pédologique et atmosphérique de l'hygrométrie. Le transect est traversé au Sud par le ruisseau de la Sabine qui le longe sur son flanc Ouest (Annexe 5).

Localement, bien que nous soyons en présence d'une sapinière en dépérissement mise en repos de toutes activités sylvicoles depuis 1997, trois types de micro-habitats peuvent être distingués sur ce transect :

-  Au nord, le transect est caractérisé par une trouée dominée par des fougères aigles (*Pteridium aquilinum*) et la présence de myrtilles (*Vaccinium myrtillus*), végétation habituellement rencontrée au niveau de l'étage montagnard. A ce niveau, la sapinière d'âge jeune (diamètre des arbres < 20 cm) se trouve en mélange avec des caducifoliées : Châtaignier (*Castanea sativa*) et Bourdaine (*Frangula alnus*) (Fig. 6a).
-  Au centre, nous sommes en présence d'une futaie jardinée de Sapin pectiné (*Abies alba*) fortement dépérisante : les adultes montrent des signes évidents de dépérissement : pertes des aiguilles, houppier déformée, tronc piqué, arbres tombant au sol. C'est à ce niveau que la Sabine longe le flanc Ouest du transect (Fig. 6b).
-  Au Sud, l'habitat est délimité visuellement par le ruisseau de la Sabine. Nous sommes en présence d'une sapinière à futaie jardinée meilleure état de santé localisée sur une pente abrupte d'environ 30° (Fig. 6c).

### Profil topographique du Transect

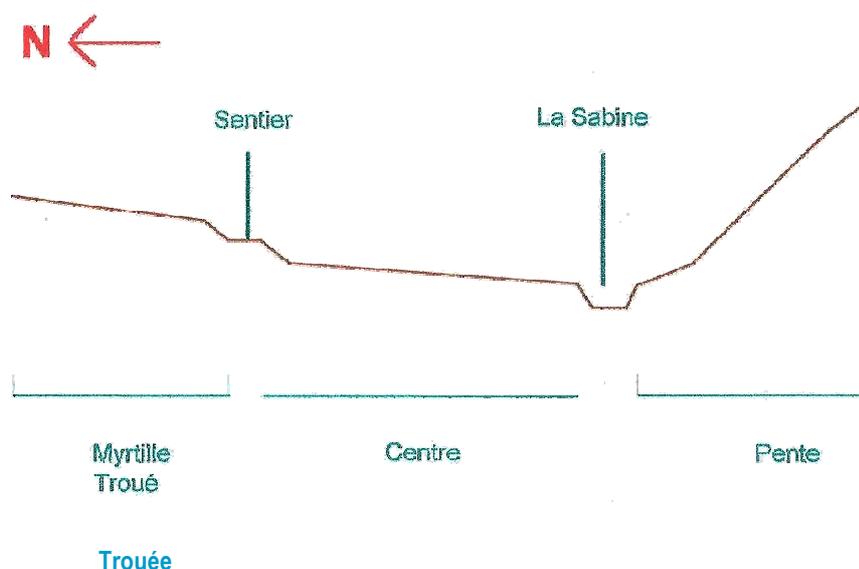


Figure 6 Profil topographique du transect (Stéphanie Leite)



### 3) Choix et localisation des placettes

Une première placette (P07) mesurant 15 m de long x 15 m de large soit une surface de 225 m<sup>2</sup> a été définie sur le second massif de la forêt domaniale, à l'extrémité de la parcelle 12 (Fig. 5). Une placette correspond à une surface d'échantillonnage homogène et plus petite. Cette placette présente une écologie bien différente de celle du transect : mélange de Pins sylvestres (*Pinus sylvestris*), Châtaigniers (*Castanea sativa*), Chênes (*Quercus sp.*), Noisetiers (*Coryllus avellana*), Frênes (*Fraxinus excelsior*) et Sapins pectinés gûités (*Abies alba*) situés au bord d'une petite mare. Pour cette raison et dans l'optique de pouvoir évaluer le dépérissement de la sapinière par l'étude des mycorhizes, une seconde placette (P08) présentant une végétation plus homogène et une écologie semblable au transect a été choisie dans la parcelle 12 (Fig. 5, Annexe 6). Il s'agit d'une sapinière en assez bonne santé caractérisée par du Sapin pectiné (*Abies alba*) en mélange avec du Châtaignier (*Castanea sativa*), du Noisetier (*Coryllus avellana*). Le sous-bois présente quelques îlots de Houx (*Ilex aquifolium*) et de Fragon (*Ruscus aculeatus*). Cette placette a été délimitée à l'issue d'une visite sur l'ensemble de ce massif après concertation avec Nicolas De Munnik et les partenaires du projet.

## B La récolte des carpophores

### 1) Les prospections mycologiques

Les prospections mycologiques ont été réalisées au niveau du dispositif expérimental et au niveau de la forêt domaniale afin de compléter les campagnes mycologiques conduites par Nicolas De Munnik dans les années antérieures.

#### a. Prospections réalisées avant 2007

Depuis 1988, des prospections mycologiques bénévoles ont été réalisées à l'initiative du mycologue et botaniste reconnu : Nicolas De Munnik. Ces prospections ont été conduites selon les disponibilités du récolteur résidant à environ une heure de la forêt domaniale Sainte-Croix-Volvestre. En effet, Nicolas De Munnik effectuait également des inventaires dans d'autres forêts du département Ariégeois ce qui explique le fait que la forêt domaniale Sainte-Croix-Volvestre ait parfois été peu visitée (Annexe 7). Globalement, les prospections réalisées dans cette forêt ont généralement été à la saison de fructification majoritaire des champignons c'est-à-dire en automne.

#### b. Prospections réalisées dans le cadre de mon stage

Dans le cadre de mon stage, les campagnes mycologiques ont débuté en septembre 2007 sur la forêt et à partir du 9 octobre 2007 sur le dispositif expérimental. Afin d'aboutir à un inventaire exhaustif, Nicolas De Munnik et moi-même avons réalisé ensemble des visites régulières à raison d'environ une prospection



par semaine sur l'ensemble du dispositif expérimental au cours de la saison automnale. Nous avons concentré les prospections en automne en raison de l'écologie des champignons, organismes à fructification majoritairement automnale. Quelques prospections plus espacées dans le temps ont tout de même été conduites pendant les autres saisons au cours de cette année. De ce fait, ces visites permettent de s'attarder sur des espèces à fructification plus discrètes : croûtes, mycéliums sous écorces tombées au sol ou souches mortes, espèces corticoles fructifiant à cette période. La placette P08, définie en mars 2008 pour sa végétation homogène et son écologie semblable au transect, présente donc peu de prospections automnales. Ces résultats seront obtenus au cours de l'automne 2008.

Les visites conduites sur le dispositif expérimental se sont à chaque fois réalisées sans utiliser de méthodes statistiques d'échantillonnages particulières en raison de l'absence de méthode d'investigations spécifiques aux études mycologiques (Guinberteau & Courtecuisse, 1997). Le cheminement au sein de ce dispositif a donc été effectué dans le souci de piétiner le moins possible le sol et de limiter le dérangement (bois morts retournés, ...). Les espèces fongiques « traditionnelles » : Eumycota (vrai champignon) et Myxomycota (Myxomycètes et Oomycètes) déterminables sans prélèvements ont directement été notées sur un bloc note. Pour les espèces plus difficiles à identifier, quelques spécimens (1 à 2 spécimens en général) ont été prélevés afin de procéder sur le terrain à un examen oculaire (utilisation de loupes de poche) ou pour être examinés en laboratoire (certaines espèces nécessitent un examen microscopique indispensable). Par ailleurs, les mycéliums présents sous et sur les branches tombés au sol ont également été étudiés en laboratoire dans certains cas. A chaque visite, une liste des taxons recensés sur le transect (T) et les placettes (P07 & P08) a donc été élaborée. Les taxons recensés sur le transect ont aussi été distingués selon le micro-habitat dans lequel ils ont été observés au sein du transect. Trois listes de taxons ont donc été élaborées en fonction des micro-habitats du transect : trouée, centre et pente (Fig. 6).

Au total, 17 prospections mycologiques ont été réalisées sur le dispositif expérimental (P07 et T) : 9 au cours de la saison automnale de 2007 et 7 au cours de l'année 2008. La placette P08 a fait l'objet de 6 prospections exécutées au cours de l'année 2008 (Annexe 7).

## 2) Constitution de la base de données des récoltes

De retour au laboratoire, toutes les espèces recensées ont ensuite été saisies sous format informatique dans une base de données Access créé par Nicolas De Munnik. Cette base de données comporte actuellement 3235 données et divers champs informatifs caractérisant le relevé et l'espèce récoltée :

Genre:	Espèce:	Carte:	Rectangle:	Lieu:	Commune:	Date:	Exsiccata:
Agaricus	arvensis	2046	18	forêt de Sainte Croix 18	Sainte-Croix-Volvestre	06-oct-90	

Det/Leg:	Famille:	Ordre:	Classe:	Tri système:	Zone:	Altitude:	Géologie:
expo Arrien en Bethmale 1990	Agaricaceae	Agaricales	Basidiomycotina	1	2	390	

Ecologie:	Substrat:	Essence:	Altitude différente de Lieu:	Associations:	Observations:	Auteur:
						Schaeff. : Fr.



Outre les éléments décrivant la taxonomie de l'espèce relative à la classification ancienne de Geoffrey Clough Ainsworth (1905-1998) et Guy Richard Bisby (1889-1958) du *Dictionnaire of Fungi* (1971) ; les caractéristiques des relevés (date, lieu, commune, nom du récolteur, altitude, géologie), des informations traitant de l'écologie de l'espèce (Ecologie, Substrat, Essence, Associations, Observations) ainsi que leur localisation sur une carte (Annexe 8) et / ou sur le transect (trouée, centre ou pente) sont également renseignées dans la base de donnée.

## C La récolte des ectomycorhizes

Dans le cadre de notre étude, l'analyse moléculaire des ectomycorhizes bien que plus destructive et fastidieuse est une méthode qui a l'avantage de décrire plus précisément la composition des communautés fongiques. Leur récolte et leur analyse a été réalisée en collaboration avec le laboratoire EDB de l'Université des Sciences Paul Sabatier Toulouse III. Au regard de la quantité de travail que représente un tel objectif pour seulement 6 mois de stage, le laboratoire EDB m'a fourni un soutien matériel et personnel (partage de l'analyse moléculaires des ectomycorhizes) indispensable dans la réalisation de la cartographie du dispositif expérimental, dans la récolte des mycorhizes et dans l'analyse moléculaire des ectomycorhizes. L'étude des champignons ectomycorhiziens nécessite tout d'abord de posséder une cartographie précise du dispositif expérimental. En raison de l'écologie différente de la placette P07, les récoltes des mycorhizes ont été essentiellement effectuées sur le transect et la placette P08.

### 1) Réalisation de la cartographie

Avant de procéder à la récolte des racines du Sapin pectiné, une cartographie précise du dispositif expérimental (transect et placette 08) a été réalisée pour caractériser la végétation locale, choisir et localiser les prélèvements de racines (Annexes 5, 6). La cartographie doit permettre de localiser l'emplacement précis des essences (*Abies alba*, feuillus...), des souches, des bois tombés au sol et d'autres éléments remarquables (chemin de traverse, ruisseau, tas de branches mortes, îlots de houx et de fragon) qui permettront en plus d'assurer un repérage facile des prélèvements à réaliser sur le terrain.

La réalisation de cette cartographie a nécessité une méthodologie de terrain particulière (Annexe 9) :



Mise en place d'un cordeau et d'un décamètre traversant le centre de la parcelle à cartographier.



Schéma manuel des éléments figurant de chaque côté du cordeau « ordonné ».



Relevé de 2 distances entre 2 points du cordeau et les éléments à cartographier.



Relevé des caractéristiques des divers éléments sur la fiche de terrain.

Les mesures ont été notées sur une fiche de terrain réalisées pour cette étape. Les distances mesurées sur le transect et la seconde placette permettent ensuite la réalisation sur papier de la cartographie à l'aide de la ligne « ordonnée ». A l'aide d'un compas et des deux distances relevées sur le terrain, l'élément à cartographier est précisément localisé sur papier à l'échelle 1/100 (Annexes 5, 6).



## 2) Prélèvements des ectomycorhizes

### a. Récoltes des racines d'*Abies alba*

Dans la limite du temps imparti à l'étude, deux campagnes d'échantillonnages des racines de Sapin pectiné ont été réalisées : la première le 24 mars 2008 lors de la reprise végétative et la seconde le 4 juillet 2008 (Tableau 1).

Afin de respecter l'effort d'échantillonnage entre le transect et la placette P08, 16 prélèvements de racines ont été effectués sur T et 6 autres sur P08. Pour chaque prélèvement, 4 racines ont été récoltées dans un sac isotherme puis conservées au laboratoire à 4°C.

**Tableau 1** Caractéristiques des prélèvements ectomycorhiziens effectués sur le dispositif expérimental.  
11bis et 12 bis correspondent au second prélèvement de ceux du premier échantillonnage.

Dispositif expérimental		24 mars 2008	4 juillet 2008
Transect	Myrtille Fougère	Prélèvements 1 et 2	Prélèvements 13
	Centre	Prélèvements 3, 4, 5, 6, 7, 8	Prélèvements 14 et 15
	Pente	Prélèvements 9 et 10	Prélèvements 16
Placette		Prélèvements 11 et 12	Prélèvements 11bis, 12bis, 17 et 18

A chaque campagne de récolte, les prélèvements ont été localisés de façon précise sur la cartographie manuelle en relevant les distances existantes avec les éléments remarquables du terrain. Les racines ont été récoltées en dessous de la couche organique du sol soit à une profondeur de 15 à 20 cm.

### b. Récolte et morphotypage des ectomycorhizes en laboratoire

De retour au laboratoire, les racines sont soigneusement lavées à l'eau courante pour éliminer la terre résiduelle et permettre une meilleure observation des ectomycorhizes sous la loupe binoculaire. Pour chaque racine récoltée, 10 ectomycorhizes ont été prélevées à l'aide d'une pince sous la loupe binoculaire puis conservées individuellement dans un tube eppendorf contenant 200 µL de solution de lyse : Nucleic Lysis Solution (Proméga). Chaque ectomycorhize prélevée a été identifiée par un code PxMy (x étant le numéro du prélèvement, y le numéro de l'ectomycorhize) et typées selon ces critères morphologiques (couleur, aspect : dichotome, simple ou ramifiée, turgescence, poilues,... ; présence / absence de mycélium au contact). Une fois prélevées, les ectomycorhizes sont ensuite conservées au laboratoire à -20°C.

## 3) Caractérisation moléculaire des ectomycorhizes prélevées

L'analyse moléculaire des ectomycorhizes consiste à identifier le taxon prélevé en utilisant les techniques moléculaires modernes. Cette caractérisation spécifique est réalisée en étudiant le polymorphisme de l'ITS (*Internal Transcribed Spacer*) de l'ADN ribosomique nucléaire par la technique Nested PCR-RFLP (*Polymerase Chain Reaction-Restriction Fragment Length Polymorphism*) et du séquençage de l'ITS.



### a. Extraction de l'ADN des ectomycorhizes

Les ectomycorhizes sont broyées mécaniquement à l'aide d'un piston en téflon puis incubées pendant 15 minutes à 65°C pour éclater les cellules et libérer l'ADN. Les acides nucléiques sont ensuite séparés des protéines et des débris cellulaires par l'ajout de 67 µL d'une solution de précipitation des protéines (Protein Precipitation Solution Proméga). La solution obtenue est mélangée au vortex pendant 20 secondes à vitesse maximale puis centrifugées pendant 5 minutes à 13 200 rpm. Cette étape aboutit à la formation d'un culot de débris cellulaires et de protéines. Le surnageant est délicatement prélevé et transféré dans un tube Eppendorf contenant 200 µL d'isopropanol.

Après centrifugation pendant 10 minutes à 13200 rpm et élimination du surnageant, l'ADN est lavé des sels par l'ajout de 200 µL d'éthanol à 70 %. Après une nouvelle centrifugation de 10 minutes à 13200 rpm et élimination du surnageant, les culots d'ADN sont séchés pour éliminer toute trace résiduelle d'éthanol. L'ADN est finalement remis en suspension dans 20 µL d'eau et les extraits sont stockés à 4°C. L'ADN est ensuite dilués au 1/10<sup>ème</sup>.

### b. Amplification de la région ITS par Nested-PCR

La région ITS de l'ADN ribosomique nucléaire est amplifiée par Nested-PCR ce qui correspond à deux PCR successives, en utilisant deux jeux d'amorces : NS5, ITS4 et ITS4, ITS1-F.

La première PCR, avec les amorces universelles NS5 et ITS4 (White *et al.*, 1990, cité par Damon 2006) permet l'amplification de l'ADN ribosomique de la plante et du champignon et la seconde cible l'amplification de la séquence nucléaire fongique en utilisant l'amorce ITS4 et l'amorce spécifique des champignons ITS1-F (Gardes & Bruns, 1993). La réaction d'amplification est réalisée en ajoutant 2 µL d'ADN dilué au 1/10<sup>ème</sup> à 23 µL d'un mélange réactionnel contenant 5µL de tampon 5x, 0,5µL de dNTP 10 mM, ITS4 50 µM et NS5 (ou ITS1-F) 50 µM, 0,2µL de GoTaq 5u/µL et 16,5 µL d'eau stérile.

A chaque fois, les manipulations s'effectuent avec des matériels autoclavés et des cônes à filtre pour éviter la contamination des échantillons par des DNases ou de l'ADN étranger provenant du milieu extérieur ainsi que la contamination des échantillons entre eux. Pour chaque réaction d'amplification, un contrôle positif, avec de l'ADN connu et un contrôle négatif où l'ADN est remplacé par de l'eau stérile est effectué parallèlement aux échantillons à analyser afin de pouvoir détecter les éventuelles contaminations des échantillons par de l'ADN étranger.

Les amplifications se sont déroulées dans un thermocycleur Master Cycler Eppendorf selon les programmes suivants :

-  PCR 1 : l'ADN subit une dénaturation initiale de 3 minutes à 95°C suivie de 5 cycles à trois étapes (dénaturation de 30 s à 95°C, fixation des amorces pendant 30 s à 52°C, élongation de l'ADN pendant 1 minute 30 à 72°C) et de 30 cycles comportant les mêmes étapes mais avec une température de 51°C pour la fixation des amorces. Une élongation finale de 10 minutes à 72 °C termine les chaînes en voie de synthèse. Les échantillons sont ensuite maintenus à 4°C.





PCR 2 : dénaturation initiale de 3 minutes à 95°C suivie de 5 cycles à trois étapes (dénaturation de 30 s à 95°C, fixation des amorces pendant 30 s à 56°C, élongation de l'ADN pendant 1 minute 30 à 72°C) et de 25 cycles comportant les mêmes étapes mais avec une température de 55°C pour la fixation des amorces puis élongation finale de 10 minutes à 72 °C. Les échantillons sont ensuite maintenus à 4°C

La qualité et la quantité des produits d'amplification sont vérifiées par électrophorèse d'un aliquot de 2µL + 1µL de tampon de charge (6x Load, Proméga) sur gel d'agarose à 1,5% préparé avec du tampon TAE 0,5x (0,02 M Tris-Acétate ; 0,05 mM EDTA) et contenant 0,10 µg/ml de bromure d'éthidium. L'électrophorèse se déroule dans du tampon TAE 0,5X (0,02 M Tris-Acétate ; 0,5 mM EDTA) sous une tension de 100V. Afin d'estimer la taille des fragments amplifiés, un marqueur de masse moléculaire (100 pb ladder, Proméga) est mis à migrer parallèlement aux produits d'amplification. Les fragments d'ADN sont visualisés sous UV et une image du gel est saisie par caméra CDD pilotée par le logiciel Bio-vision++ (Vilbert Lourmat, France).

### c. Analyse RFLP des produits d'amplification de la région ITS

Deux enzymes de restriction : *HaeIII* et *NdeII* (Proméga), sont utilisées pour digérer la région ITS. Un aliquot de 8 µL de chaque échantillon d'ADN amplifié est digéré dans un volume final de 20 µL d'un mélange réactionnel contenant 2 µL de tampon adapté à chaque enzyme fourni par le fournisseur, 0,2 µL d'enzyme de restriction et 10 µL d'eau stérile. Les échantillons sont ensuite incubés pendant 2 à 6 heures à 37 °C.

Les profils RFLP sont obtenus par électrophorèse des produits de digestion sur un gel d'agarose 2 % (Agarose standard : Nu-Sieve 1/1) permettant la séparation de fragments d'ADN de petite taille. Un marqueur de poids moléculaire (100 pb ladder Proméga) est mis à migrer parallèlement aux produits de la digestion pour permettre la détermination des fragments digérés. La migration se fait dans du tampon TAE 1X (0,04 M Tris-Acétate ; 1 mM EDTA). Les profils de restriction sont visualisés, photographiés et les tailles des fragments déterminés comme précédemment décrit. Les profils de restriction sont ensuite comparés entre eux afin de différencier les différents taxons ectomycorhiziens ce qui permet de trier et de limiter le séquençage des ITS aux taxons avérés différents.

Les ITS amplifiés des différents taxons obtenus ont été séquencés par la société Cogenics (Meylan). Les séquences ont ensuite été comparées aux séquences déposées dans les banques de données internationales en utilisant la procédure BLAST du site Internet NCBI (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>).

L'analyse moléculaire des ectomycorhizes du Sapin pectiné aboutit à la constitution d'un inventaire au temps zéro des populations fongiques du dispositif expérimental (Transecte et placette P08).



## TROISIEME PARTIE : analyse et interprétation de l'approche méthodologique

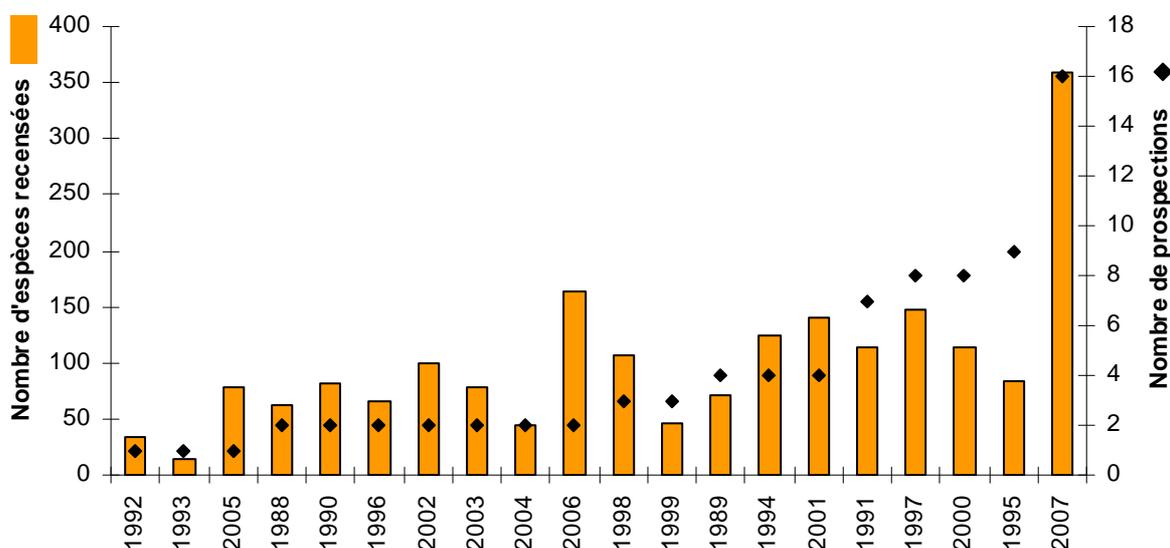
### A Analyse de la récolte des carpophores

Depuis 1988, la forêt domaniale de Sainte-Croix-Volvestre a fait l'objet de 93 prospections dont 26 ont été réalisées au cours de ce stage ce qui a permis de recenser 881 taxons répartis dans les différents groupes traditionnels de champignons (basidiomycètes, ascomycètes myxomycètes et oomycètes) soit **857 eumycota** (Annexe 10).

#### 1) Analyse méthodologique des prospections mycologiques

##### a. Dans la forêt

Le Graphique 1 représente le nombre de taxons recensés dans la forêt depuis 1988 en fonction du nombre de prospections réalisées pour chaque année. Ce graphique met en évidence que les prospections réalisées dans la forêt n'ont pas été régulières d'une année sur l'autre et que le nombre de taxons recensés varie également en fonction de ces années et en fonction du nombre de prospections réalisées pour chacune de ces années.



**Graphique 1** Analyse méthodologique des prospections mycologiques de la forêt

Par exemple, en 2006 (année jugée exceptionnelle d'un point de vue mycologique) deux visites ont été effectuées et 164 taxons ont été recensés tandis qu'en 1995, 9 visites ont abouti à l'identification de seulement 84 taxons.

De ce fait, nous ne pouvons pas établir de corrélation stricte entre le nombre de prospections conduites dans la forêt et le nombre de taxons recensés au cours d'une année. Cependant, nous remarquons que plus le nombre de prospections réalisées au cours d'une année est élevé et plus nous avons recensés de taxons.



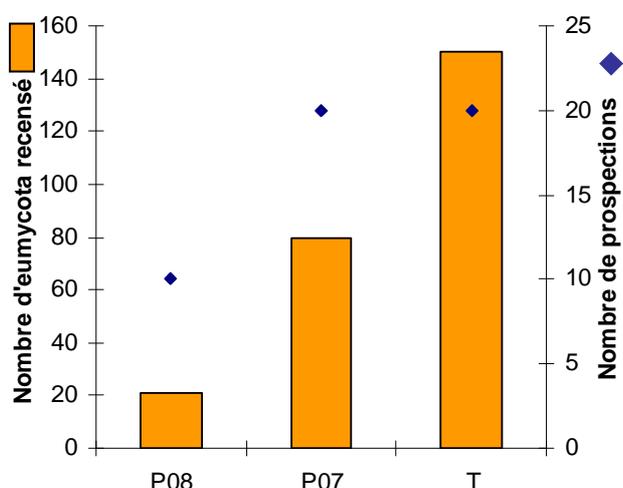
## b. Comparaison avec la bibliographie

Selon le rapport du Renecofor (Moreau *et al.*, 2002), il est supposé qu'un minimum de 12 prospections régulières suffise pour acquérir une liste inventoriale discriminante et interprétable. Pour obtenir une assez bonne représentation de la diversité mycologique d'une forêt, ce rapport estime également qu'une fréquence minimale de 4 visites par an réalisées au moment des périodes d'apparition probable des carpophores est nécessaire. Ce rapport suggère qu'une liste de 100 taxons pourrait suffire à calculer un spectre biologique fiable dès la seconde année. De plus, il semblerait que 7 à 12 années de prospections soient nécessaires afin de visualiser de façon satisfaisante la diversité mycologique d'un milieu (Guinberteau & Courtecuisse, 1997). Bien entendu le nombre de taxons détectés dépend à la fois des périodes de poussée fongique, de la surface prospectée, de l'intensité des recherches au cours de ces prospections, des caractéristiques écologiques des espèces mais aussi de la taille de leur carpophore facilement discernable ou non sur le terrain.

De ce fait, les 26 prospections conduites au cours de ce stage (septembre 2007 à fin septembre 2008) apportent des informations discriminantes en raison de la régularité et de l'intensité des recherches qui ont été effectuées dans la forêt (fréquence des visites d'au moins 2 à 3 relevés par mois). De plus, nous pouvons confirmer que les 20 années de campagnes mycologiques effectuées à Sainte-Croix-Volvestre apportent également une estimation très satisfaisante de la diversité fongique rencontrée dans la forêt, du moins pour ce qui concerne la diversité des macromycètes.

Enfin, nous considérerons que les années où au moins 4 visites automnales ont été réalisées dans la forêt (1995, 1997, 2001, 2007) et celles où au moins 100 taxons ont été recensés (1991, 1994, 1998, 2000, 2006) constituent des données représentatives de la diversité fongique utilisables par la suite pour le calcul du spectre biologique. C'est pourquoi, l'analyse fonctionnelle de la forêt sera réalisée à partir de ces années.

## c. Au niveau du dispositif expérimental



**Graphique 2** Analyse méthodologique du transect (T) et des placettes (P07 & P08)

Le Graphique 2 représente le nombre de taxons et de prospections réalisées sur le dispositif expérimental de la forêt. **150 taxons** ont ainsi été recensés au cours des 20 prospections conduites sur le transect (T) contre **80 taxons** pour la placette P07 (20 prospections) et 21 taxons pour la placette P08 (10 prospections) (Annexe 11).

Au regard des conclusions apportées lors de l'analyse méthodologique de la forêt, les prospections réalisées sur la placette P07 et le transect T apportent donc des informations discriminantes. Par contre, les résultats obtenus pour la placette P08 sont peu représentatifs (peu de prospections ont été réalisées au début de la saison automnale 2008).



De plus, les 150 taxons identifiés au sein du transect et de la placette P07 sont très inférieurs aux 317 taxons détectés au cours de ce stage au niveau de la forêt. Ce constat s'explique évidemment par la surface prospectée (104 hectares pour la forêt ce qui représente 1 040 000 m<sup>2</sup> contre 845 m<sup>2</sup> pour le transect et environ 230 m<sup>2</sup> pour les placettes) et surtout par la forte hétérogénéité de la forêt : certains champignons poussent sur des zones particulières (pinède et pessière par exemple) qui ne sont pas représentées sur le transect (T) et les placettes P07 / P08.

La richesse de la placette P07 (0,35 taxons / m<sup>2</sup>) est deux fois plus élevée que le transect (0,17 taxons / m<sup>2</sup>). Ce nombre élevé de taxons au niveau de la placette P07 peut s'expliquer par son écologie différente du transect : présence du Pin sylvestre (*Pinus sylvestris*), du Chêne (*Quercus sp.*) et du Frêne (*Fraxinus excelsior*).

Au cours de ce stage, il apparaît que seules les données du transect T et de la placette P07 sont représentatives (nombre de prospections automnales élevées). La placette P08 n'est pas encore représentative en raison du faible nombre de visites automnales effectuée au cours de l'année 2008. Ces informations seront obtenues prochainement avec les prospections suivantes (octobre à décembre). Ceci permettra d'aboutir à des données représentatives et comparables à celles du transect.

Les taxons recensés au niveau du dispositif expérimental constituent un état zéro de la diversité fongique à cette échelle.

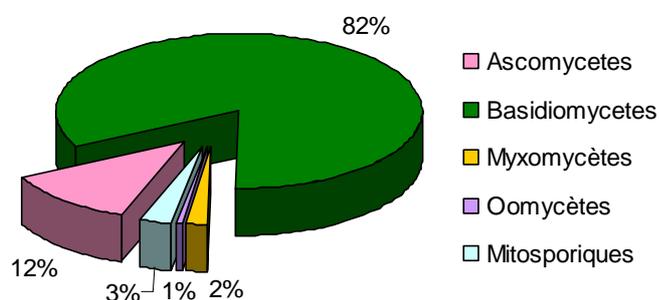
## 2) Diversité fongique et valeur patrimoniale des espèces récoltées

### a. La richesse mycologique de la forêt domaniale Sainte-Croix-Volvestre

#### i. Répartition des espèces recensées

L'analyse des espèces détectées dans la forêt au cours des 20 années de prospections révèle que 97 % des espèces récoltées sont des eumycota (ascomycètes + basidiomycètes + mitosporiques), 2% sont des myxomycètes et 1% sont des oomycètes (Graphique 3).

Parmi les eumycota recensés, 3 % des espèces récoltées sont sous forme asexuée (Mitosporiques<sup>1</sup>), 82 % appartiennent aux basidiomycètes et 12 % aux ascomycètes.



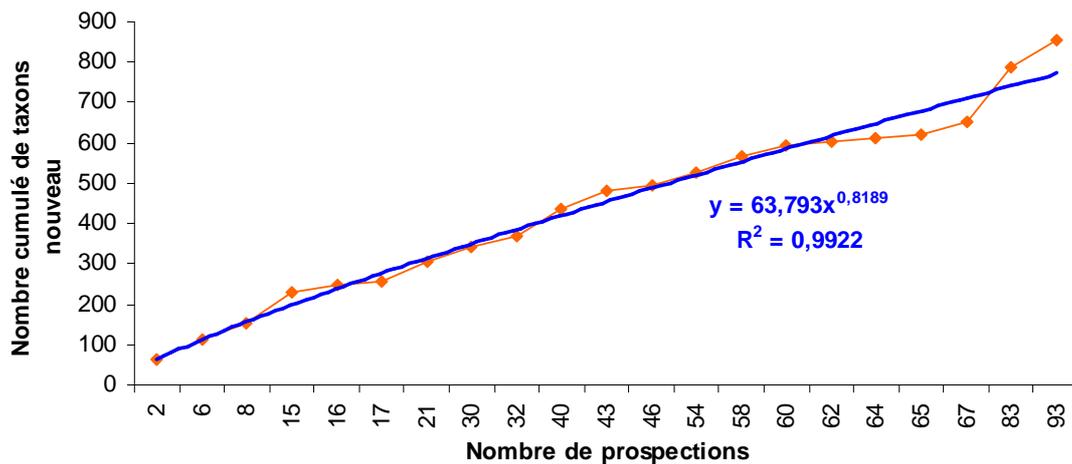
**Graphique 3** Répartition des espèces recensées à l'échelle de la forêt

Les eumycota recensés sont essentiellement les macromycètes de la forêt (formes visibles à l'œil nu). Les basidiomycètes, formant des carpophores, sont plus facilement détectés que les ascomycètes formant des structures microscopiques ou souterraines (Senn-Irlet *et al.*, 2007).

<sup>1</sup>Les mitosporiques sont des eumycota se reproduisant par voie asexuée, ce sont surtout des ascomycètes.

## ii. Diversité mycologique

L'effort d'échantillonnage et la régularité des campagnes mycologiques conduites au cours de l'année 2007 ont permis d'aboutir au recensement de 144 taxons d'eumycota supplémentaires soit une augmentation de 19 % de la richesse spécifique de la forêt (664 taxons observés entre 1988 et 2006). Cependant, en analysant le nombre de taxons nouveaux détectés au cours des campagnes d'échantillonnage, nous remarquons que la diversité mycologique de la forêt est loin d'être révélée (Graphique 4). En effet, la courbe de tendance qui traduit le mieux cette évolution correspond à une fonction puissance ( $y = 63,793x^{0,8189}$ ,  $R^2 = 0,9922$ ).



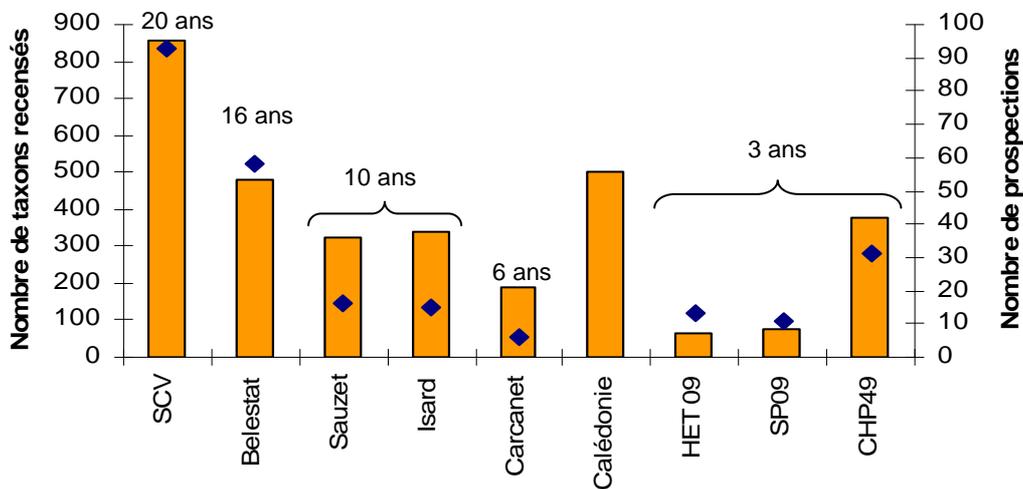
**Graphique 4** Courbe cumulée (orange) et de tendance (bleue) des taxons nouveaux recensés dans la forêt

La forêt Sainte-Croix-Volvestre présente donc au moins **857 eumycota**. Si nous considérons les espèces qui n'ont pas pu être identifiées au cours de cette étude (10 *Telamonia* du genre *Cortinarius* rien qu'en 2007) et la surface à prospector, il est fort probable que ce chiffre serait beaucoup plus important si l'étude se prolongeait. Des parcelles forestières (pin) en Ecosse ont ainsi montré des nouvelles espèces après 21 années de prospections mycologiques (Tofts & Orton 1998, cité par Selosse 2001). L'augmentation du nombre de taxons détectés au fur et à mesure des années de prospections est aussi à corrélérer avec l'acquisition des compétences mycologiques des prospecteurs. De plus, cette diversité serait d'autant plus impressionnante si les micromycètes (organismes sans carpophores ou à carpophores de taille < 2 mm) étaient pris en compte.

## iii. Comparaison de la diversité fongique estimée avec celle d'autres forêts

En comparant avec la richesse spécifique d'autres forêts triées selon le nombre d'années de prospections (Graphique 5), la forêt de Sainte Croix Volvestre semble exceptionnelle. En effet, 857 eumycota ont été recensés à Sainte-Croix-Volvestre en 20 ans et sur 104 hectares (soit 0,39 espèce/an/hectare et 0,0042 espèce/an/hectare/ prospection).





**Graphique 5** Diversité mycologique d'autres forêts triées selon le nombre d'année d'études.

SCV : Sainte-Croix-Volvestre, HET 09 : Forêt domaniale de Soulan, SP 09, Forêt Domaniale de Massat, CHP 49 : Forêt Domaniale de Monnaie. SP 09, HET 09 et CHP 49 sont des données extraites du Rencofor 2002.

En comparant avec d'autres forêts de plus grande superficie nous remarquons que le nombre d'espèces observées est beaucoup plus élevé pour la forêt de Sainte-Croix-Volvestre.

Toutefois, les paramètres agissant sur la fructification (cf. I.C.), le type et l'âge du peuplement influencent l'estimation de cette richesse mycologique (Guinberteau & Courtecuisse, 1997). Les caractéristiques générales des autres forêts sont présentées en Annexe 12. Celles qui ressemblent le plus à la forêt domaniale de Sainte-Croix-Volvestre (SCV) sont SP 09 et Carcanet. Au regard du nombre d'années et de prospections qui ont été réalisées dans ces forêts ainsi que les conclusions apportées lors de cette étude (intensité de recherche, dans la détection de nouvelles espèces), il devient évident que la richesse mycologique estimée dans ces forêts est sous-évaluée. Par conséquent, il s'avère difficile d'établir des comparaisons incontestables sur la diversité mycologique des autres forêts ici présentées surtout que l'une d'entre elles (Forêt Domaniale de l'Isard) correspond à une plantation d'Épicéa (*Picea sp.*).

Cependant, à partir des éléments bibliographiques à ma disposition ainsi que l'intuition des scientifiques et des mycologues, Sainte-Croix-Volvestre présenterait une richesse mycologique exceptionnelle pour une sapinière de basse altitude dont la surface est relativement réduite par rapport à d'autres forêts. En effet, les diversités mycologiques élevées sont habituellement observées dans les pessières et les sapinières d'altitude (Guinberteau & Courtecuisse, 1997).

#### iv. Valeur patrimoniale des espèces recensées

La valeur patrimoniale des espèces recensées dans la forêt Sainte-Croix-Volvestre a été estimée à partir de la liste préliminaire des taxons de champignons déterminants validée par le Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel de Midi-Pyrénées dans le cadre de l'élaboration des zones ZNIEFF par le Conservatoire Botanique Pyrénéen, Direction Régional de l'ENvironnement, ... (août 2004). Cette liste contient un nombre impressionnant de champignons déterminants pour la région Midi-Pyrénées. Dans le cas présent, où les champignons ne sont officiellement ni menacés ni protégés, une espèce est dite



déterminante lorsqu'elle est située dans des conditions écologiques ou biogéographiques particulières, en limite d'aire ou dont la population est particulièrement exceptionnelle.

Parmi les 857 Eumycota récoltés dans la forêt, **113** sont présents sur la liste des **taxons déterminants** (Annexe 10) de Midi-Pyrénées (13 % environ). Ceci confirme la rareté et la nécessité de conserver ces taxons et leur milieu. Les campagnes mycologiques réalisées au cours du stage ont abouti au recensement de 35 espèces déterminantes (Annexe 11). Ceci montre l'importance et la nécessité d'effectuer des campagnes régulières pour détecter les taxons. Malgré cet effort, 55 eumycota n'ont pas été retrouvés au cours du stage, certains depuis plus de 7 ans (Annexe 13). Soit ces taxons sont issus d'une erreur d'identification soit il s'agit d'un problème de détection sur les 104 hectares de la forêt, soit il s'agit de particularités biologiques des taxons : certains ne fructifient pas tous les ans.

La notion de **rareté** est difficile à interpréter chez les champignons en raison de l'état des connaissances de ce règne mais aussi du fait que les listes de taxons de champignons déterminants sont issues de la seule récolte des carpophores. Cette méthode biaise en effet la réalité de l'activité fongique présente dans la rhizosphère (Gardes & Bruns, 1996a). Parmi les taxons déterminants observés dans la forêt, nous pouvons citer : *Pycnoporellus fulgens*, *Jahnoporus hirtus* et *Cantharellus friesii*.

Le **Polypore splendide** (*Pycnoporellus fulgens*) est une espèce lignicole particulièrement intéressante en raison de sa rareté sur le plan national mais aussi parce qu'il s'agit d'une espèce « suiveuse ». Elle s'installe sur les troncs de sapin et autres conifères après l'implantation d'autres polypores en l'occurrence *Fomitopsis pinicola*. Cependant, depuis ces cinq dernières années, il semblerait que cette espèce connaisse une forte colonisation de site qu'elle n'occupait pas autrefois. Cette expansion de l'espèce s'explique en partie par un changement des techniques sylvicoles qui ont ainsi favorisé son expansion (Nicolas De Munnik, communication personnelle).

***Jahnoporus hirtus*** est également un polypore très rare en Europe. Il s'agit d'un champignon saprophyte de résineux (*Abies* et *Picea*) observé dans les vieilles forêts en milieu fermé. Il décompose le bois mort ou déjà plus ou moins dégradé. En France, ce spécimen a été remarqué dans le Jura, dans les Pyrénées-Orientales et en Ariège dans la forêt de Bélesta (Bouet et al., 2006). Sa rareté fait de cette espèce une espèce à forte valeur patrimoniale.

***Cantharellus friesii*** est un champignon ectomycorhizien comestible qui est candidat à la liste rouge européenne des macromycètes. Proposée en annexe 2 (espèce menacée) de cette liste pour la France, elle est considérée en danger en Allemagne.

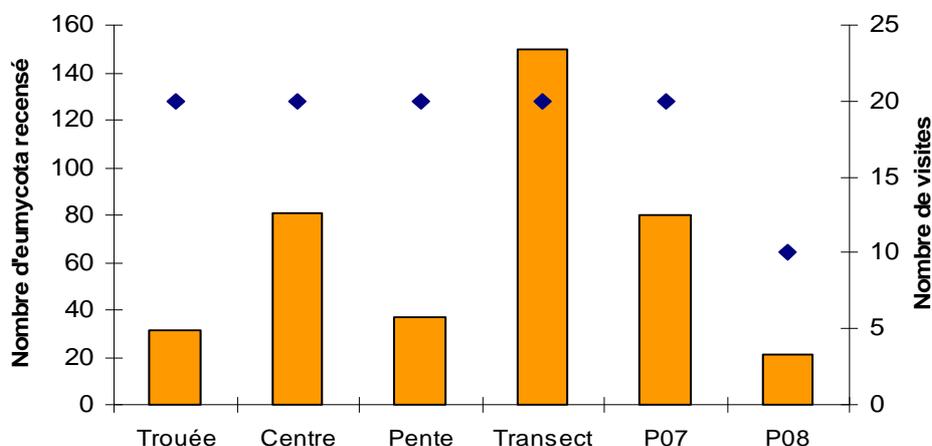
### ***b. La richesse mycologique recensée sur le dispositif expérimental***

La répartition (ascomycète, basidiomycète, myxomycète, oomycète et mitosporique) des espèces recensées sur le dispositif expérimental est équivalente à celle de la forêt (observation d'une nette dominance des basidiomycètes sur les ascomycètes, Annexe 14). Au total, **197 taxons** ont été recensés sur le dispositif expérimental (transect et placettes P07 & P08 confondus) au cours du stage (20 prospections dont 11 en automne).



### i. Nombre d'espèces recensées

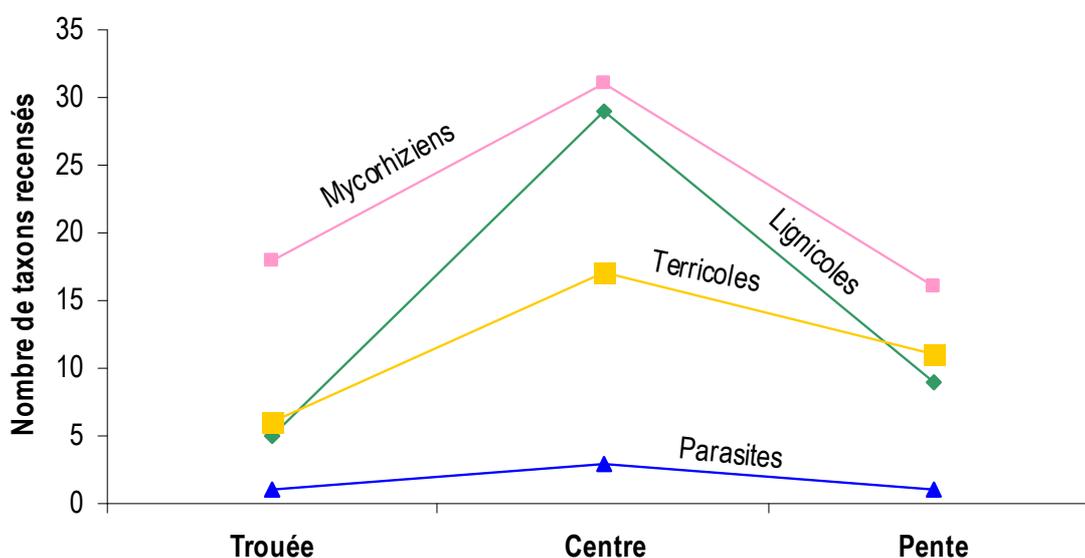
Après 20 visites mycologiques, 80 espèces ont été recensées sur la placette P07 (Annexe 11) et 150 sur le transect T (Graphique 6, Annexe 11). Les 10 visites (mars à fin septembre 2008) de la placette P08 ont aboutit au recensement de seulement 21 espèces (Annexe 11).



**Graphique 6** Répartition du nombre de taxons recensés selon le micro-habitat du transect (trouée, centre, pente) et le dispositif expérimental (Transect, Placette P07)

Le transect présente une diversité mycologique plus élevée. Cependant, il faut prendre en compte la surface prospectée et l'hétérogénéité des sites : le transect mesure 845 m<sup>2</sup> et comporte trois zones distinctes (le centre étant la surface la plus grande) tandis que les placettes mesurent entre 225 et 235 m<sup>2</sup> (Annexes 5, 6).

Au niveau des zones du transect, la majorité des espèces recensées se localisent au centre de la sapinière en déperissement, en fond de vallon sur la partie qui borde le ruisseau de la Sabine (Annexe 5, Fig. 6) Ce constat dépend des conditions du milieu : cette partie du transect comporte de nombreuses branches et troncs de Sapin pectiné tombés au sol. De nombreux champignons lignivores ont ainsi été détectés par rapport au reste du transect (Graphique 7).



**Graphique 7** Répartition des taxons recensés sur les trois micro-habitats du transect



## ii. Valeur patrimoniale des espèces recensées

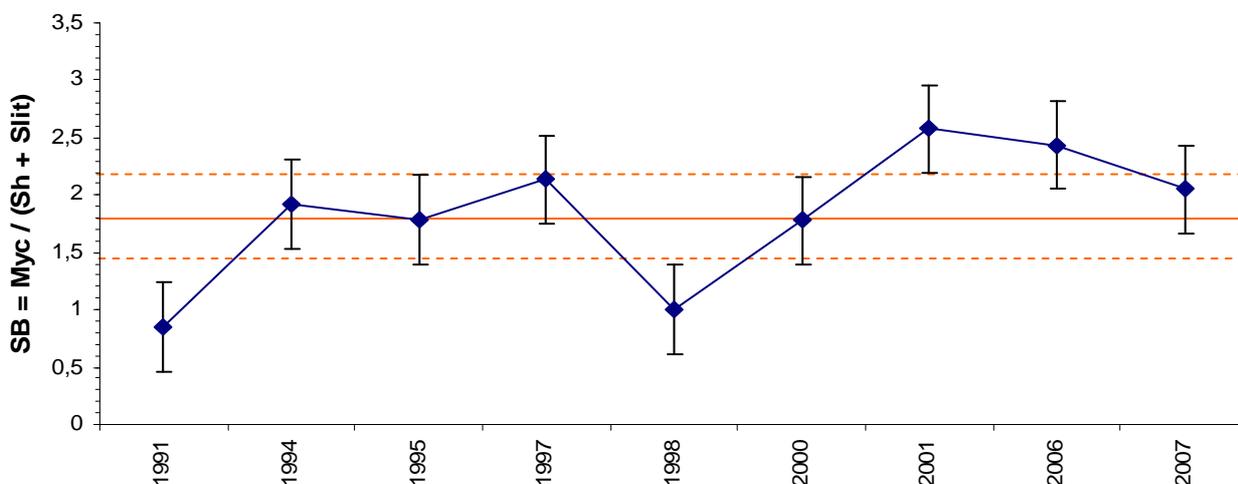
Sur les **150 espèces recensées** sur le transect au cours de ce stage, **20** sont des **taxons déterminants** pour la région Midi-Pyrénées (Annexe 11) et trois de ces espèces (*Lepiota fuscovinacea*, *Russula melzeri*, *Tomentella asperula*) constituent des espèces nouvelles pour la forêt. Au niveau de la placette P07, **14 taxons déterminants** pour la région Midi-Pyrénées ont été observés parmi les **80 espèces recensées**. Parmi ces taxons, trois d'entre eux se sont révélés être nouveaux pour la forêt : *Cheimonophyllum candidissimum*, *Tomentella ellisii*, *Tomentella griseo-umbrina*. Parmi les 21 taxons récoltés jusqu'à ce jour sur P08, une espèce s'avère déterminante : ***Cortinarius varius***.

### 3) Analyse fonctionnelle de la bio-indication fongique

La bio-indication fongique se mesure à partir du spectre biologique (SB). En raison du dépérissement évident de la sapinière Sainte-Croix-volvestre, nous nous attendons donc à obtenir un spectre biologique inférieur à 0,5.

#### a. Bio-indication fongique à l'échelle de la forêt

Le spectre biologique de la forêt a été calculé pour les années qui ont été définies comme discriminantes lors de l'analyse méthodologique de la forêt (cf. **I.A.1)b.**). Nous remarquons ainsi que ce spectre varie légèrement d'une année sur l'autre mais reste toujours nettement supérieure à 0,5, avec une moyenne de  $1,8 \pm 0,39$  (Graphique 8). En effectuant un test du  $\chi^2$  de Pearson (Hypothèse nulle : le Spectre Biologique est significativement différent sur les 9 années considérées, hypothèse rejetée si  $p < 0,05$ ), il apparaît que la valeur du spectre biologique calculée pour chaque année ne présente pas de différence significative ( $p = 0,96$ ). La moyenne du spectre biologique calculée à partir de ces années correspond donc au spectre biologique de la forêt.



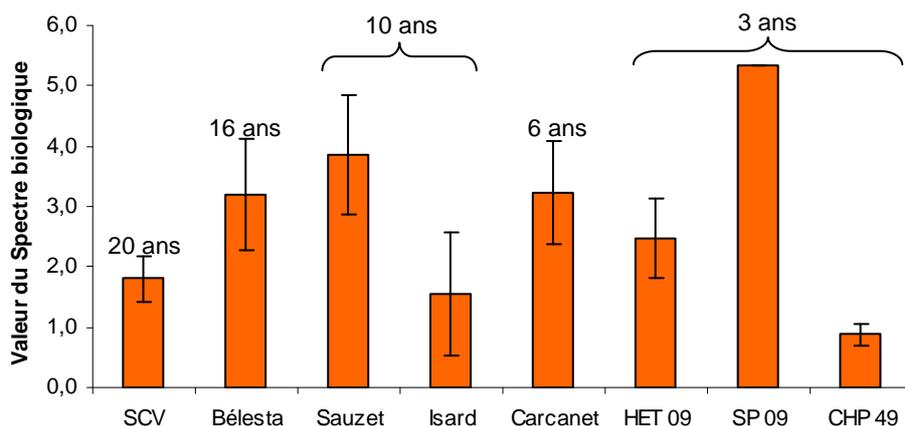
**Graphique 8** Spectre biologique de la forêt (courbe bleue), Moyenne de ce spectre (droite orange) et intervalle de confiance de la moyenne (pointillée orange)

(SB : Spectre Biologique, Myc : Mycorhiziens, Sh : Saprophytes humicoles, Slit : Saprophytes de la litière)



Ce spectre biologique ( $SB > 1$ ) traduirait un déficit en espèces humicoles et indiquerait un appauvrissement en matière organique du sol pouvant être le résultat d'une surexploitation forestière.

En comparant ce spectre à ceux obtenus pour d'autres forêts (Graphique 9), il apparaît globalement que le spectre calculé pour la forêt Sainte-Croix-Volvestre est plus faible, excepté pour la forêt de l'Isard et du Maine-et-Loire (CHP 49). Ces différences pourraient s'expliquer par le fait que l'Isard est une forêt domaniale qui a subi des plantations d'Épicéa (*Picea sp.*) et que la forêt du Maine-et-Loire (CHP 49, hêtraie-chênaie acidocline atlantique) correspond à un type de peuplement très différent des autres forêts. En effet, il semblerait que le spectre biologique de différents peuplements soient le suivant : Douglas < Pinèdes < Chênaie < Pinèdes Maritimes < Pessière < Hêtraie < Hêtraie-Sapinière (Moreau *et al.*, 2002).



**Graphique 9** Comparaison des moyennes des spectres biologiques

(SCV : Sainte-Croix-Volvestre, HET 09 : Forêt domaniale de Soulan, SP 09, Forêt Domaniale de Massat, CHP 49 : Forêt Domaniale de Monnaie. SP 09, HET 09 et CHP 49 sont des données extraites du Renecofor 2002.)

Toutefois, le spectre biologique observé pour chacune des autres forêts est à chaque fois très nettement supérieur à 1 ce qui révèle une dominance en champignons mycorhiziens. Cette diversité serait fortement influencée par le type et l'âge du peuplement (Moreau *et al.*, 2002). Les peuplements issus de régénération naturelle possèdent une plus forte diversité mycorhizienne qui tend à diminuer légèrement au fur et à mesure de leur maturité. De plus, des spectres biologiques supérieurs à 1 ont été curieusement observés pour des placettes d'altitude (Moreau *et al.*, 2002).

Par conséquent, au regard des valeurs du spectre biologique obtenu pour d'autres forêts Ariégeoises, la valeur plus faible du spectre biologique calculé à Sainte-Croix-Volvestre est très intéressante mais difficile à interpréter pour diverses raisons :

-  Etat des connaissances de l'interprétation du spectre biologique.
-  Les autres forêts possèdent des caractéristiques très différentes de l'une à l'autre : sol, ancienneté du peuplement, type de peuplement, gestion du peuplement... .
-  Peu d'inventaires ont été conduits sur ces forêts avec la même rigueur d'échantillonnage et sur un temps aussi long.
-  Limites du spectre biologique (cf **Quatrième partie**)

Ce spectre indiquerait un déficit en champignons saprophytes terricoles (décomposeurs du sol) ou une abondance de champignons mycorhiziens qui traduirait un déséquilibre de l'écosystème forestier.



## b. Bio-indication fongique au niveau du dispositif expérimental

Pour le dispositif expérimental, les valeurs du spectre biologique correspondent à un état zéro (l'étude sur le dispositif expérimental a débuté au cours de ce stage). Le spectre a été calculé à partir des données récoltées depuis l'automne 2007 et jusqu'à fin septembre 2008 (Annexe 7, Tableau 2). Le spectre biologique de la placette P08 est peu représentatif car il manque les données automnales de 2008 qui seront prochainement recueillies sur le terrain par Nicolas De Munnik.

**Tableau 2** Spectre biologique de la placette P07, du transect et de ces trois micro-habitats

	Placette P08	Placette P07	Transect		
			Trouée	Centre	Pente
Spectre Biologique (SB)	2	6,83	3	1,8	1,5
			2,2		

De la même façon que pour la forêt, le spectre biologique observé au niveau du transect et des placettes P07 et P08 sont élevés et très nettement supérieur à 0,5. Ces valeurs indiquent un déficit en décomposeurs du sol. Les spectres de P08 et du transect ont des valeurs similaires tandis que celui de la placette P07 est particulièrement élevé. Son spectre se rapproche de la valeur moyenne calculée pour les hêtraies-sapinières (Moreau *et al.*, 2002).

Deux hypothèses pourraient expliquer cette forte valeur :

-  la présence de nombreuses essences et du pin en bordure de la placette P07 peuvent augmenter la diversité des champignons mycorhiziens.
-  la placette P07 correspondrait à une zone particulière de la forêt ce qui renforce l'idée de l'hétérogénéité de la forêt qui n'a pas encore dévoilé tous ces secrets.

Au sein du transect, les valeurs calculées pour le spectre biologique sont également élevées et supérieures à 0,5. Le spectre biologique de la trouée (SB = 3) est supérieur à celui du centre (SB = 1,8) puis de la pente révélant que le déficit en décomposeurs du sol est nettement plus important au niveau de la trouée ou bien inversement que cette zone présente une abondante diversité de champignons mycorhiziens. La pente possède le spectre biologique le plus faible comparée au centre et à la trouée (SB pente = 1,3). La forte valeur du spectre biologique calculée pour la trouée pourrait s'expliquer par la présence du Pin au Nord de cette zone. Lors des récoltes fongiques, nous avons en effet relevé une espèce inféodée à cette essence : *Suillus variegatus* (Nicolas De Munnik, communication personnelle).

Pour conclure, ces spectres biologiques seraient à analyser avec les paramètres relatifs à chaque zone du transect : topographie, hygrométrie, caractéristiques pédologiques, luminosité, ... . De telles données ne sont pas en notre disposition, c'est pourquoi avec l'état actuel des connaissances et de l'interprétation du spectre biologique nous ne pouvons pas analyser de façon plus approfondie ces premiers résultats qui rappelons-le constituent l'état zéro du dispositif expérimental.



### c. Bilan

Globalement, que ce soit à l'échelle de la forêt ou au niveau du dispositif expérimental, le spectre biologique calculé est nettement supérieur à 0,5 et correspondrait curieusement à un spectre biologique d'altitude (Moreau *et al.*, 2002). Le spectre biologique de la forêt de Sainte-Croix-Volvestre est particulièrement intéressant et remarquable (SB moyenne =  $1,8 \pm 0,39$ ). Il indiquerait un appauvrissement du sol en matière organique qui s'expliquerait soit par une surexploitation ou soit par un sol naturellement appauvri en matière organique.

Etant donné que le transect est localisé au niveau de la zone de mise en repos créée en 1997, que cela fait environ 10 ans que cette partie de la forêt n'est plus exploitée et que la forêt a toujours été peu exploitée (traitement en futaie jardinée, annexe), il semble plus vraisemblable que la valeur du spectre indique un problème d'appauvrissement du sol en matière organique qui ne soit pas liés à une surexploitation.

Néanmoins, en raison du caractère quantitatif subjectif d'un tel spectre, il est difficile à ce stade du stage et face au peu de données bibliographiques existantes de confirmer les interprétations hypothétiques du spectre biologique. D'autant plus que pour pouvoir établir des correspondances entre les placettes et le transect il faudrait obtenir un spectre biologique représentatif au niveau de la placette P08 qui, elle, n'est pas localisée au niveau de la zone de mise en repos mais sur le second massif de la forêt. Présentant une écologie semblable au transect et faisant partie d'une zone où la forêt est exploitée, le spectre biologique de cette placette apporterait une information supplémentaire dans l'analyse des spectres biologiques identifiés au sein de la forêt mais aussi au niveau du transect. Pour l'instant, le spectre calculé sur cette zone correspond à celui de la forêt. Il faut poursuivre les récoltes jusqu'à la fin de l'automne afin d'identifier un spectre représentatif.

## B Analyse de la diversité ectomycorhizienne du Sapin pectiné

L'analyse moléculaire des ectomycorhizes a pour objectif principal de révéler la diversité fongique de la rhizosphère, diversité qui reste inaccessible à partir de la seule méthode de récolte des carpophores. La récolte des ectomycorhizes a été réalisée au niveau des trois micro-habitats du transect et au niveau de la placette P08 (Annexes 5, 6). Cette récolte permettra d'établir la diversité ectomycorhiziennes à l'état zéro du dispositif expérimental.

### 1) Caractérisation de l'échantillonnage et du typage moléculaire

Au cours des deux campagnes d'échantillonnages (mars et juillet), 637 mycorhizes ont été prélevées sur les racines du Sapin pectiné (*Abies alba*) dont 477 en mars et 160 en juillet (Annexe 15). Parmi ces mycorhizes, 406 ont été typées<sup>2</sup> : 317 lors des récoltes de mars et 89 pour celles de juillet. Soit un taux de

---

<sup>2</sup> Ici le typage ne correspond pas à l'identification d'un profil RFLP mais à l'identification du nom du taxon considéré (Embranchement, Ordre, Classe, Famille, Genre et / ou espèce).



réussite du typage moléculaire de l'ordre de 61 % (Annexe 15), taux satisfaisant par rapport à celui de 51 % obtenu lors d'une étude sur le chêne vert (*Quercus ilex*) (Damon, 2006).

Le typage moléculaire des ectomycorhizes a permis de recenser 75 taxons : 64 taxons ont été identifiés pour l'échantillonnage de mars et 11 taxons supplémentaires lors de la seconde série d'échantillonnage. Les prélèvements réalisés en juillet n'ont pas permis d'identifier beaucoup de taxons supplémentaires par rapport à ceux réalisés en mars. Ceci s'explique d'une part par la réduction du nombre de prélèvements (8 prélèvements en juillet contre 12 en mars) et d'autre part par la réduction de mycorhizes récoltées par racines prélevées (20 mycorhizes récoltés / prélèvements en juillet contre 40 mycorhizes récoltées / prélèvements en mars).

Si nous considérons les taxons non mycorhiziens qui ont été identifiés par cette méthode, la richesse spécifique totale des champignons est de 83 taxons (Annexe 16). Sur ces 83 taxons, le séquençage a permis l'identification jusqu'à l'espèce de seulement 27 taxons dont 2 sont non mycorhiziens (*Thermomyces lanuginosa*, *Lepiota subgracilis*). Les autres taxons ont été identifiés jusqu'à l'Ordre, la Famille voire le Genre.

Globalement, les indices de diversité (Annexe 17) calculés sur l'ensemble du dispositif expérimental (placette P08 et transect) à partir de l'abondance relative des taxons ectomycorhiziens sont élevés (indice de Shannon  $H' = 3.53$ , Indice d'équitabilité = 0.82, indice de Simpson  $1/D = 16.07$ ), ce qui indiquerait que la communauté ectomycorhizienne est très riche d'un point de vue spécifique. La distribution en abondance des 75 taxons ectomycorhiziens, représentée à travers le (Annexe 18), indique que la communauté ectomycorhizienne du site expérimental est composée de quelques taxons abondants et d'un grand nombre de taxons rares. Les taxons rares correspondent aux taxons qui ont été identifiés sur seulement un ou deux prélèvements tandis que les taxons abondants ont été relevés sur plusieurs prélèvements.

Parmi les taxons abondants, le morphotypage moléculaire a révélé la dominance nette d'un taxon sur l'ensemble des prélèvements : il s'agit du morphotype caractéristique de l'espèce *Cenococcum geophilum*. Cet ascomycète mycorhizien qui ne fructifie pas domine souvent fortement les communautés des champignons ectomycorhiziens (Richards *et al.*, 2005 ; De Roman & De Miguel, 2005). Par ailleurs, selon Horton & Bruns (2001), il n'existe aucune étude de communauté de champignons ectomycorhiziens où ce taxon n'ait été recensé. Les autres taxons abondants du dispositif expérimental sont des basidiomycètes appartenant à l'ordre des Russulales, Cantharellales et Thelephorales

## 2) Caractéristiques des taxons recensés au sein du dispositif expérimental

Au total, 75 taxons ectomycorhiziens ont été identifiés sur le dispositif expérimental dont 23 sur la placette P08 et 59 sur le transect. En ajoutant les taxons non mycorhiziens, la richesse spécifique de la placette P08 est de 23 contre 63 pour le transect (Annexe 16). L'indice de Jaccard (J) calculée à partir du nombre de taxons ectomycorhiziens identifiés (Annexe 19) révèle que seulement 11 % des taxons recensés sont communs aux deux sites, soit 8 taxons en communs (Tableau 3).

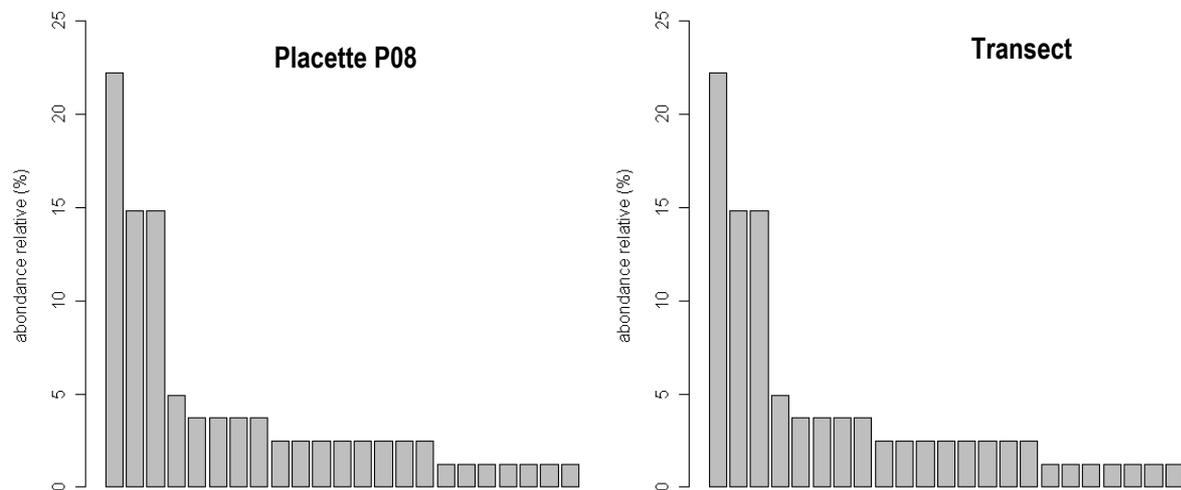


**Tableau 3** Indices de diversité de la communauté ectomycorhizienne recensée sur le dispositif expérimental

	Richesse spécifique (S)	Indice de Shannon (H')	Indice d'équitabilité (E)	Indice de Simpson (1/D)	Indice de Jaccard (J en %)
Dispositif	75	3,53	0,82	16,07	
Placette 08	23	2,65	0,84	9,33	11 %
Transect	59	3,4	0,83	18,6	

L'observation des diagrammes rang abondance (Graphique 3) révèle que la placette P08 est dominée par trois taxons : *Cenococcum geophilum* (22 %), *Russula* proche de l'espèce *amethystina* (15 %) et *Russula* proche de l'espèce *acrifolia* (15 %) tandis que le transect est dominée par 6 taxons : *Cenococcum geophilum* (15 %), *Atheliaceae* 1 (7 %), *Clavulina cristata* (7 %), *Russula densifolia* (7 %), *Cortinarius limonius* (5 %) et *Russula amethystina* (5 %).

Les indices de diversité calculée pour le transect et la placette P08 sont présentés dans le Tableau 3.



**Graphique 10** Diagramme Rang abondance des taxons identifiés sur la placette P08 et sur le transect

Globalement, ces indices sont plus élevés pour le transect que pour la placette ce qui indiquerait que la richesse spécifique de la communauté ectomycorhizienne est plus élevée sur le transect.

### 3) Caractéristiques des taxons recensés au sein du transect

59 taxons mycorhiziens ont été identifiés sur le transect dont 9 au niveau de la Trouée, 41 au centre et 20 sur la pente (Fig. 6, Annexe 5). En ajoutant les taxons non mycorhiziens, la richesse spécifique de la trouée est de 12, celle du centre de 45 et celle de la pente est de 21 (Annexe 16). Le faible nombre de taxons identifiés sur la trouée s'explique en partie par un taux de réussite du typage moléculaire plus faible : 52 % (Annexe 15) et très réduit pour les prélèvements réalisés en juillet (20 %). Les indices de Jaccard (J) calculés entre chaque zone du transect (Tableau 4) indiquent que très peu d'espèces sont communes d'une zone à l'autre (J trouée-centre = 9 %, J trouée-pente = 7 % et J centre-pente = 11 %). Les valeurs des indices de diversité calculées pour chaque zone du transect sont présentées dans le Tableau 3 ci-dessus.



Ces indices sont élevés ce qui indiquerait la présence d'une forte richesse spécifique dans les trois zones du transect. Cette richesse spécifique serait plus importante au niveau du centre puis de la pente (Indices de diversité Centre > Indices de diversité Pente > Indices de diversité Trouée).

**Tableau 4** Indices de diversité de la communauté ectomycorhizienne du transect

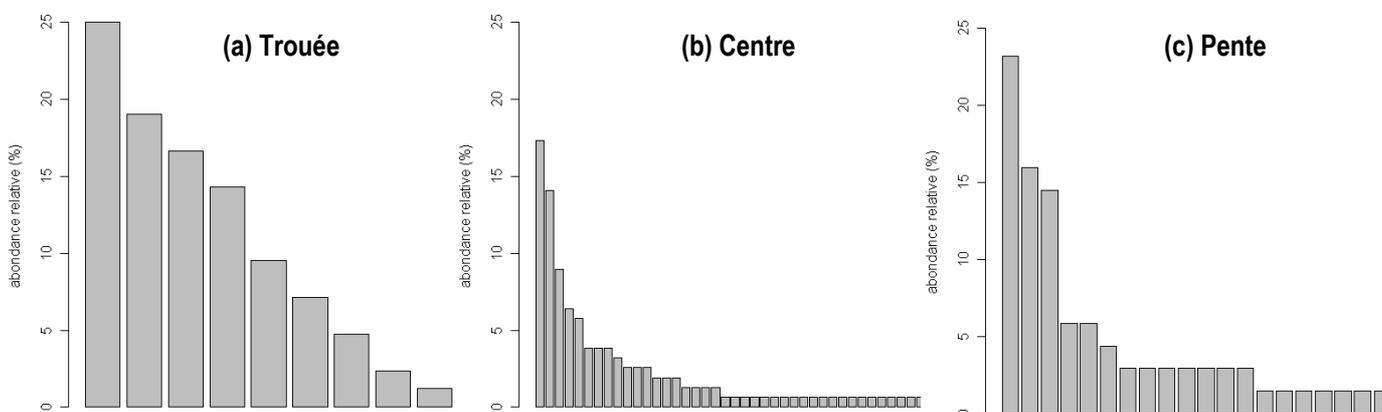
	Richesse Spécifique (S)	Indice de Shannon (H')	Indice d'équitabilité (E)	Indice de Simpson (1/D)		Indice de Jaccard (J)
<b>Transect</b>	59	3,4	0,83	18,6	Trouée & Centre	8,696
<b>Trouée</b>	9	1,94	0,78	6,09	Trouée & Pente	7,407
<b>Centre</b>	41	3,07	0,83	13,25	Centre & Pente	10,909
<b>Pente</b>	20	2,53	0,84	8,72		

L'observation des diagrammes Rang-Abondance (Graphique 11) des zones du transect révèle que l'abondance des communautés ectomycorhiziennes varie selon la zone considérée. La trouée présenterait ainsi peu d'espèces rares et beaucoup de taxons abondants (Graphique 11a) tandis que la pente et le centre du transect (Graphiques 11b , 11c) présenteraient de nombreux taxons rares et quelques taxons abondants.

La trouée possède de nombreux taxons abondants qui appartiennent principalement à l'ordre des Russulales et des Théléphorales : *Russula densifolia* (25 %), *Cortinarius limonius* (19 %), *Piloderma fallax* (17 %) et *Russula amethystina* (14 %). Lors des prélèvements de terrain et du morphotypage des ectomycorhizes, cette partie du transect révélait une abondance élevée de mycélium jaune vif au contact des racines du Sapin pectiné. L'analyse moléculaire réalisée ensuite sur ce mycélium a permis l'identification de *Piloderma fallax* qui a également été très représenté au niveau des ectomycorhizes.

Le centre du transect présente quant à lui une abondance de l'ascomycète *Cenococcum geophilum* (17 %), Athélieaceae 1 (14 %), *Tomentella sp.2* (9 %), *Russula* proche de l'espèce *turci* (6 %) et *Russula integra* (Graphique 4b).

La pente du transect est dominée par *Clavulina cristata* (23 %), *Cenococcum geophilum* (16 %), *Thelphoraceae* (6 %) et *Pezizale DQ990873* (6 %). Une espèce endomycorhizienne des Ericacées s'est révélée dominante à ce niveau du transect : il s'agit d'*Oidiodendron citrinum* (15 %).



**Graphique 11** Diagramme rang-abondance au niveau de la trouée (a), du centre (b) et de la pente (c) du transect



## C Comparaison carpophores et mycorhizes

Etant donné que la placette P08 et P07 ne sont pas représentatives, nous effectuerons une analyse comparative des données obtenues par la méthode des carpophores et des ectomycorhizes seulement au niveau du transect.

Les analyses moléculaires des ectomycorhizes ont permis d'identifier **75 taxons** contre **150** pour la méthode de récolte des carpophores. Cependant, beaucoup de ces taxons n'ont pas pu être identifiés jusqu'au niveau spécifique. Par conséquent, nous ne considérerons que ceux possédant un nom de Genre ou d'espèce, ce qui sous-estime d'une certaine façon la richesse spécifique obtenue.

L'analyse moléculaire des ectomycorhizes a ainsi permis de détecter **23 taxons** qui n'avaient pas été identifiés dans la collecte des carpophores (Annexe 19). La richesse spécifique du transect est alors de 173 taxons. Parmi les 23 taxons détectés par la méthode moléculaire, 5 ne sont pas des champignons mycorhiziens (Annexe 19) et 10 sont nouveaux pour la forêt. Ce sont des saprophytes dont le mycélium devait probablement être soit au contact de la mycorhize ou soit dans les tissus d'une mycorhize morte. *Oïdiodendron citrinum* est un champignon imparfait endomycorhizien des Ericaceae. Excepté *Lepiota subgracilis*, les autres taxons sont des micromycètes qui ne fructifient pas.

Globalement nous remarquons que les espèces nouvelles de la forêt sont surtout des basidiomycètes appartenant à la famille des Russulaceae et des Cortinariaceae (famille regroupant de nombreux taxons mycorhiziens très abondants dans les écosystèmes forestiers). Ainsi la diversité mycologique recensée dans la forêt Sainte-Croix-Volvestre est de **867 eumycota**. Excepté quelques taxons en commun aux deux méthodes d'analyse (*Amanita citrina*, *Boletus aestivalis*, *Cantharellus tubaeformis*), la liste obtenue par la technique moléculaire est très différente de celle établie à partir des campagnes mycologiques. Au total, **37 taxons** ont été recensés par les deux méthodes dans la **trouée**, **44** au niveau de la **penne** et **92** au **centre** du transect.

La détection des individus par la méthode moléculaire seule ne permet pas d'aboutir au calcul d'un spectre biologique car elle n'identifie normalement que les organismes capables de réaliser des symbioses. Elle ne permet donc pas d'identifier la fonge saprophyte et parasite même si quelques taxons de ce statut ont été identifiés par cette méthode. Pour estimer le spectre biologique réel du transect, il faudrait procéder à l'identification de toute la communauté fongique du sol : spores, sclérotés, mycélium, différents types de mycorhizes, ... : autrement dit, identifier les champignons saprophytes, parasites et mycorhiziens. Cette méthode nécessiterait d'effectuer des prélèvements d'un certain volume de sol sur le transect puis de réaliser des déterminations et / ou des analyses moléculaires sur l'ensemble des organes fongiques détectés à différentes périodes.

Par contre, la méthode d'analyse moléculaire des ectomycorhizes à l'avantage d'avoir permis d'identifier des taxons supplémentaires qui n'avaient pas été détectés par la méthode des campagnes mycologiques soit parce que ces espèces n'ont pas fructifié cette année, soit parce que nous ne les avons tout simplement pas observées au moment des prospections. Cette méthode s'avère aussi être informative et importante dans la détection des successions mycorhiziennes qui évoluent naturellement avec l'âge du peuplement (Durrieu, 1993).



## QUATRIEME PARTIE : LA BIO-INDICATION FONGIQUE DE SAINTE-CROIX-VOLVESTRE, UNE ETUDE INNOVANTE ET PARTICULIEREMENT INTERESSANTE ...

Ces 6 mois de stages réalisés entre les différents partenaires de l'étude ont été très formateurs aussi bien sur le plan professionnel que personnel. Ils m'ont permis d'enrichir mes connaissances sur la mycologie et la complexité de l'écologie de ces organismes mais aussi d'être autonome tout au long du stage.

Les principales difficultés rencontrées lors de ce stage résident dans la complexité des communautés fongiques, l'état de leur connaissance (70 000 étudiés sur 16 000 000 estimés) et surtout le manque de bibliographies existantes sur leur écologie (Durrieu, 1993). S'il n'est pas difficile d'établir un inventaire pour les communautés végétales, les choses deviennent beaucoup plus compliquées s'agissant des champignons pour lesquels il n'existe pas de méthode d'échantillonnage précise : plus la surface d'échantillonnage augmente et plus le nombre d'espèces récoltées augmente également de façon considérable (Durrieu, 1993).

La méthode la plus utilisée et la plus simple à mettre en œuvre est celle des campagnes mycologiques qui aboutissent à des listes inventoriales présence / absence d'espèces. Mais cette méthode d'investigation connaît aussi ses limites et ses difficultés :

-  elle ne s'intéresse pas au mycélium des champignons mais aux structures de reproductions macroscopiques apparentes à la surface du sol : les carpophores. Les fructifications hypogées et les micromycètes ne sont donc pas considérées lors de ces recherches.
-  les fructifications sont fugaces et différentes d'une année sur l'autre et dépendent de nombreux facteurs : humidité, température de l'air et du sol (Barkman 1976 ; Thoen 1976, cité dans Durrieu 1993), conditions climatiques de la saison et des saisons précédentes (certaines espèces fongiques commencent à fructifier dès la fin de l'été jusqu'au début de l'automne) et divers autres facteurs encore inconnus à ce jour (Jansen 1984, cité dans Durrieu 1993).
-  Il existe peu de correspondance entre les espèces qui fructifient et celles qui abondent dans la rhizosphère (Gardes & Bruns, 1996a).

L'étude moléculaire des champignons ectomycorhiziens du Sapin pectiné est une méthode complémentaire aux prospections mycologiques. Cette méthode est plus difficile à réaliser car elle fait appel à des compétences spécifiques. Il s'agit d'une technique longue, coûteuse et légèrement destructive, qui malgré la précision dont elle est capable, ne permet malgré cela pas d'aboutir jusqu'à un nom d'espèce. Ces problèmes ont conduit à augmenter les temps initialement prévus pour ce volet dans mon stage.

Alors qu'il est relativement facile d'observer les plantes dans leurs milieux, la difficulté de la bio-indication fongique réside dans la complexité des cycles de reproduction et des statuts biologiques de certaines espèces. Certains champignons saprophytes sont suspectés d'être des champignons mycorhiziens comme le genre *Ramaria*, d'autres sont suspectés de posséder une activité mycorhizienne occasionnelle ou secondaire comme les *Lepista* et d'autres possèderaient une activité parasitique jugée



marginale : *Lenzites betulina*. Les limites de ce concept reposent aussi sur la biologie des espèces (les champignons actifs ne sont pas forcément discernables sous forme de carpophores mais dans le sol sous forme de mycélium), la fructification aléatoire est fortement dépendante de nombreux facteurs environnementaux et anthropiques ainsi que des compétences naturalistes des mycologues dans la détermination d'espèces difficiles (Moreau *et al.*, 2002). La place des champignons dans les écosystèmes, leurs exigences écologiques et leur bio-indication sont autant de facteurs importants à considérer dans les études de ces communautés. Même s'il repose sur l'évolution du statut mycorhizien avec l'âge des peuplements et la dualité fonctionnelle entre les saprotrophes et les mycorhiziens (Moreau *et al.*, 2002), ce spectre est très difficile à interpréter car il manque de reproductibilité et de données. Une seule publication officielle existe à ce sujet en France : il s'agit de l'étude du Renecofor (Moreau *et al.*, 2002).

Le calcul de ce spectre a été une étape très laborieuse qui nécessite :

-  la saisie informatique des statuts biologiques de chaque espèce sous format Excel ®.
-  un long travail de recherche sur les statuts biologiques des espèces récoltées dans la forêt.
-  des prises de contacts avec de nombreux mycologues (Nicolas De Munnik, Pierre-Arthur Moreau et Gilles Corriol) pour identifier la fiabilité des statuts biologiques énoncés dans la bibliographie.

Quoiqu'il en soit et malgré les difficultés rencontrées au cours de ce stage, la bio-indication fongique de la sapinière Sainte-Croix-Volvestre est une étude innovante et particulièrement intéressante. En France, il s'agirait de la première étude mycologique réalisée avec un tel recul des données (20 ans de campagnes mycologiques) selon une méthode d'échantillonnage rigoureuse (fréquence d'au moins 3-4 prospections / mois en automne et aux moments où les poussées fongiques sont propices) conduite avec un investissement très important dans la détermination des espèces fongiques. Nicolas De Munnik ne s'est en effet pas limitée aux carpophores apparents : il s'est aussi intéressé aux espèces plus petites : croutes, ... . Grâce à cet investissement particulier de la part du mycologue, **867 eumycota** ont été recensés jusqu'à ce jour dans la forêt dont **113 taxons déterminants** pour la région Midi-Pyrénées. Même si là encore, des données concernant la diversité mycologique d'autres forêts manquent et que la liste rouge des champignons en Midi-Pyrénées n'existent pas encore, Sainte-Croix-Volvestre présenterait une diversité spécifique exceptionnelle pour une forêt de basse altitude. D'autant que trois de ces espèces sont particulièrement intéressantes : il s'agit de *Pycnoporellus fulgens*, *Cantharellus friesii* et *Jahnoporus hirtus* très rare en Europe.

Ce stage a permis de dresser l'état zéro des espèces fongiques présentes sur le transect et les placettes et d'identifier le spectre biologique de la forêt. Sainte-Croix-Volvestre possède un spectre biologique remarquable ( $SB = 1,8 \pm 0,39$ ) et stable depuis 1991. Même si cet indice est fortement critiquable en raison de ces limites, ce spectre indiquerait un appauvrissement du sol en matière organique. Malgré son aspect subjectif, la définition de cet indice en terme de proportion mycorhizien saprophytes terricoles est très intéressante et mériterait d'être plus approfondie (corrélations avec les variables environnementales et climatiques) même si des premiers résultats non concluants ont déjà été menés lors de l'étude du Renecofor (Moreau *et al.*, 2002).



Le spectre biologique stable de Sainte-croix-Volvestre indique une nette dominance des champignons mycorrhiziens dans la forêt. Plusieurs hypothèses pourraient expliquer ce résultat :

-  Le pH faible des forêts de conifères et des stations acides réduirait l'activité des champignons terricoles et expliquerait ainsi l'observation d'une dominance en champignons mycorrhiziens (Ayer *et al.*, 2003).
-  La gestion sylvicole de la forêt (futaie irrégulière) n'a pas évolué. Dans les forêts anciennes relativement préservées, l'ancienneté de l'écosystème favoriserait la création de très nombreuses niches écologiques. Cette diversité accentuerait peut-être les organismes à exigences complexes tels que les mycorrhiziens (Eff, 1994).
-  Selon Eff (1994), les forêts des Pays-Bas les plus riches en fructifications mycorrhiziennes correspondent aux Pinèdes et aux Chênaies présentant des sols oligotrophes. Les causes de la régression des champignons ectomycorrhiziens (et de l'augmentation de ceux qui décomposent le bois mort, la matière organique et la litière du sol) seraient le fait d'un aménagement territorial, une baisse de la nappe phréatique, une augmentation de l'utilisation des engrais minéraux et organiques, une pollution atmosphérique, un changement de gestion et la fragmentation des habitats.

Face à ces hypothèses, il apparaît que l'étude des mycorrhiziens se révélerait être la plus à même d'identifier l'origine et la dynamique du dépérissement forestier de la forêt Sainte-Croix-Volvestre. En effet, ces organes existent que si les échanges à bénéfice réciproque entre les deux partenaires est possible. L'étude moléculaire réalisée au cours de ce stage a permis de dresser l'état zéro de la communauté fongique en relation avec le Sapin pectiné. Même si l'échantillonnage réalisé sous-estime la diversité des champignons ectomycorrhiziens (une année de prélèvements), le cortège fongique mis en évidence apporte des informations très intéressantes qui, pour conclure, nécessitent des études ultérieures. En effet, les communautés mycorrhiziennes évoluent avec l'âge des peuplements (Durrieu, 1993). De plus, cette association est très sensible aux conditions environnementales (tassement du sol, eutrophisation, emploi d'engrais organiques et minéraux, azote, ...) et à l'état de santé du partenaire chlorophyllien, en l'occurrence le Sapin pectiné.

La bio-indication fongique réalisée dans la forêt domaniale Sainte-Croix-Volvestre est ainsi particulièrement enrichissante et intéressante. La méthodologie rigoureuse employée dans cette étude servira à d'autres études similaires. Le spectre biologique de la sapinière Sainte-Croix-Volvestre a été révélé stable et fiable depuis 1991. Selon sa définition, ce spectre élevé indiquerait un appauvrissement du sol en matière organique non lié à une suexploitation forestière. Une étude pédologique serait intéressante à envisager pour expliquer ce déséquilibre.

Enfin, cette étude a permis de révéler la richesse mycologique exceptionnelle de cette forêt de faible superficie. Compte tenu des 113 taxons déterminants observés, Sainte-croix-Volvestre nécessiteraient une considération particulière. La création de la première réserve en faveur des communautés fongiques serait particulièrement intéressante, les champignons manquent en effet cruellement de considérations.



## BIBLIOGRAPHIE

- Ayer F., Lüscher P. & Egli S., 2003. Quelle est la place des champignons supérieurs dans les stations forestières ? *Schweiz.Z.Forstwes.* 154 : 149-160.
- Barkman J.J., 1976. Algemene inleiding tot de ecologie en sociologie van macrofungi. *Coolia* 19: 57-66.
- Bouet C., Pieri M. & Rivoire B., 2006. Un polypore très rare en Europe. *Bulletin Semestriel de la Fédération des Associations Mycologiques Méditerranéennes* 29 : 15-18.
- Courtecuisse R., 2000. *Guide des champignons de France et d'Europe*. Delachaux & Niestlé, Paris, 480p.
- Damon C., 2006. Les champignons ectomycorhiziens dans le taillis de chêne vert (*Quercus ilex*) : diversité et réponse des communautés aux perturbations anthropiques. Rapport Master Biodiversité, Ecologie et Evolution, Univ. Paul Sabatier, Toulouse, 36p.
- De Roman M. & De Miguel A.M., 2005. Post-fire, seasonal and annual dynamics of the ectomycorrhizal community in a *Quercus ilex* L. Forest over a 3-year period. *Mycorrhiza* 15: 471-481.
- Durieu G., 1993. *Ecologie des champignons*. Masson, Paris, 207p.
- Eff A., 1994. *Bedreigde paddestoelen in Nederland*. In Thom Kuyper, Paddestoelen en Natuurbeheer : 26-45.
- Flot J.L., Carouille F. & Lucas S., 2007. Dépérissement et mortalité : un éclairage de la situation en France. *IF* 16 (3) : 10p.
- Gardes M. & Bruns T. D., 1996a. Community structures of ectomycorrhizal fungi in a *Pinus muricata* forest: above- and below-ground views. *Can. J. Bot.* 74: 1572-1583.
- Gardes M. & Bruns T. D., 1996b. *ITS-RFLP matching for identification of fungi*. In: *Methods in Molecular Biology*. Eds. Clapp J. Humana Press, Inc : Totowa, New Jersey 50: 177-186.
- Gilbertson R.L., 1980. Wood-rotting fungi of North America. *Mycologia* 72: 1-49.
- Guinberteau J. & Courtecuisse R., 1997. Diversité des champignons (surtout mycorhiziens) dans les écosystèmes forestiers actuels. *Revue Forestière Française*, 49 (n° spécial « Champignons et mycorhizes en forêt ») : 25-39.
- Horton T.R. & Bruns T.D., 2001. The Molecular revolution in ectomycorrhizal ecology: peeking into the black-box. *New Phytologist* 139: 331-339.
- Jansen A.E., 1984. *Vegetation and macrofungi of acid oakwoods in the north-east of the Netherlands*. Pudoc, Wageningen, 162p.
- Laurent C. & Lecomte H., 2007. La santé des forêts. Rapport analytique 2006-2007. L'utilisation des ressources forestières, chapitre 6 : 202-207. <http://www.environnement.wallonie.be>
- Le Tacon F. & Selosse M.-A., 1997. Le rôle des mycorhizes dans la colonisation des continents et la diversification des écosystèmes terrestres. *Revue Forestière Française*, 49 (n° spécial « Champignons et mycorhizes en forêt ») : 15-24.
- Moreau P.-A., Daillant O., Corriol G., Gueidan C. & Courtecuisse R., 2002. *Renecofor - Inventaire des champignons supérieurs et des lichens sur 12 placettes du réseau et dans un site atelier de l'INRA/GIP ECOFOR – Résultats d'un projet pilote (1996-1998)*. Office National des Forêts, Fontainebleau, 142 p.
- Parcs naturels régionaux de France, 2005. Argumentaire 50 questions-réponses sur les Parcs naturels régionaux.
- Richard F., Millot S., Gardes M. & Selosse M.A., 2005. Diversity and specificity of ectomycorrhizal fungi retrieved from an old-growth Mediterranean forest dominated by *Quercus ilex*. *New Phytologist* 166: 1011-1023.
- Seen-Irlet B., Heilmann-Clausen J., Genney D. & Dalhberg A., 2007. Guidance for Conservation of Macrofungi in Europe. Rapport The Directorate of Culture and Cultural and Natural Heritage, European Council for Conservation of Fungi, Strasbourg, 39p.
- Selosse M.-A., 2001. *Apports des techniques génétiques et moléculaires à la connaissance des communautés et des populations de champignons ectomycorhiziens*. Lejeunia, Liège, 71p.
- Thoen D., 1976. Facteurs physiques et fructifications des champignons supérieurs dans quelques pessières d'Ardenne méridionale (Belgique). *Bull. Soc. linn. Lyon* 45: 269-284.
- Tofts R.J. & Orton P.D., 1998. The species accumulation curve for agarics and boleti from a Caledonian pinewood. *Mycologist* 12: 98-102.
- White T.J., Bruns T.D., Lee S. & Taylor J., 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for polygenetics. In: Innis M.A., Gelfand D.H., Sinsky J.J., White T.J. (eds) : *PCR Protocols: a Guide to Methods and Amplifications*. New York, USA: Academic Press: 315-322.



## LISTE DES GRAPHIQUES :

<b>Graphique 1</b>	Analyse méthodologique des prospections mycologiques de la forêt.....	24
<b>Graphique 2</b>	Analyse méthodologique du transect (T) et des placettes (P07 & P08).....	25
<b>Graphique 3</b>	Répartition des espèces recensées à l'échelle de la forêt.....	26
<b>Graphique 4</b>	Courbe cumulée (orange) et de tendance (bleue) des taxons nouveaux recensés dans la forêt au cours des prospections mycologiques.....	27
<b>Graphique 5</b>	Diversité mycologique d'autres forêts triées selon le nombre d'année d'études.....	28
<b>Graphique 6</b>	Répartition du nombre de taxons recensés selon le micro-habitat du transect (trouée, centre, pente) et le dispositif expérimental (Transect, Placette P07).....	30
<b>Graphique 7</b>	Répartition des taxons recensés sur les trois micro-habitats du transect.....	30
<b>Graphique 8</b>	Spectre biologique de la forêt (courbe bleue), Moyenne de ce spectre (droite orange) et intervalle de confiance de la moyenne (pointillée orange).....	31
<b>Graphique 9</b>	Comparaison des moyennes des spectres biologiques d'autres forêts.....	32
<b>Graphique 10</b>	Diagramme Rang abondance des taxons identifiés sur la placette P08 et sur le transect.....	36
<b>Graphique 11</b>	Diagramme rang-abondance au niveau de la trouée (a), du centre (b) et de la pente (c) du transect..	37

## LISTE DES TABLEAUX :

<b>Tableau 1</b>	Caractéristiques des prélèvements mycorhiziens effectués sur le dispositif expérimental.....	21
<b>Tableau 2</b>	Spectre biologique de la placette P07, du transect et de ces trois micro-habitats.....	32
<b>Tableau 3</b>	Indices de diversité de la communauté ectomycorhizienne recensée sur le dispositif expérimental.....	35
<b>Tableau 4</b>	Indices de diversité de la communauté ectomycorhizienne du transect.....	36

## LISTE DES FIGURES :

<b>Figure 1</b>	Sapin pectiné ( <i>Abies alba</i> ).....	1
<b>Figure 2</b>	Forêt Domaniale de Sainte-Croix-Volvestre (1 :25 000) (ONF Ariège).....	4
<b>Figure 3</b>	Myxomycète indéterminé (Stéphanie Leite).....	10
<b>Figure 4</b>	Place des champignons dans les écosystèmes naturels (Durrieu, 1993).....	12
<b>Figure 5</b>	Localisation de l'emplacement du dispositif expérimental dans la forêt domaniale de Sainte-Croix-Volvestre (ONF Ariège).....	16
<b>Figure 6</b>	Profil topographique du transect (Stéphanie Leite).....	17

## LISTE DES ILLUSTRATIONS :

[www.louroux-de-bouble.planet-allier.com](http://www.louroux-de-bouble.planet-allier.com) : illustration Girolles (page 2), Trompettes de la mort (page 5) et puces Cèpes.

Stéphanie Leite : *Pycnoporellus fulgens* (page de garde)

## ANNEXES :

**Annexe 1** Territoire du Projet de Parc Naturel Régional (PNR) des Pyrénées Ariégeoises (Projet de Parc Naturel Régional des Pyrénées Ariégeoises)

**Annexe 2** Représentation schématique de la région ITS de l'ADN ribosomique nucléaire chez les organismes eucaryote (Damon, 2006)

**Annexe 3** Aménagements passés de la forêt Domaniale de Sainte-Croix-Volvestre (ONF Ariège)

**Annexe 4** Mode de vie des organismes fongiques (Courtecuisse, 2000)

**Annexe 5** Cartographie du transect de la forêt Domaniale de Sainte-Croix-Volvestre (Stéphanie Leite)

**Annexe 6** Cartographie de la placette P08 de la Forêt Domaniale de Sainte-Croix-Volvestre (Stéphanie Leite)

**Annexe 7** Date des prospections mycologiques conduites dans la forêt de Sainte-Croix-Volvestre

**Annexe 8** Cartographie mycologique de l'Ariège ARIANE (Ariège ANimation Ecologie) (Nicolas De Munnik, 2000)

**Annexe 9** Méthodologie de la réalisation de la cartographie du transect et de la placette P08 (Stéphanie Leite)

**Annexe 10** Liste des espèces rencontrées dans la forêt domaniale de Sainte-Croix-Volvestre

**Annexe 11** Liste des espèces rencontrées sur le transect (T) et les placettes (P07 & P08)

**Annexe 12** Caractéristiques des forêts comparées à celle de Sainte-Croix-Volvestre

**Annexe 13** Liste des taxons déterminants non recensés dans la forêt depuis plus de 7 ans

**Annexe 14** Répartition des espèces recensées à l'échelle du transect et de la placette P07

**Annexe 15** Caractéristiques de l'échantillonnage moléculaire

**Annexe 16** Liste des taxons recensés à partir des analyses moléculaires des ectomycorhizes prélevées sur les racines du Sapin pectiné (*Abies alba*)

**Annexe 17** Indices de diversité

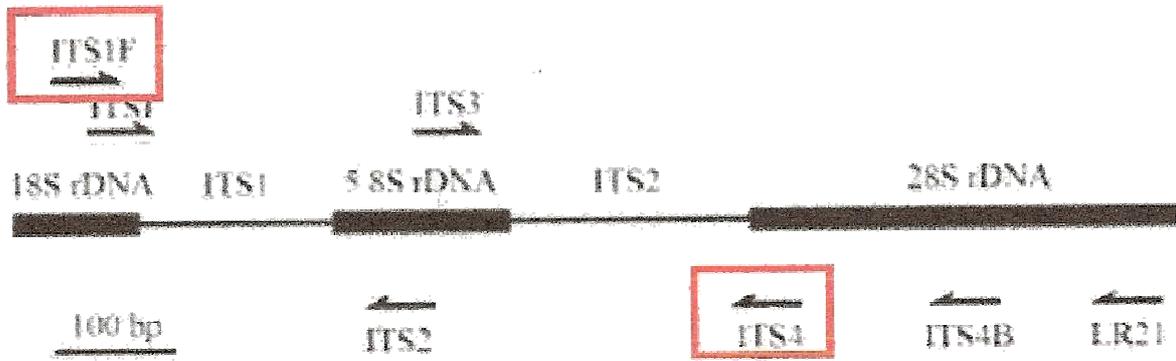
**Annexe 18** Diagramme Rang Abondance des taxons ectomycorhiziens identifiés au niveau du dispositif expérimental

**Annexe 19** Liste des taxons nouveaux détectés à l'aide de la méthode des mycorhizes (les taxons dont le nom d'espèce n'est pas certain sont indiqués entre parenthèses)

**Annexe 1** Territoire du Projet de Parc Naturel Régional (PNR) des Pyrénées Ariégeoises  
(Projet de Parc Naturel Régional des Pyrénées Ariégeoises)



**Annexe 2** Représentation schématique de la région ITS de l'ADN ribosomique nucléaire chez les organismes eucaryote (Damon, 2006)



### Annexe 3 Aménagements passés de la forêt Domaniale de Sainte-Croix-Volvestre (ONF Ariège)

1884 : 86,07 ha soit : - 46,47 ha traités en taillis-sous-futaie à rotation de 24 ans  
- 39,60 ha traités en jardinage, possibilité fixée à 102 m<sup>3</sup>/an

Révision de 1894 - possibilité fixée à 126 m<sup>3</sup>/an

Révision de 1904 - possibilité fixée à 138 m<sup>3</sup>/an

Révision de 1914 - La guerre n'a pas permis l'approbation de la nouvelle révision.

L'ouragan de 1915 et les prélèvements importants réalisés pendant le conflit mondial ont appauvri la forêt et ont conduit les aménagistes à suspendre les coupes de jardinage et à les remplacer par des coupes sanitaires.

Ces mesures ont été reconduites jusqu'en 1951.

1952-1962- Devant l'extension naturelle des résineux, il est proposé de diviser les 97,87 hectares qui constituent la forêt en deux séries :

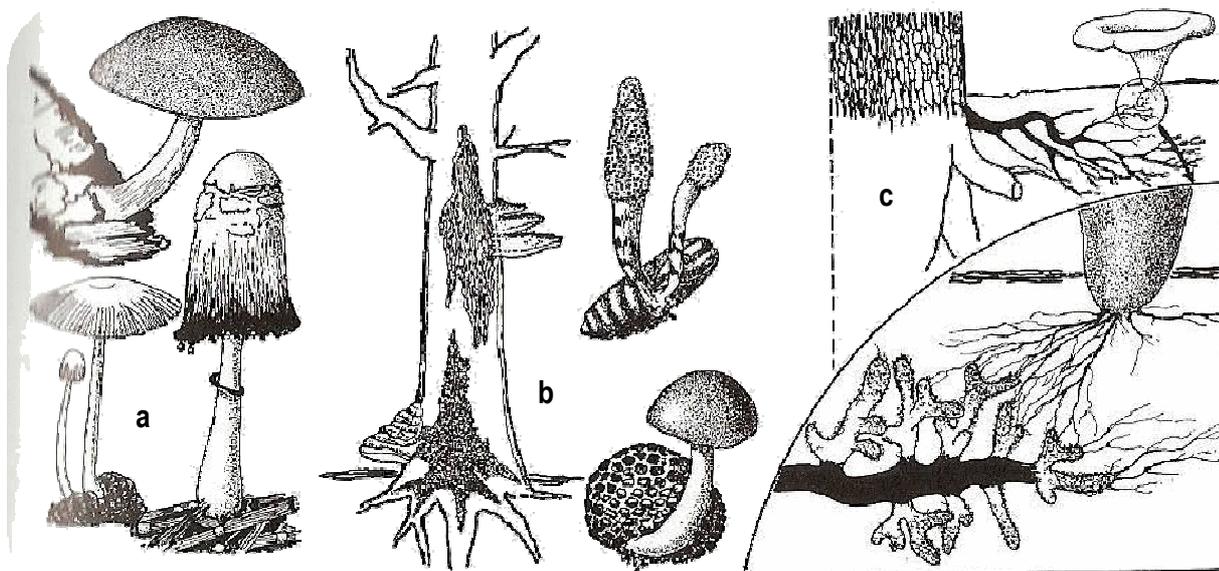
- 55,45 ha de futaie résineuse dont 22,12 ha de "quart en réserve"
- 42,42 ha de conversion en futaie résineuse.

La rotation est fixée à 12 ans.

1963-1974 Toute la forêt 102,62 ha est traitée en futaie jardinée à rotation de 12 ans. Les parcelles 4, 5, 6 et 7 n'ont pas été parcourues pour respecter la possibilité fixée.

Les courbes de fréquence des diamètres mettent en évidence un déficit dans les classes de diamètre 20, 25, 30 et supérieur à 45 cm.

**Annexe 4** Mode de vie des organismes fongiques (Courtecuisse, 2000)

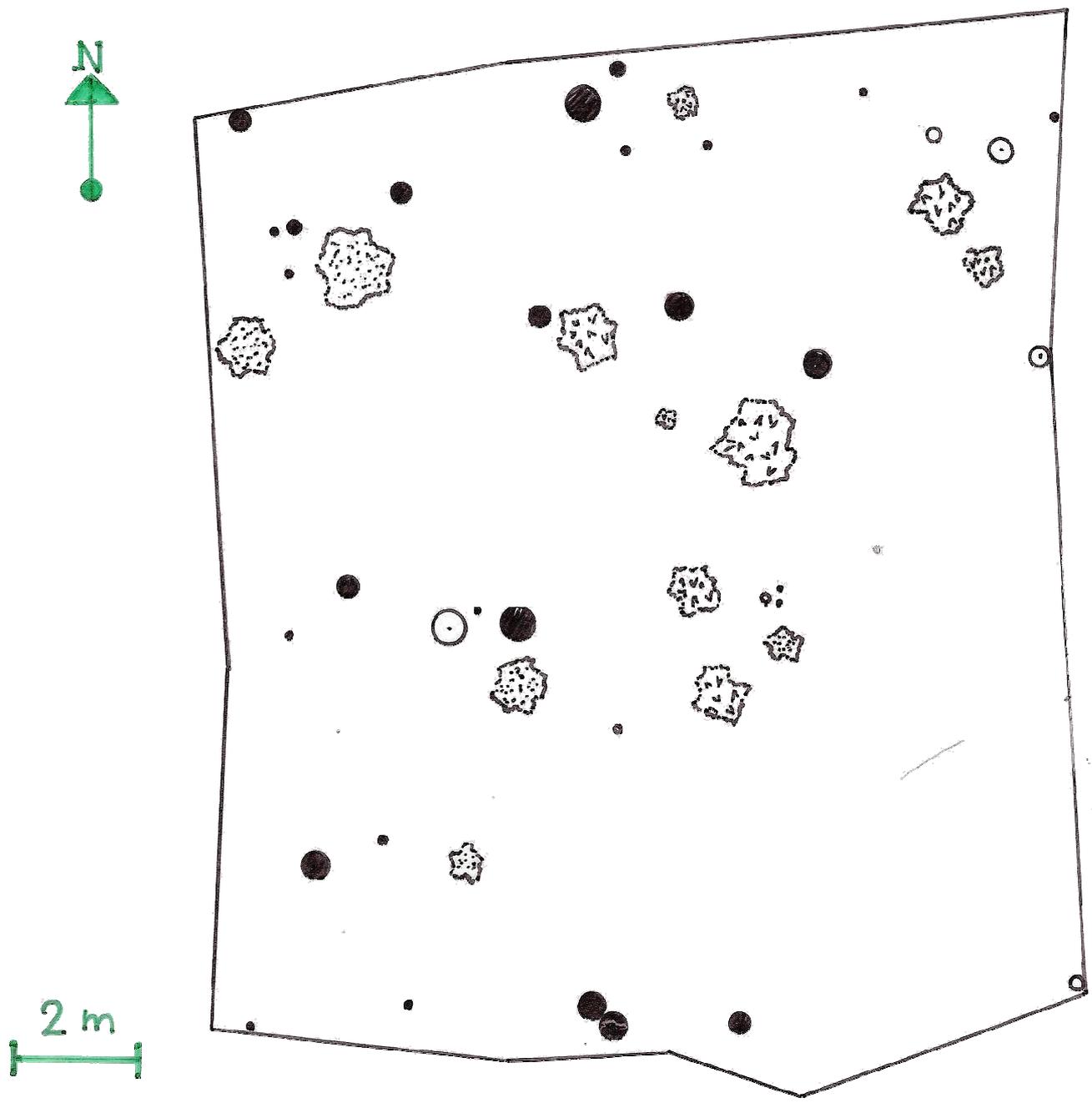


a : Saprophytisme

b : Parasitisme

c : Symbiose : mycorhizes avec détail de la relation mycélium-radicelle

Cartographie de la placette P08 de la Forêt Domaniale de Sainte-Croix-Volvestre  
(Stéphanie LEITE)



- |  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| ● Sapin pectiné ( <i>Abies alba</i> )    | ○ Souche                             |
| ○ Caducifolieses :                       | ⊕ Houx ( <i>Ilex aquifolium</i> )    |
| a Châtaignier ( <i>Castanea sativa</i> ) | ⊖ Fragon ( <i>Ruscus aculeatus</i> ) |
| b Noisetier ( <i>Coryllus avellana</i> ) |                                      |
| c Chêne ( <i>Quercus sp.</i> )           |                                      |



**Annexe 7** Date des prospections mycologiques conduites dans la forêt de Sainte-Croix-Volvestre  
(fond bleu = hiver, fond vert = printemps, fond jaune = été et fond marron = automne)

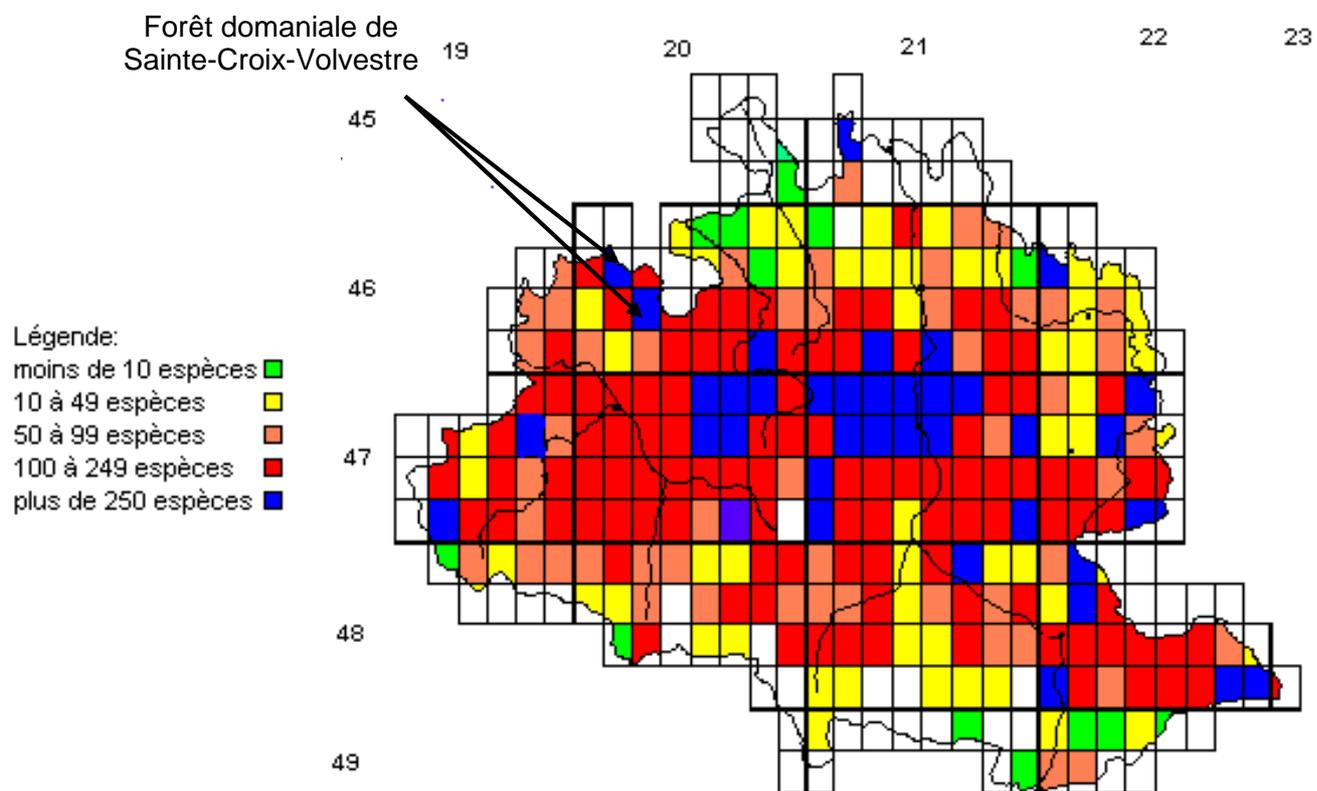
1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
1-janv.	7-oct.	6-oct.	11-janv.	19-avr.	31-déc.	14-janv.	2-févr.	6-oct.	22-févr.	15-janv.
13-nov.	5-nov.	31-oct.	21-avr.			23-avr.	19-mars	8-oct.	6-avr.	19-avr.
	26-nov.		1-mai			4-juin	10-juin		7-juin	3-mai
	28-nov.		17-mai			15-nov.	17-août		14-juin	
			15-juil.				14-oct.		18-août	
			5-oct.				20-oct.		9-sept.	
			12-déc.				4-nov.		13-sept.	
							18-nov.		30-nov.	
							25-nov.			

1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
15-janv	29-janv	15-févr	04-mai	09-juin	04-oct	08-oct	24-sept	07-oct	17-sept	13-janv
19-avr	28-juin	17-févr	22-sept	11-oct	22-nov	10-oct		29-oct	19-sept	08-mars
03-mai	10-oct	17-mars	15-oct						27-sept	05-avr
		09-avr	04-nov						30-sept	04-mai
		10-avr							02-oct	24-mai
		15-juin							08-oct	29-juin
		10-oct							09-oct	04-juil
		17-nov							13-oct	23-juil
									18-oct	19-sept
									20-oct	28-sept
									21-oct	
									29-oct	
									01-nov	
									09-nov	
									24-nov	
									09-déc	
	01-janv	non daté								

**En rouge** : les prospections réalisées sur le dispositif expérimental (Transect & Placette P07)

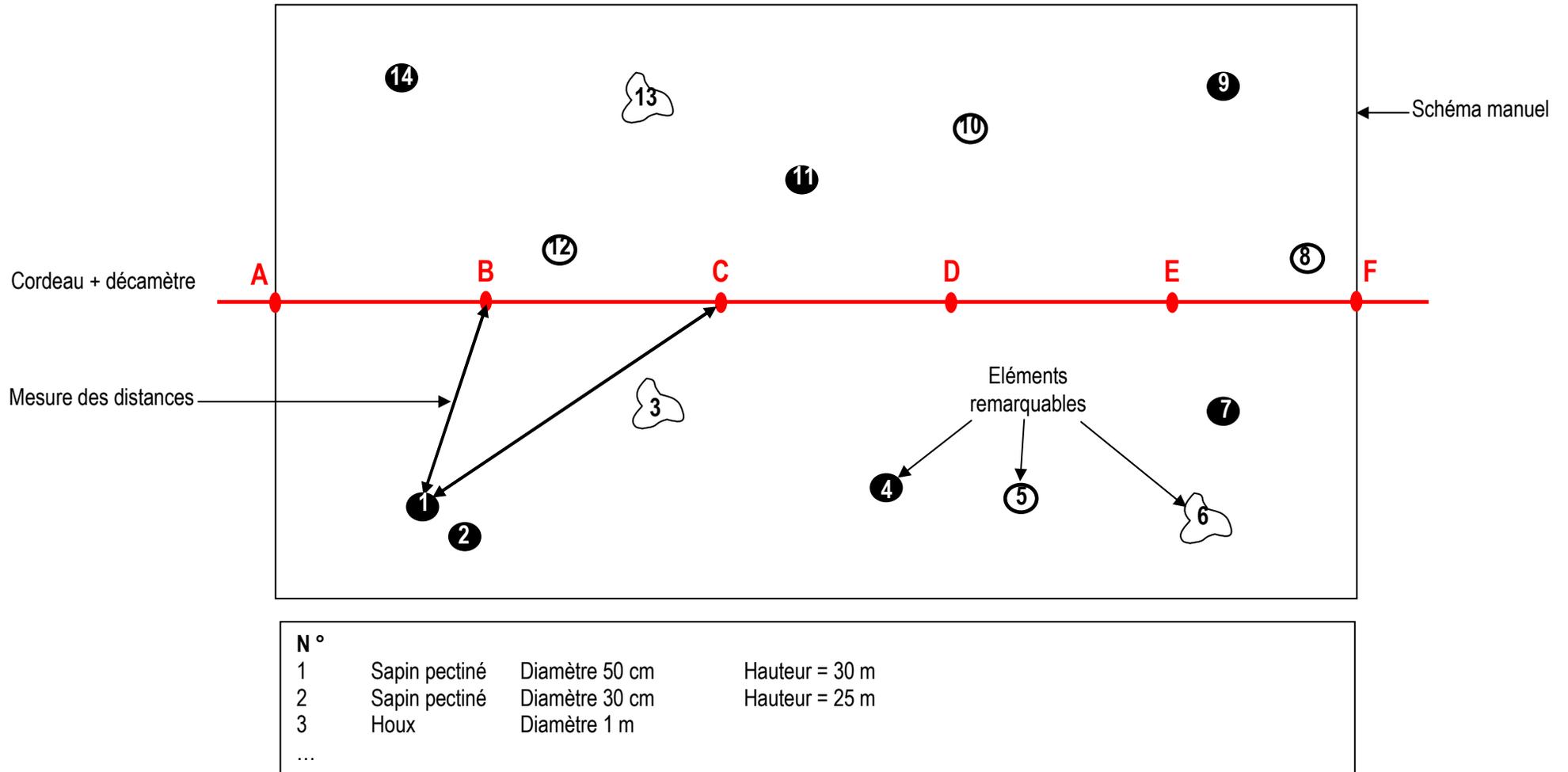
**En Rouge** : les prospections réalisées sur le dispositif expérimental (Transect, Placette P08 & P07)

**Annexe 8** Cartographie mycologique de l'Ariège ARIANE (Ariège ANimation Ecologie) (Nicolas De Munnik, 2000)



La forêt domaniale de Sainte-Croix-Volvestre est située sur le secteur 2046 (abscisse 20, ordonnée 46) au niveau des rectangles 10,11 et 18 pour le massif principal et le rectangle 19 pour le massif des Oustalots.

## Annexe 9 Méthodologie de la réalisation de la cartographie du transect et de la placette P08



**Annexe 10** Liste des espèces rencontrées dans la forêt domaniale de Sainte-Croix-Volvestre

	<b>Ascomycotina</b>	<b>Pfongicole</b>	<b>Hypocrea pulvinata</b>
Sh (Myc)	<i>Aleuria aurantia</i>	Parasite	<i>Hypomyces aurantius</i>
SI	<i>Ascocoryne cylichnium</i>	Parasite	<i>Hypomyces chrysosperma</i>
<b>SI / parasite nécotrophe</b>	<b><i>Biscogniauxia dennisii</i></b>	Pfongicole	<i>Hypomyces rosellus</i>
<b>SI / parasite nécotrophe</b>	<b><i>Biscogniauxia mediterranea</i></b>	Pfongicole	<i>Hypomyces tulasneanus</i>
SI / parasite nécotrophe	<i>Biscogniauxia nummularia</i>	SI	<i>Hypoxylon cohaerens</i>
Parasite Biotrophe	<i>Bryoscyphus dicrani</i>	SI	<i>Hypoxylon diffusa</i>
<b>SI / Sh incertain</b>	<b><i>Caloscypha fulgens</i></b>	SI	<i>Hypoxylon fragiforme</i>
SI	<i>Chaetosphaeria crustacea</i>	SI	<i>Hypoxylon fuscum</i>
SI	<i>Chlorociboria aeruginascens</i>	SI	<i>Hypoxylon howeianum</i>
Slit	<i>Ciboria rufosca</i>	SI	<i>Hypoxylon minutellum</i>
Pfongicole	<i>Cordyceps capitata</i>	SI	<i>Hypoxylon multiforme</i>
Pinsectes	<i>Cordyceps militaris</i>	SI	<i>Hypoxylon rubiginosum</i>
Pinsectes	<i>Cordyceps ophioglossoides</i>	SI	<i>Kretzschmaria deusta</i>
Parasite	<i>Cosmospora episphaeria</i>	SI	<i>Lasiosphaeria porifera</i>
SI	<i>Creopus gelatinosus</i>	Sh	<i>Leotia lubrica</i>
Parasite	<i>Cryphonectria parasitica</i>	Myc	<i>Leucoscypha leucotricha</i>
S incertain	<i>Cudonia confusa</i>	SI	<i>Lopadostoma gastrinum</i>
SI	<i>Cudoniella acicularis</i>	SI	<i>Lophiostoma sp.</i>
SI	<i>Curreya pithyophila</i>	SI	<i>Lophium mytilinum</i>
SI	<i>Daldinia eschscholtzii</i>	SI / Parasite	<i>Lophodermium piceae</i>
SI	<i>Dasyscyphus virgineus</i>	Slit	<i>Lophodermium pinastri</i>
SI	<i>Diatrype decorticata</i>	Sh	<i>Melastiza chateri</i>
SI	<i>Diatrype disciformis</i>	Parasite biotrophe	<i>Microsphaera alphitoides</i>
SI	<i>Diatrype stigma</i>	Parasite biotrophe	<i>Microsphaera evonymi</i>
SI	<i>Diatrypella quercina</i>	SI	<i>Mollisia ligni</i>
SI	<i>Diatrypella verrucaeformis</i>	Sgram	<i>Mollisia palustris</i>
SI	<i>Durandiella gallica</i>	Endophyte	<i>Nectria fuckeliana</i>
Myc	<i>Elaphomyces granulatus</i>	Endophyte	<i>Nectria pinea</i>
Myc	<i>Elaphomyces muricatus?</i>	SI	<i>Neobulgaria pura</i>
SI	<i>Eriopeziza caesia</i>	<b>Sh</b>	<b><i>Otidea alutacea ?</i></b>
Parasite	<i>Erysiphe martii</i>	Sh (Myc)	<i>Otidea onotica</i>
SI	<i>Eutypa spinosa</i>	Sh	<i>Pachyella barleana</i>
SI	<i>Eutypella grandis</i>	SI	<i>Pachyella violaceonigra</i>
SI	<i>Eutypella quaternata</i>	Parasite biotrophe	<i>Paraphaeosphaeria rusci</i>
Pfongicole	<i>Helminthosphaeria clavarium</i>	Pfongicole	<i>Peckiella deformans</i>
Sh (Myc)	<i>Helvella acetabulum</i>	SI	<i>Pezicula sepium</i>
<b>Sh</b>	<b><i>Helvella atra</i></b>	Sh	<i>Peziza badia</i>
Sh	<i>Helvella crispa</i>	Sh (Myc)	<i>Peziza succosa</i>
Sh	<i>Helvella elastica</i>	SI	<i>Phacidium multivalve</i>
Sh	<i>Helvella macropus</i>	Sh (Myc)	<i>Plectania melastoma</i>
Myc	<i>Helvella sulcata</i>	Pfongicole	<i>Polydesmia pruinosa</i>
Sh (Myc)	<i>Humaria hemisphaerica</i>	SI	<i>Propolomyces versicolor</i>
Slit	<i>Hymenoscyphus calyculus</i>	Parasite foliaire	<i>Pseudopeziza trifolii</i>
Slit (Myc)	<i>Hymenoscyphus fructigenus</i>	S (fougère morte)	<i>Rhopoglyphus filicinus</i>
Sherb (Myc)	<i>Hymenoscyphus scutula</i>	SI	<i>Rosellinia thelena</i>
<b>SI</b>	<b><i>Hypocrea argillacea</i></b>	S (fruits)	<i>Rutstroemia echinophila</i>
<b>SI/Slitière</b>	<b><i>Hypocrea citrina</i></b>	S (fruits)	<i>Rutstroemia firma</i>
<b>SI</b>	<b><i>Hypocrea lactea</i></b>	SI	<i>Sarcoscypha coccinea</i>
		Myc	<i>Sarcosphaera coronaria</i>
		SI	<i>Sarea resinae</i>



Sh (Myc)	<i>Clavulina rugosa</i>	Myc	<i>Cortinarius cinnabarinus</i>
Sh	<i>Clavulinopsis helvola</i>	Myc	<i>Cortinarius cinnamomeobadius</i>
Sh (Myc)	<i>Climacocystis borealis</i>	Myc	<i>Cortinarius cinnamomeus</i>
Sh	<i>Clitocybe clavipes</i>	Myc	<i>Cortinarius claricolor</i>
Sh	<i>Clitocybe decembris</i>	Myc	<i>Cortinarius colus</i>
Sh	<i>Clitocybe diatreta</i>	Myc	<i>Cortinarius cotoneus</i>
Sh	<i>Clitocybe ditopa</i>	Myc	<i>Cortinarius croceus</i>
Sh	<i>Clitocybe gibba</i>	Myc	<i>Cortinarius cumatilis</i>
Sh	<i>Clitocybe metachroa</i>	Myc	<i>Cortinarius decipiens</i>
Sh	<i>Clitocybe mortuosa</i>	Myc	<i>Cortinarius delibutus</i>
Sh	<i>Clitocybe nebularis</i>	Myc	<i>Cortinarius dibaphus</i>
Sh	<i>Clitocybe odora</i>	Myc	<i>Cortinarius dionysae</i>
Sh	<i>Clitocybe phaeophthalma</i>	Myc	<i>Cortinarius elatior</i>
Sh	<i>Clitocybe phyllophila</i>	Myc	<i>Cortinarius evernius</i>
Sh	<i>Clitocybe pruinosa</i>	Myc	<i>Cortinarius gentilis</i>
Sh	<i>Clitocybe radicellata</i>	Myc	<i>Cortinarius glaucopus</i>
Sh	<i>Clitocybe vermicularis</i>	Myc	<i>Cortinarius glaucopus v. olivaceus</i>
Sh	<i>Clitocybe vibecina</i>	Myc	<i>Cortinarius infractus</i>
SI	<i>Clitocybula lacerata</i>	Myc	<i>Cortinarius laniger</i>
SI	<i>Clitocybula lacerata v. odora</i>	Myc	<i>Cortinarius malicorius</i>
Sh	<i>Clitopilus prunulus</i>	Myc	<i>Cortinarius melanotus</i>
Parasite	<i>Coleosporium melampyri</i>	Myc	<i>Cortinarius mucifluoides</i>
Parasite	<i>Coleosporium tussilaginis</i>	Myc	<i>Cortinarius mucifluus</i>
Sh	<i>Collybia aquosa</i>	Myc	<i>Cortinarius mucosus</i>
Sh	<i>Collybia butyracea</i>	Myc	<i>Cortinarius nemorensis</i>
Sh	<i>Collybia butyracea v. asema</i>	Myc	<i>Cortinarius ochroleucus</i>
Sh	<i>Collybia distorta</i>	Myc	<i>Cortinarius odorifer</i>
Sh	<i>Collybia dryophila</i>	Myc	<i>Cortinarius paleaceus</i>
Parasite Biotrophe	<i>Collybia fusipes</i>	Myc	<i>Cortinarius paleifer</i>
Sh	<i>Collybia maculata</i>	Myc	<i>Cortinarius phoeniceus</i>
SI	<i>Collybia peronata</i>	Myc	<i>Cortinarius purpurascens</i>
Sfongicole	<i>Collybia racemosa</i>	Myc	<i>Cortinarius rubellus</i>
Sfongicole	<i>Collybia tuberosa</i>	Myc	<i>Cortinarius rubicundulus</i>
Myc	<i>Coltricia perennis</i>	Myc	<i>Cortinarius salor</i>
SI	<i>Coniophora arida</i>	Myc	<i>Cortinarius sanguineus</i>
SI	<i>Coniophora puteana</i>	Myc	<i>Cortinarius semisanguineus</i>
?	<i>Conocybe kuehneriana</i>	Myc	<i>Cortinarius sodagnitus</i>
Sh	<i>Coprinus comatus</i>	Myc	<i>Cortinarius speciosissimus</i>
Sh	<i>Coprinus picaceus</i>	Myc	<i>Cortinarius stillatitius</i>
SI	<i>Coriopsis trogii</i>	Myc	<i>Cortinarius topiaceus</i>
Myc	<i>Cortinarius acutovelatus</i>	Myc	<i>Cortinarius torvus</i>
Myc	<i>Cortinarius acutus</i>	Myc	<i>Cortinarius triumphans</i>
Myc	<i>Cortinarius alboviolaceus</i>	Myc	<i>Cortinarius trivialis</i>
Myc	<i>Cortinarius anomalus</i>	Myc	<i>Cortinarius uraceus</i>
Myc	<i>Cortinarius argutus</i>	Myc	<i>Cortinarius varicolor</i>
Myc	<i>Cortinarius armillatus</i>	Myc	<i>Cortinarius varius</i>
Myc	<i>Cortinarius bicolor</i>	Myc	<i>Cortinarius venetus</i>
Myc	<i>Cortinarius caesiocanescens</i>	Myc	<i>Cortinarius vibratilis</i>
Myc	<i>Cortinarius callisteus</i>	Myc	<i>Craterellus cornucopioides</i>
Myc	<i>Cortinarius calochrous</i>	SI	<i>Creolophus cirrhatus</i>
Myc	<i>Cortinarius camphoratus</i>	SI	<i>Crepidotus cesatii</i>

<b>Sherb</b>	<b>Crepidotus epibryus</b>	SI	<i>Gloeophyllum sepiarium</i>
SI	<i>Crepidotus mollis</i>	SI	<i>Gloeoporus taxicola</i>
SI	<i>Crucibulum laeve</i>	SI	<i>Gloiothele lactescens</i>
Sh	<i>Cuphophyllum niveus</i>	SI	<i>Granulobasidium vellereum</i>
SI	<i>Cyathus striatus</i>	SI	<i>Guepiniopsis buccina</i>
SI	<i>Cylindrobasidium evolvens</i>	SI	<i>Gymnopilus hybridus</i>
Bryotrophe	<i>Cyphellostereum laeve</i>	SI	<i>Gymnopilus penetrans</i>
Sh	<i>Cystoderma amianthinum</i>	SI	<i>Gymnopilus spectabilis</i>
Sh	<i>Cystoderma carcharias</i>	Parasite Biotrophe	<i>Gymnosporangium cornutum</i>
<b>Sh</b>	<b>Cystoderma granulosum</b>	Myc	<i>Hebeloma mesophaeum</i>
Sh	<i>Cystoderma terreyi</i>	Myc	<i>Hebeloma pallidoluctuosum</i>
Sh	<i>Cystolepiota seminuda</i>	Myc	<i>Hebeloma radicosum</i>
SI	<i>Dacrymyces stillatus</i>	Myc	<i>Hebeloma sinapizans</i>
SI	<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Slit	<i>Hemimycena cucullata</i>
SI	<i>Daedaleopsis tricolor</i>	Slit	<i>Hemimycena gracilis</i>
SI	<i>Datronia mollis</i>	Slit	<i>Hemimycena pithya</i>
<b>SI</b>	<b>Dentipellis fragilis</b>	SI	<i>Hemimycena tortuosa</i>
SI	<i>Ditiola pezizaeformis</i>	SI	<i>Henningsomyces candidus</i>
Sh	<i>Echinoderma acutisquamosum</i>	SI / Parasite	<i>Heterobasidion annosum</i>
Sh	<i>Echinoderma asperum</i>	SI	<i>Hohenbuehelia geogenia</i>
SI	<i>Eichleriella deglubens</i>	SI	<i>Hohenbuehelia petaloides</i>
Sh	<i>Entoloma cetratum</i>	Myc	<i>Hydnum repandum</i>
Sh	<i>Entoloma conferendum</i>	Myc	<i>Hydnum rufescens</i>
Sh	<i>Entoloma hirtipes</i>	SI	<i>Hydropus atramentosus</i>
Sh	<i>Entoloma nidorosum</i>	SI	<i>Hydropus subalpinus</i>
Sh	<i>Entoloma papillatum</i>	Sh,SI	<i>Hygrophoropsis aurantiaca</i>
SI	<i>Exidia glandulosa</i>	Sh	<i>Hygrophoropsis pallida</i>
SI	<i>Exidia pithya</i>	Myc	<i>Hygrophorus arbustivus</i>
SI	<i>Exidia recisa</i>	Myc	<i>Hygrophorus chrysodon</i>
SI	<i>Exidia thuretiana</i>	Myc	<i>Hygrophorus cossus</i>
SI	<i>Exidia truncata</i>	Myc	<i>Hygrophorus hypothejus</i>
SI	<i>Femsjonina pezizaeformis</i>	Myc	<i>Hygrophorus marzuolus</i>
SI	<i>Fistulina hepatica</i>	<b>Myc</b>	<b>Hygrophorus pudorinus</b>
Slit	<i>Flammulaster carpophilus</i>	SI	<i>Hymenochaete corrugata</i>
SI	<i>Flammulina velutipes</i>	SI	<i>Hymenochaete cruenta</i>
Parasite	<i>Fomes fomentarius</i>	<b>SI</b>	<b>Hymenochaete fuliginosa</b>
SI / Parasite	<i>Fomitopsis pinicola</i>	SI	<i>Hymenochaete rubiginosa</i>
SI	<i>Galerina autumnalis</i>	SI	<i>Hyphoderma radula</i>
Sh	<i>Galerina hypnorum</i>	SI	<i>Hyphodontia alutaria</i>
SI	<i>Galerina laevis</i>	SI	<i>Hyphodontia arguta</i>
SI	<i>Galerina marginata</i>	SI	<i>Hyphodontia breviseta</i>
Sh	<i>Galerina pumila</i>	SI	<i>Hyphodontia floccosa</i>
Sh	<i>Galerina sahleri</i>	SI	<i>Hypholoma capnoides</i>
Bryotrophe	<i>Galerina subclavata</i>	SI	<i>Hypholoma fasciculare</i>
Parasite	<i>Ganoderma adspersum</i>	SI	<i>Hypholoma subericaceum</i>
SI	<i>Ganoderma carnosum</i>	SI	<i>Hypholoma sublateritium</i>
SI	<i>Ganoderma lipsiense</i>	SI	<i>Hypochnicium polonense</i>
SI	<i>Ganoderma lucidum</i>	Myc	<i>Inocybe abietis</i>
<b>Sh (Myc)</b>	<b>Geastrum pectinatum</b>	Myc	<i>Inocybe abjecta</i>
Sh (Myc)	<i>Geastrum rufescens</i>	Myc	<i>Inocybe bongardii</i>
Sh (Myc)	<i>Geastrum sessile</i>	Myc	<i>Inocybe calamistrata</i>

Myc	<i>Inocybe corydalina</i>	Myc	<i>Lactarius vellereus</i>
Myc	<i>Inocybe gausapata</i>	Myc	<i>Lactarius volemus</i>
Myc	<i>Inocybe geophylla</i>	Myc	<i>Lactarius zonarius</i>
Myc	<i>Inocybe geophylla v. lilacina</i>	Parasite	<i>Laetiporus sulphureus</i>
Myc	<i>Inocybe geraniolens</i>	SI	<i>Lasiochlaena benzoina</i>
Myc	<i>Inocybe kuehneri</i>	Myc	<i>Leccinum aurantiacum</i>
Myc	<i>Inocybe lacera</i>	Myc	<i>Leccinum lepidum</i>
Myc	<i>Inocybe langei</i>	Myc	<i>Leccinum scabrum</i>
Myc	<i>Inocybe lanuginosa</i>	SI	<i>Lentinellus castoreus</i>
Myc	<i>Inocybe nitidiuscula</i>	SI	<i>Lentinellus micheneri</i>
Myc	<i>Inocybe pelargonium</i>	SI	<i>Lentinellus omphalodes?</i>
Myc	<i>Inocybe petiginosa</i>	SI	<i>Lentinellus vulpinus</i>
Myc	<i>Inocybe phaeoleuca</i>	SI / parasite	<i>Lenzites betulina</i>
Myc	<i>Inocybe praetervisa</i>	Sh	<i>Lepiota castanea</i>
Myc	<i>Inocybe rimosa</i>	Sh	<i>Lepiota clypeolaria</i>
Parasite	<i>Inonotus cuticularis</i>	Sh	<i>Lepiota cristata</i>
SI	<b><i>Jahnporus hirtus</i></b>	Sh	<i>Lepiota echinella</i>
SI	<i>Junghunia nitida</i>	Sh	<i>Lepiota felina</i>
SI	<i>Kuehneromyces mutabilis</i>	Sh	<b><i>Lepiota fuscovinacea</i></b>
Myc	<i>Laccaria affinis</i>	Sh	<i>Lepiota ignicolor</i>
Myc	<i>Laccaria amethystina</i>	Sh	<i>Lepiota ignipes</i>
Myc	<i>Laccaria bicolor</i>	Sh	<i>Lepiota ignivolvata</i>
Myc	<i>Laccaria laccata</i>	Sh	<i>Lepiota ventriosospora</i>
Myc	<i>Laccaria laccata v. moelleri</i>	Sh	<i>Lepista inversa</i>
Myc	<i>Laccaria tortilis</i>	Myc	<i>Lepista nuda</i>
Myc	<i>Lactarius albocarneus</i>	Sh	<i>Leucocortinarius bulbiger</i>
Myc	<i>Lactarius aurantiacus</i>	SI	<i>Leucogyrophana mollusca</i>
Myc	<i>Lactarius aurantiofulvus</i>	Sh	<i>Leucopaxillus candidus</i>
Myc	<i>Lactarius blennius</i>	Sh	<i>Leucopaxillus paradoxus</i>
Myc	<i>Lactarius camphoratus</i>	Myc	<b><i>Limacella furnacea</i></b>
Myc	<i>Lactarius chrysorrheus</i>	Sh	<i>Lycoperdon echinatum</i>
Myc	<i>Lactarius controversus</i>	Sh	<i>Lycoperdon perlatum</i>
Myc	<i>Lactarius deliciosus</i>	SI	<i>Lycoperdon piriforme</i>
Myc	<i>Lactarius deterrimus</i>	SI	<i>Lycoperdon umbrinum</i>
Myc	<i>Lactarius fuliginosus</i>	Sh	<i>Lyophyllum connatum</i>
Myc	<b><i>Lactarius fulvissimus</i></b>	Sh	<i>Lyophyllum decastes</i>
Myc	<i>Lactarius glyciosmus</i>	Sh	<i>Lyophyllum fumosum</i>
Myc	<i>Lactarius lignyotus</i>	Sh	<i>Lyophyllum infumatum</i>
Myc	<i>Lactarius mitissimus</i>	Sh	<i>Macrocystidia cucumis</i>
Myc	<i>Lactarius necator</i>	Sh	<i>Macrolepiota excoriata</i>
Myc	<i>Lactarius pallidus</i>	Sh	<i>Macrolepiota mastoidea</i>
Myc	<i>Lactarius pergamenus</i>	Sh	<i>Macrolepiota rhacodes</i>
Myc	<i>Lactarius picinus</i>	Sh	<i>Macrolepiota rickenii</i>
Myc	<i>Lactarius piperatus</i>	SI	<i>Marasmiellus ramealis</i>
Myc	<i>Lactarius pterosporus</i>	Slit	<i>Marasmiellus vaillantii</i>
Myc	<i>Lactarius quietus</i>	Sh	<i>Marasmius alliaceus</i>
Myc	<i>Lactarius rufus</i>	Slit	<i>Marasmius androsaceus</i>
Myc	<i>Lactarius salmonicolor</i>	Slit	<i>Marasmius bulliardii</i>
Myc	<i>Lactarius scrobiculatus</i>	Slit	<i>Marasmius cohaerens</i>
Myc	<i>Lactarius subdulcis</i>	Slit	<i>Marasmius epiphylloides</i>
Myc	<i>Lactarius uvidus</i>	Slit	<i>Marasmius epiphyllum</i>

Slit	<b>Marasmius hudsoni</b>	SI	<i>Oligoporus ptychogaster</i>
SI	<i>Marasmius rotula</i>	SI	<i>Oligoporus stipticus</i>
Slit	<i>Marasmius scorodonius</i>	<b>Myc</b>	<b><i>Onnia tomentosa</i></b>
Slit	<i>Marasmius setosus</i>	<b>Sh</b>	<b><i>Oudemansiella melanotricha</i></b>
Slit	<i>Marasmius torquescens</i>	Sh	<i>Oudemansiella mucida</i>
Slit	<i>Marasmius undatus</i>	Sh	<i>Oudemansiella pudens</i>
Sh	<i>Megacollybia platyphylla</i>	Sh	<i>Oudemansiella radicata</i>
Sherb	<i>Melampsorella caryophyllacearum</i>	SI	<i>Panellus mitis</i>
Sh	<i>Melanoleuca melaleuca</i>	SI	<i>Panellus serotinus</i>
SI	<i>Merulius tremellosus</i>	SI	<i>Panellus stypticus</i>
SI	<i>Micromphale inodorum</i>	<b>SI</b>	<b><i>Panellus violaceofulvus</i></b>
Slit	<i>Micromphale perforans</i>	SI	<i>Paxillus atrotomentosus</i>
<b>SI</b>	<b><i>Mucronella calva</i></b>	Myc	<i>Paxillus involutus</i>
SI	<i>Mucronella sp.</i>	SI	<i>Peniophora pithya</i>
Sh	<i>Mutinus caninus</i>	SI	<i>Peniophora quercina</i>
SI	<i>Mycena abramsii</i>	<b>Myc</b>	<b><i>Phaeocollybia christinae</i></b>
Slit	<i>Mycena acicula</i>	Parasite	<i>Phaeolus schweinitzii</i>
SI	<i>Mycena amicta</i>	Sh	<i>Phallus impudicus</i>
SI	<i>Mycena arcangeliana</i>	SI	<i>Phanerochaete sordida</i>
Slit	<i>Mycena cinerella</i>	Parasite	<i>Phellinus chrysoloma ?</i>
SI	<i>Mycena citrinella</i>	SI	<i>Phellinus ferruginosus</i>
Sh	<i>Mycena citrinomarginata</i>	SI	<i>Phellinus hartigii</i>
<b>Sh</b>	<b><i>Mycena diosma</i></b>	<b>Myc</b>	<b><i>Phellodon confluens</i></b>
SI	<i>Mycena epipterygia</i>	<b>Myc</b>	<b><i>Phellodon melaleucus</i></b>
SI	<i>Mycena epipterygia v. lignicola</i>	Myc	<i>Phellodon niger</i>
SI	<i>Mycena erubescens</i>	<b>Myc</b>	<b><i>Phellodon tomentosus</i></b>
Sh	<i>Mycena flavoalba</i>	SI	<i>Phlebia cornea</i>
SI	<i>Mycena galericulata</i>	SI	<i>Phlebia livida</i>
Sh	<i>Mycena galopus</i>	SI	<i>Phlebiella vaga</i>
SI	<i>Mycena haematopus</i>	SI	<i>Pholiota adiposa</i>
SI	<i>Mycena hiemalis</i>	SI	<i>Pholiota alnicola</i>
SI	<i>Mycena inclinata</i>	SI / parasite ?	<i>Pholiota astragalina</i>
SI	<i>Mycena meliigena</i>	Parasite	<i>Pholiota aurivella</i>
Sh	<i>Mycena metata</i>	SI	<i>Pholiota flammans</i>
SI	<i>Mycena polygramma</i>	SI	<i>Pholiota flavida</i>
Sh	<i>Mycena pura</i>	SI	<i>Pholiota gummosa</i>
SI	<i>Mycena renati</i>	SI	<i>Pholiota highlandensis</i>
Sherb	<i>Mycena rorida</i>	Sh	<i>Pholiota lenta</i>
Sh	<i>Mycena rosea</i>	SI / Parasite	<i>Pholiota limonella</i>
Slit	<i>Mycena sanguinolenta</i>	SI	<i>Pholiota squarrosa</i>
SI	<i>Mycena stipata</i>	Myc	<i>Phylloporus rhodoxanthus</i>
Slit	<i>Mycena stylobates</i>	<b>SI</b>	<b><i>Phyllostopsis nidulans</i></b>
Slit	<i>Mycena tenerrima</i>	SI	<i>Physisporinus sanguinolentus</i>
Sh	<i>Mycena vitilis</i>	SI	<i>Physisporinus vitreus</i>
Sh	<i>Mycena zephyrus</i>	Myc	<i>Piloderma byssinum</i>
SI	<i>Neolentinus lepideus</i>	Myc	<i>Piloderma croceum</i>
SI	<i>Nothopanus porrigens</i>	SI	<i>Piptoporus betulinus</i>
Pfongicole	<i>Nyctalis agaricoides</i>	Myc	<i>Pisolithus tinctorius</i>
Pfongicole	<i>Nyctalis parasitica</i>	SI	<i>Pleurotus columbinus</i>
SI	<i>Oligoporus caesius</i>	SI	<i>Pleurotus dryinus</i>
SI	<i>Oligoporus fragilis</i>	SI	<i>Pleurotus ostreatus</i>

SI	<i>Pleurotus pulmonarius</i>	Myc	<i>Rozites caperata</i>
SI	<i>Plicaturopsis crispa</i>	Sh	<i>Rugosomyces chrysenteron</i>
SI	<i>Pluteus boudieri</i>	Myc	<i>Russula acrifolia</i>
SI	<i>Pluteus cervinus</i>	Myc	<i>Russula adulterina</i>
SI	<i>Pluteus granulatus</i>	Myc	<i>Russula adusta</i>
SI	<i>Pluteus hispidulus</i>	Myc	<i>Russula aeruginea</i>
SI	<i>Pluteus leoninus</i>	Myc	<i>Russula albonigra</i>
SI	<i>Pluteus podospileus</i>	Myc	<i>Russula albonigra v. pseudonigricans</i>
SI	<i>Pluteus pouzarianus</i>	Myc	<i>Russula amethystina</i>
SI	<i>Pluteus primus</i>	Myc	<i>Russula amoena</i>
SI	<i>Pluteus romelii</i>	Myc	<i>Russula amoenolens</i>
SI	<i>Pluteus salicinus</i>	Myc	<i>Russula anthracina</i>
SI	<i>Pluteus semibulbosus</i>	Myc	<i>Russula anthracina v. insipida</i>
SI	<i>Pluteus tricuspis</i>	Myc	<i>Russula atrorubens</i>
SI	<i>Polyporus arcularius</i>	Myc	<i>Russula aurea</i>
SI	<i>Polyporus brumalis</i>	Myc	<i>Russula aurora</i>
SI	<i>Polyporus ciliatus</i>	Myc	<i>Russula badia</i>
SI	<i>Polyporus durus</i>	Myc	<i>Russula betularum</i>
SI	<i>Polyporus tuberaster</i>	Myc	<i>Russula cavipes</i>
Sh	<i>Psathyrella candolleana</i>	Myc	<i>Russula chloroides</i>
Sh	<i>Psathyrella lacrymabunda</i>	Myc	<i>Russula cyanoxantha</i>
SI	<i>Psathyrella piluliformis</i>	Myc	<i>Russula cyanoxantha v. peltereaui</i>
SI	<i>Psathyrella sarcocephala</i>	Myc	<i>Russula delica</i>
Sh	<i>Pseudoclitocybe cyathiformis</i>	Myc	<i>Russula densifolia</i>
Myc	<i>Pseudocraterellus sinuosus</i>	Myc	<i>Russula densissima</i>
SI	<i>Pseudohydnum gelatinosum</i>	Myc	<i>Russula drimeia</i>
SI	<i>Pseudomerulius aureus</i>	Myc	<i>Russula emetica v. silvestris</i>
Myc	<i>Pseudotomentella mucidula</i>	Myc	<i>Russula fageticola</i>
SI	<i>Pterula multifida</i>	Myc	<i>Russula faginea</i>
Parasite biotrophe	<i>Puccinia circaeae</i>	Myc	<i>Russula fellea</i>
Parasite biotrophe	<i>Puccinia obscura</i>	Myc	<i>Russula foetens</i>
Parasite biotrophe	<i>Puccinia silvatica</i>	Myc	<i>Russula fragilis</i>
Parasite biotrophe	<i>Puccinia valantiae</i>	Myc	<i>Russula fragrans</i>
Parasite biotrophe	<i>Puccinia variabilis</i>	Myc	<i>Russula heterophylla</i>
SI	<i>Pulcherricium caeruleum</i>	Myc	<i>Russula illota</i>
SI	<i>Pycnoporellus fulgens</i>	Myc	<i>Russula insignis</i>
Myc	<i>Ramaria aurea</i>	Myc	<i>Russula integra</i>
Myc	<i>Ramaria fennica</i>	Myc	<i>Russula krombholzii</i>
Myc	<i>Ramaria flava</i>	Myc	<i>Russula lepida</i>
Myc	<i>Ramaria gracilis</i>	Myc	<i>Russula lilacea</i>
Myc	<i>Ramaria lutea</i>	Myc	<i>Russula luteotacta</i>
Myc	<i>Ramaria stricta</i>	Myc	<i>Russula melzeri</i>
SI	<i>Resinicium bicolor</i>	Myc	<i>Russula mustelina</i>
SI	<i>Resupinatus applicatus</i>	Myc	<i>Russula nigricans</i>
Myc	<i>Rhizopogon vulgaris</i>	Myc	<i>Russula nobilis</i>
Sh	<i>Rhodocybe gemina</i>	Myc	<i>Russula ochroleuca</i>
Sh	<i>Rhodocybe mundula</i>	Myc	<i>Russula olivacea</i>
Sh	<i>Rhodocybe truncata</i>	Myc	<i>Russula paludosa</i>
Sh	<i>Rickenella fibula</i>	Myc	<i>Russula parazurea</i>
SI	<i>Rigidoporus undatus</i>	Myc	<i>Russula pectinatoides</i>
Sh	<i>Ripartites tricholoma</i>		

Myc	<i>Russula persicina</i>	SI	<i>Subulicium rillum</i>
Myc	<i>Russula postiana</i>	Myc	<i>Suillus bovinus</i>
Myc	<i>Russula puellaris</i>	Myc	<i>Suillus granulatus</i>
Myc	<i>Russula queletii</i>	Myc	<i>Suillus luteus</i>
Myc	<i>Russula raoultii</i>	Myc	<i>Suillus variegatus</i>
Myc	<i>Russula romellii</i>	Sh	<i>Tephroclybe boudieri</i>
Myc	<i>Russula roseipes</i>	Sh	<i>Tephroclybe rancida</i>
<b>Myc</b>	<b><i>Russula sororia</i></b>	Sh	<i>Tephroclybe tylicolor</i>
Myc	<i>Russula turci</i>	<b>Myc</b>	<b><i>Thelephora anthocephala</i></b>
<b>Myc</b>	<b><i>Russula urens</i></b>	<b>Myc</b>	<b><i>Thelephora palmata</i></b>
Myc	<i>Russula vesca</i>	<b>Myc</b>	<b><i>Thelephora penicillata</i></b>
Myc	<i>Russula violacea</i>	<b>Myc</b>	<b><i>Tomentella asperula</i></b>
Myc	<i>Russula violeipes</i>	Myc	<i>Tomentella bryophila</i>
Myc	<i>Russula violeipes f. citrina</i>	<b>Myc</b>	<b><i>Tomentella ellisii</i></b>
Myc	<i>Russula virescens</i>	<b>Myc</b>	<b><i>Tomentella fibrosa</i></b>
Myc	<i>Russula vitellina</i>	<b>Myc</b>	<b><i>Tomentella griseo-umbrina</i></b>
Myc	<i>Russula xerampelina</i>	<b>Myc</b>	<b><i>Tomentella lapida</i></b>
Myc	<i>Sarcodon imbricatus</i>	<b>Myc</b>	<b><i>Tomentella lateritia</i></b>
SI	<i>Schizophyllum commune</i>	<b>Myc</b>	<b><i>Tomentella radiosa</i></b>
SI	<i>Schizopora paradoxa</i>	<b>Myc</b>	<b><i>Tomentella rubiginosa</i></b>
Myc	<i>Scleroderma areolatum</i>	<b>Myc</b>	<b><i>Tomentella stupos</i></b>
Myc	<i>Scleroderma citrinum</i>	Myc	<i>Tomentella sublilacina</i>
SI	<i>Scopuloides rimosa</i>	Myc	<i>Tomentella terrestris</i>
Myc	<i>Sebacina incrustans</i>	<b>Myc</b>	<b><i>Tomentella umbrinospora</i></b>
SI	<i>Seticyphella niveola</i>	<b>Myc</b>	<b><i>Tomentellopsis echinospora</i></b>
Slit	<i>Setulipes quercophilus</i>	SI	<i>Trametes gibbosa</i>
Sh (Myc)	<i>Sistotrema coroniferum</i>	SI	<i>Trametes hirsuta</i>
Sh (Myc)	<i>Sistotrema diademiferum</i>	SI	<i>Trametes pubescens</i>
Sh (Myc)	<i>Sistotrema muscicola</i>	SI	<i>Trametes versicolor</i>
Sh (Myc)	<i>Sistotrema octosporum</i>	SI	<i>Trechispora farinacea</i>
SI	<i>Skeletocutis amorph</i>	SI	<i>Tremella encephala</i>
SI	<i>Skeletocutis carneogrisea</i>	SI	<i>Tremella foliacea</i>
SI	<i>Skeletocutis nivea</i>	SI	<i>Tremella mesenterica</i>
Parasite	<i>Sparassis crispa</i>	SI	<i>Tremiscus helvelloides</i>
Parasite	<i>Sparassis laminosa</i>	SI	<i>Trichaptum abietinum</i>
SI	<i>Steccherinum fimbriatum</i>	Myc	<i>Tricholoma atosquamosum</i>
SI	<i>Steccherinum ochraceum</i>	<b>Myc</b>	<b><i>Tricholoma aurantium</i></b>
SI	<i>Stereum gausapatum</i>	Myc	<i>Tricholoma auratum</i>
SI	<i>Stereum hirsutum</i>	<b>Myc</b>	<b><i>Tricholoma basirubens</i></b>
SI	<i>Stereum insignitum</i>	Myc	<i>Tricholoma bresadolanium</i>
SI	<i>Stereum ochraceoflavum</i>	Myc	<i>Tricholoma bufonium</i>
SI	<i>Stereum rugosum</i>	<b>Myc</b>	<b><i>Tricholoma cingulatum</i></b>
SI	<i>Stereum sanguinolentum</i>	Myc	<i>Tricholoma columbetta</i>
SI	<i>Stereum subtomentosum</i>	Myc	<i>Tricholoma equestre</i>
Parasite	<i>Stigmatolemma conspersum</i>	Myc	<i>Tricholoma fracticum</i>
<b>Myc</b>	<b><i>Strobilomyces strobilaceus</i></b>	Myc	<i>Tricholoma pardinum</i>
Sstrobil	<i>Strobilurus tenacellus</i>	Myc	<i>Tricholoma pseudoalbum</i>
SI	<i>Stromatoscypha fimbriata</i>	Myc	<i>Tricholoma pseudonictitans</i>
Sh	<i>Stropharia caerulea</i>	Myc	<i>Tricholoma saponaceum</i>
Sh	<i>Stropharia coronilla</i>	Myc	<i>Tricholoma scalpturatum</i>
Coprophile	<i>Stropharia semiglobata</i>	Myc	<i>Tricholoma sejunctum</i>

<b>Myc</b>	<b>Tricholoma squarrulosum</b>	Mito	<i>Ramularia succisae</i>
Myc	<i>Tricholoma sulfureum</i>	Mito	<i>Ramularia taraxaci</i>
Myc	<i>Tricholoma ustale</i>	Mito	<i>Ramularia trichereae</i>
Myc	<i>Tricholoma ustaloides</i>	Mito	<i>Septoria stellariae</i>
Myc	<i>Tricholoma virgatum</i>	Mito	<i>Sphaeropsis visci</i>
SI	<i>Tricholomopsis decora</i>	Mito	<i>Tuberculina persicina</i>
SI	<i>Tricholomopsis rutilans</i>		<b>Myxomycotina</b>
Slit	<i>Tubaria furfuracea</i>	Myx	<i>Arcyria denudata</i>
Slit	<i>Tubaria hiemalis</i>	Myx	<i>Badhamia utricularis</i>
Slit	<i>Tubaria romagnesiana</i>	Myx	<i>Ceratiomyxa fruticulosa</i>
SI	<i>Tubulicrinis regificus</i>	Myx	<i>Diderma spumarioides</i>
Myc	<i>Tylopilus felleus</i>	Myx	<i>Fuligo septica</i>
SI	<i>Tyromyces chioneus</i>	Myx	<i>Hemitrichia calyculata</i>
Parasite	<i>Uromyces kochianus</i>	Myx	<i>Hemitrichia clavata</i>
SI	<i>Vesiculomyces citrinus</i>	Myx	<i>Hemitrichia serpula</i>
Sh	<i>Volvariella gloiocephala</i>	Myx	<i>Lepidoderma tigrinum</i>
SI	<i>Vuilleminia comedes</i>	Myx	<i>Lycogala conicum</i>
SI	<i>Vuilleminia coryli</i>	Myx	<i>Lycogala epidendron</i>
SI	<i>Vuilleminia cystidiata</i>	Myx	<i>Mucilago crustacea</i>
Myc	<i>Xerocomus badiorufus</i>	Myx	<i>Stemonitis fusca</i>
Myc	<i>Xerocomus badius</i>	Myx	<i>Trichia decipiens</i>
Myc	<i>Xerocomus chrysenteron</i>	Myx	<i>Trichia favoginea</i>
Myc	<i>Xerocomus dryophilus</i>	Myx	<i>Trichia persimilis</i>
Myc	<i>Xerocomus ferrugineus</i>	Myx	<i>Trichia scabra</i>
<b>Myc</b>	<b>Xerocomus parasiticus</b>	Myx	<i>Trichia varia</i>
Myc	<i>Xerocomus pruinaeus</i>	Myx	<i>Tubifera ferruginosa</i>

#### **Oomycètes**

Oomyc	<i>Peronospora lamii</i>
Oomyc	<i>Peronospora myosotidis</i>
Oomyc	<i>Peronospora tornensis</i>
Oomyc	<i>Peronospora verna</i>
Oomyc	<i>Peronospora viciaesativa</i>

#### **Mitosporique**

Mito	<i>Anthina flammea</i>
Mito	<i>Colletotrichum montemartinii</i>
Mito	<i>Colletotrichum trichellum</i>
Mito	<i>Entyloma ficariae</i>
Mito	<i>Gliocladium album</i>
Mito	<i>Mycogone rosea</i>
Mito	<i>Ovularia decipiens</i>
Mito	<i>Ovularia obliqua</i>
Mito	<i>Polycephalomyces tomentosus</i>
Mito	<i>Ramularia acris</i>
Mito	<i>Ramularia alborosella</i>
Mito	<i>Ramularia arvensis</i>
Mito	<i>Ramularia calcea</i>
Mito	<i>Ramularia coccinea</i>
Mito	<i>Ramularia episphaeria</i>
Mito	<i>Ramularia lactucae</i>
Mito	<i>Ramularia plantaginis</i>

#### **Légende de la fonction biologique :**

Sh.....	Saprophyte humicole
SI.....	Saprophyte lignicole
Slit.....	Saprophyte de litière
Sh (Myc).....	Sh suspecté mycorhizien
Sherb .....	Saprophyte herbicole
Sstrobil .....	Saprophyte ?
Sfongicole .....	Saprophyte fongicole
Parasite	
Pfongicole .....	Parasite fongique
Pinsectes .....	Parasite des insectes
Myc .....	Mycorhiziens
Coprophile	
Bryotrophe	
Oomyc.....	Oomycète
Mito .....	Mitosporique
Myx .....	Myxomycète

Espèce déterminantes selon la liste des taxons de champignons déterminants validée par le Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel de Midi-Pyrénées dans le cadre de l'élaboration des zones ZNIEFF par le Conservatoire Botanique Pyrénéen, Direction Régional de l'ENvironnement, ... (août 2004)

<b><u>Transect</u></b>			
		myc	<b>Cortinarius glaucopus v. olivaceus</b>
		myc	<i>Cortinarius mucifluus</i>
		myc	<i>Cortinarius ochroleucus</i>
		myc	<i>Cortinarius paleaceus</i>
		myc	<i>Cortinarius semisanguineus</i>
		myc	<i>Cortinarius sp.</i>
		myc	<i>Cortinarius tophaceus</i>
		myc	<b>Cortinarius variecolor</b>
		myc	<i>Cortinarius vibratilis</i>
		Bryotrophe	<i>Cyphellostereum laeve</i>
		Sh	<i>Cystolepiota seminuda</i>
		SI	<i>Exidia pithya</i>
		SI / para	<i>Fomitopsis pinicola</i>
		SI	<i>Galerina autumnalis</i>
		Sh	<i>Galerina hypnorum</i>
		SI	<i>Galerina marginata</i>
		Parasite	<i>Ganoderma adspersum</i>
		SI	<i>Ganoderma lipsiense</i>
		SI	<i>Gymnopilus penetrans</i>
		myc	<i>Hebeloma radicosum</i>
		SI	<i>Hemimycena tortuosa</i>
		myc	<b>Hygrophorus pudorinus</b>
		SI	<i>Hymenochaete rubiginosa</i>
		SI	<i>Hyphodontia arguta</i>
		SI	<i>Hypholoma fasciculare</i>
		SI	<i>Hypochnicium polonense</i>
		myc	<i>Inocybe geophylla</i>
		myc	<i>Inocybe geraniolens</i>
		myc	<i>Inocybe petiginosa</i>
		myc	<i>Inocybe phaeoleuca</i>
		myc	<i>Inocybe rimosa</i>
		myc	<i>Laccaria amethystina</i>
		myc	<i>Laccaria bicolor</i>
		myc	<i>Laccaria laccata</i>
		myc	<i>Lactarius camphoratus</i>
		myc	<i>Lactarius salmonicolor</i>
		parasite	<i>Laetiporus sulphureus</i>
		Sh	<b>Lepiota fuscovinacea</b>
		Sh	<i>Lycoperdon perlatum</i>
		SI	<i>Lycoperdon piriforme</i>
		SI	<i>Marasmiellus ramealis</i>
		myc	<i>Ascocoryne cylichnium</i>
		myc	<i>Cordyceps militaris</i>
		myc	<i>Cudoniella acicularis</i>
		myc	<i>Eriopeziza caesia</i>
		myc	<i>Helvella sulcata</i>
		myc	<i>Hymenoscyphus calyculus</i>
		myc	<i>Hypomyces chrysosperma</i>
		myc	<i>Hypoxylon fuscum</i>
		myc	<i>Leoti lubrica</i>
		myc	<i>Rutstroemia echinophila</i>
		myc	<i>Sillia ferruginea</i>
		myc	<i>Xylaria polymorpha</i>
		myc	<i>Amanita citrina</i>
		myc	<i>Amanita citrina f. alba</i>
		myc	<i>Amanita fulva</i>
		myc	<i>Amanita gemmata</i>
		myc	<i>Amanita muscaria</i>
		myc	<i>Amanita phalloides</i>
		myc	<i>Amanita spissa</i>
		Parasite biotrophe	<i>Armillaria gallica</i>
		myc	<i>Boletus aestivalis</i>
		myc	<i>Boletus calopus</i>
		myc	<i>Boletus edulis</i>
		myc	<i>Boletus erythropus</i>
		SI	<i>Calocera viscosa</i>
		myc	<b>Cantharellus amethysteus</b>
		myc	<b>Cantharellus friesii</b>
		myc	<i>Cantharellus tubaeformis</i>
		SI	<i>Cerocorticium confluens</i>
		Sh (myc)	<i>Clavulina cinerea</i>
		Sh (myc)	<i>Clavulina cristata</i>
		Sh (myc)	<i>Clavulina rugosa</i>
		Sh	<i>Clitocybe diatreta</i>
		Sh	<i>Clitocybe gibba</i>
		Sh	<i>Clitocybe phaeophtalma</i>
		Sh	<i>Clitopilus prunulus</i>
		Sh	<i>Collybia butyracea</i>
		Sh	<i>Collybia butyracea v. asema</i>
		myc	<i>Coltricia perennis</i>
		myc	<i>Cortinarius acutovelatus</i>
		myc	<i>Cortinarius anomalus</i>
		myc	<i>Cortinarius camphoratus</i>
		myc	<i>Cortinarius decipiens</i>
		myc	<b>Cortinarius dibaphus</b>
		myc	<i>Cortinarius evernius</i>

Slit	<i>Marasmiellus vaillantii</i>
slit	<i>Marasmius androsaceus</i>
Slit	<i>Marasmius epiphylloides</i>
Slit	<i>Micromphale perforans</i>
SI	<i>Mycena arcangeliana</i>
Sh	<i>Mycena citrinomarginata</i>
<b>Sh</b>	<b><i>Mycena díosma</i></b>
Sh	<i>Mycena flavoalba</i>
SI	<i>Mycena meliigena</i>
Sh	<i>Mycena metata</i>
Sh	<i>Mycena pura</i>
Sherb	<i>Mycena rorida</i>
Slit	<i>Mycena sanguinolenta</i>
SI	<i>Mycena stipata</i>
Slit	<i>Mycena stylobates</i>
Sh	<i>Mycena zephyrus</i>
SI	<i>Nothopanus porrigens</i>
SI	<i>Oligoporus caesius</i>
SI	<i>Oligoporus stipticus</i>
<b>Sh</b>	<b><i>Oudemansiella melanotricha</i></b>
Myc	<i>Paxillus involutus</i>
SI	<i>Peniophora pithya</i>
SI	<i>Phanerophaeete sordida</i>
Myc	<i>Phylloporus rhodoxanthus</i>
Myc	<i>Piloderma croceum</i>
SI	<i>Pleurotus columbinus</i>
<b>SI</b>	<b><i>Pluteus boudieri</i></b>
SI	<i>Pluteus cervinus</i>
SI	<i>Pluteus granulatus</i>
<b>SI</b>	<b><i>Pluteus primus</i></b>
SI	<i>Polyporus arcularius</i>
<b>myc</b>	<b><i>Pseudotomentella mucidula</i></b>
<b>SI</b>	<b><i>Pycnoporellus fulgens</i></b>
<b>Myc</b>	<b><i>Ramaria aurea</i></b>
Myc	<i>Ramaria stricta</i>
Sh	<i>Rhodocybe truncata</i>
Myc	<i>Russula amethystina</i>
Myc	<i>Russula anthracina</i>
Myc	<i>Russula badia</i>
Myc	<i>Russula cavipes</i>
Myc	<i>Russula melzeri</i>
Myc	<i>Russula puellaris</i>
Myc	<i>Scleroderma citrinum</i>
SI	<i>Scopuloides rimosa</i>
SI	<i>Skeletocutis amorphia</i>
SI	<i>Stereum hirsutum</i>
SI	<i>Stereum ochraceoflavum</i>
SI	<i>Stereum sanguinolentum</i>
Myc	<i>Suillus variegatus</i>
<b>Myc</b>	<b><i>Thelephora penicillata</i></b>

<b>Myc</b>	<b><i>Tomentella asperula</i></b>
<b>Myc</b>	<b><i>Tomentella radiosa</i></b>
<b>Myc</b>	<b><i>Tomentella rubiginosa</i></b>
<b>Myc</b>	<b><i>Tomentella stuposa</i></b>
Myc	<i>Tomentella sublilacina</i>
SI	<i>Trametes versicolor</i>
SI	<i>Trichaptum abietinum</i>
myc	<i>Tricholoma bufonium</i>
Myc	<i>Tricholoma pseudonictitans</i>
Myc	<i>Tricholomopsis decora</i>
SI	<i>Vuilleminia comedes</i>
SI	<i>Vuilleminia coryli</i>
Myc	<i>Xerocomus badius</i>
Myc	<i>Xerocomus pruinatus</i>

#### Mitosporiques

Sf	<i>Anthina flammea</i>
----	------------------------

#### Myxomycotina

Slitière	<i>Arcyria denudata</i>
Slitière	<i>Fuligo septica</i>
SI	<i>Trichia favoginea</i>

#### Légende de la fonction biologique :

Sh.....	Saprophyte humicole
SI.....	Saprophyte lignicole
Slit.....	Saprophyte de litière
Sh (Myc).....	Sh suspecté mycorhizien
Sherb.....	Saprophyte herbicole
Sstrobil.....	Saprophyte ?
Sfongicole.....	Saprophyte fongicole
Parasite	
Pfongicole.....	Parasite fongique
Pinsectes.....	Parasite des insectes
Myc.....	Mycorhiziens
Coprophile	
Bryotrophe	
Oomyc.....	Oomycète
Mito.....	Mitosporique
Myx.....	Myxomycète

Espèce déterminantes selon la liste des taxons de champignons déterminants validée par le Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel de Midi-Pyrénées dans le cadre de l'élaboration des zones ZNIEFF par le Conservatoire Botanique Pyrénéen, Direction Régionale de l'ENvironnement, ... (août 2004)

## Placette P07 :

### Ascomycotina

SI	<i>Ascocoryne cylichnium</i>
SI	<i>Eriopeziza caesia</i>
Sh (Myc)	<i>Humaria hemisphaerica</i>
Slit	<i>Rutstroemia echinophila</i>

### Basidiomycotina

Myc	<i>Amanita asteropus</i>
Myc	<i>Amanita citrina</i>
Myc	<i>Amanita citrina f. alba</i>
Myc	<i>Amanita muscaria</i>
Myc	<i>Boletus pinophilus</i>
SI	<i>Calocera viscosa</i>
<b>SI</b>	<b><i>Cheimonophyllum candidissimum</i></b>
<b>SI</b>	<b><i>Clitocybula lacerata v. odora</i></b>
Sh	<i>Collybia butyracea</i>
SI	<i>Coniophora arida</i>
Myc	<i>Cortinarius acutovelatus</i>
Myc	<i>Cortinarius armillatus</i>
<b>Myc</b>	<b><i>Cortinarius caesiocanescens</i></b>
Myc	<i>Cortinarius callisteus</i>
Myc	<i>Cortinarius melanotus</i>
Myc	<i>Cortinarius sp.</i>
Myc	<i>Cortinarius sp.</i>
Myc	<i>Cortinarius stillatitius</i>
Myc	<i>Cortinarius tophaceus</i>
Myc	<i>Cortinarius vibratilis</i>
SI	<i>Crepidotus cesatii</i>
SI	<i>Cylindrobasidium evolvens</i>
SI	<i>Ditiola pezizaeformis</i>
SI / para	<i>Fomitopsis pinicola</i>
Slit	<i>Hemimycena gracilis</i>
SI	<i>Henningsomyces candidus</i>
Myc	<i>Hydnum repandum</i>
SI	<i>Hypholoma fasciculare</i>
Myc	<i>Inocybe abjecta</i>
Myc	<i>Inocybe langei</i>
SI	<i>Junghunia nitida</i>
Myc	<i>Laccaria amethystina</i>
Myc	<i>Laccaria laccata</i>
Myc	<i>Lactarius deliciosus</i>
Myc	<i>Lactarius salmonicolor</i>
Myc	<i>Lepista nuda</i>
SI	<i>Lycoperdon piriforme</i>
	<i>Melampsorella caryophyllacearum</i>
Sherb	
SI	<i>Mycena amicta</i>
SI	<i>Mycena arcangeliana</i>
SI	<i>Mycena galericulata</i>

Sh	<i>Mycena pura</i>
SI	<i>Mycena stipata</i>
Sh	<i>Mycena zephyrus</i>
SI	<i>Nothopanus porrigens</i>
SI	<i>Phellinus hartigii</i>
SI	<i>Phlebia livida</i>
Myc	<i>Piloderma croceum</i>
<b>SI</b>	<b><i>Pluteus primus</i></b>
SI	<i>Pluteus romelii</i>
<b>Myc</b>	<b><i>Pseudotomentella mucidula</i></b>
<b>SI</b>	<b><i>Pycnoporellus fulgens</i></b>
SI	<i>Resinicium bicolor</i>
Myc	<i>Russula amethystina</i>
Myc	<i>Russula cavipes</i>
Myc	<i>Russula densifolia</i>
Myc	<i>Sebacina incrustans</i>
SI	<i>Seticyphella niveola</i>
SI	<i>Skeletocutis amorpha</i>
SI	<i>Stereum hirsutum</i>
SI	<i>Stereum sanguinolentum</i>
<b>Myc</b>	<b><i>Tomentella ellisii</i></b>
<b>Myc</b>	<b><i>Tomentella griseo-umbrina</i></b>
<b>Myc</b>	<b><i>Tomentella lapida</i></b>
<b>Myc</b>	<b><i>Tomentella radiosa</i></b>
<b>Myc</b>	<b><i>Tomentella stipitata</i></b>
Myc	<i>Tomentella sublilacina</i>
Myc	<i>Tomentella terrestris</i>
<b>Myc</b>	<b><i>Tomentellopsis echinospora</i></b>
SI	<i>Trichaptum abietinum</i>
Myc	<i>Tricholoma saponaceum</i>
<b>Myc</b>	<b><i>Tricholoma squarrulosum</i></b>
SI	<i>Tricholomopsis decora</i>
Myc	<i>Xerocomus badius</i>
Myc	<i>Xerocomus ferrugineus</i>

### Légende de la fonction biologique :

Sh.....	Saprophyte humicole
SI.....	Saprophyte lignicole
Slit.....	Saprophyte de litière
Sh (Myc).....	Sh suspecté mycorhizien
Sherb.....	Saprophyte herbicole
Sstrobil.....	Saprophyte ?
Sfongicole.....	Saprophyte fongicole
Parasite	
Pfongicole.....	Parasite fongique
Pinsectes.....	Parasite des insectes
Myc.....	Mycorhiziens
Coprophile	
Bryotrophe	
Oomyc.....	Oomycète
Mito.....	Mitosporique
Myx.....	Myxomycète

## Placette P08 :

### Ascomycotina

SI *Diatrype stigma*

Sh *Otidea alutacea*

### Basidiomycotina

Sh *Agaricus silvicola*

Myc *Albatrellus cristatus*

Myc *Boletus aestivalis*

Myc *Boletus luridus*

SI *Calocera viscosa*

Sh *Clitopilus prunulus*

Myc *Cortinarius varius*

SI *Ditiola pezizaeformis*

Myc *Hydnum repandum*

Myc *Lactarius camphoratus*

Sherb *Melampsorella caryophyllacearum*

SI *Mycena stipata*

Sh *Mycena zephyrus*

Sh *Oudemansiella melanotricha*

Myc *Russula aurora*

Myc *Russula puellaris*

Myc *Russula roseipes*

Myc *Xerocomus badius*

### Mitosporiques

*Mycogone rosea*

### Légende de la fonction biologique :

Sh.....Saprophyte humicole

SI.....Saprophyte lignicole

Slit.....Saprophyte de litière

Sh (Myc).....Sh suspecté mycorhizien

Sherb.....Saprophyte herbicole

Sstrobil.....Saprophyte ?

Sfongicole.....Saprophyte fongicole

Parasite

Pfongicole.....Parasite fongique

Pinsectes.....Parasite des insectes

Myc.....Mycorhiziens

Coprophile

Bryotrophe

Oomyc.....Oomycète

Mito.....Mitosporique

Myx.....Myxomycète

Espèce déterminantes selon la liste des taxons de champignons déterminants validée par le Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel de Midi-Pyrénées dans le cadre de l'élaboration des zones ZNIEFF par le Conservatoire Botanique Pyrénéen, Direction Régional de l'ENvironnement, ... (août 2004)

**Annexe 12** Caractéristiques des forêts comparées à celle de Sainte-Croix-Volvestre

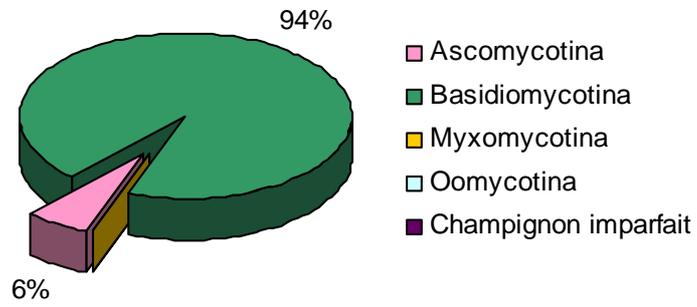
	<b>Bélesta</b>	<b>Sauzet</b>	<b>Isard</b>	<b>Carcenet</b>	<b>HET 09</b>	<b>SP 09</b>	<b>CHP 49</b>
<b>Surface</b>	266 ha	?	6 446 ha	1 054 ha	?	?	?
<b>Localisation</b>	Ariège	Ariège	Ariège	Ariège	Ariège	Ariège	Maine-et-Loire
<b>Altitude</b>	?	?	?	1 300 m	1 250 m	1 100 m	57 m
<b>Habitat / essence</b>	Sapinière ( <i>Abies alba</i> ) de basse altitude	Hêtraie- Sapinière ( <i>Abies alba</i> )	Plantation d'Épicéa ( <i>Picea</i> <i>sp.</i> )	Peuplement montagnard de Sapin pectiné ( <i>Abies</i> <i>alba</i> )	Hêtraie montagnarde atlantique pure	Hêtraie-Sapinière aciphile atlantique	Hêtraie- chenaie acidicline atlantique
<b>Caractéristiques</b>	Située sur des roches calcaires Forêt en déperissement		Peuplement âgé de 120 à 150 ans	Réserve Biologique Dirigée Réputée pour présenter des poussées fongiques impressionnantes	Sols acides Flore vasculaire pauvre dominée Par la myrtille et quelques houx > 150 ans	Ressemble à HET 09 Température plus fraîche (exposition Nord-Ouest) > 150 ans	Taillis sous futaie Diversité vasculaire riche 70 ans
<b>Origines des données</b>	Base de donnée de Nicolas De Munnik				Renecofor 2002		
<b>Divers</b>	Récolteurs = Nicolas De Munnik				Seulement certains groupes d'Eumycota ont été considérées dans cette étude		

**Annexe 13** Liste des taxons déterminants non recensés dans la forêt depuis de 7 ans

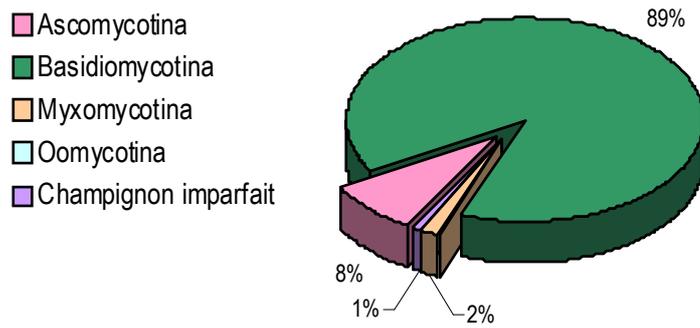
*Amanita eliae* (15/11 /1994),  
*Arrhenia spathulata* (15/11/1994),  
*Baeospora myriadophylla* (15/01/1998),  
*Biscogniauxa dennisii* (non daté),  
*Clavulinopsis helvola* (28/11/1989),  
*Cortinarius calochrous* (1/01/1999),  
*Cotinarius sodagnitus* (31/12/1993),  
*Crepidotus epibryus* (15/01/1998),  
*Cystoderma granulorum* (10/10/2000),  
*Dentipellis fragilis* (6/04/1997 & 17/02/2000),  
*Hymenochaete fuliginosa* (17/02/2000),  
*Hypocrea lactea* (8/10/1996),  
*Lactarius fulvissimus* (1/01/1988),  
*Mucronella* sp (19/04/1995),  
*Onnia tomentosa* (25/11/1995),  
*Phyllotopsis nidulans* (12/12/1991)  
*Ramaria fennica* (30/11/1997),  
*Ramaria flava* (10/10/1999),  
*Rugosomyces chrysenteron* (1/01/1999),  
*Russula flagrans* (1/01/1999),  
*Russula illota* (1/01/1999),  
*Russula pectinatoides* (20/10/1995),  
*Russula sororia* (6/10/1996),  
*Russula urens* (14/10/1995),  
*Tricholoma aurantium* (7/10/1989)

Annexe 14 Répartition des espèces recensées à l'échelle du transect et de la placette P07

**P07**



**Transect**



## Annexe 15 Caractéristiques de l'échantillonnage moléculaire

	Placette	Transect			Totale
		Trouée	Centre	Pente	
Nombre de points de prélèvements					
mars-08	2	2	6	2	12
01-juil-08	4	1	2	1	8
total	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>20</b>
Nombre de mycorhizes prélevées					
mars-08	80	82	226	89	477
01-juil-08	80	20	40	20	160
total	<b>160</b>	<b>102</b>	<b>266</b>	<b>109</b>	<b>637</b>
	(25 %)	(16 %)	(41 %)	(17 %)	
Nombre de mycorhizes typées					
mars-08	49	69	143	56	317
01-juil-08	49	4	24	12	89
total	<b>98</b>	<b>73</b>	<b>167</b>	<b>68</b>	<b>406</b>
Taux de réussite du typage					
mars-08	61 %	84 %	63 %	63 %	67 %
01-juil-08	61 %	20 %	60 %	60 %	56 %
moyenne	<b>61 %</b>	<b>52 %</b>	<b>62 %</b>	<b>62 %</b>	<b>61 %</b>
moyenne	<b>(61 %)</b>		<b>(58 %)</b>		

**Annexe 16** Liste des taxons recensés à partir des analyses moléculaires des ectomycorhizes prélevées sur les racines du Sapin pectiné (*Abies alba*)

Taxon	Prélèvement	Taxon	Prélèvement
<i>Amanita citrina</i>	P3	<i>Piloderma croceum</i>	P1
<i>Amanita rubescens</i>	P5	<i>Pseudotomentella</i>	P10
<i>Amanita sp (pantherina)</i>	P4-P10	<i>Russula (acrifolia)</i>	P12
<i>Aphylophoralles (non myc)</i>	P14	<i>Russula (cf amethystina)</i>	P11 - P12
Atheliacées (1)	P7-P4-P14	<i>Russula (densifolia)</i>	P2
Atheliacées (2)	P7	<i>Russula (groupe nigricans)</i>	P9
Atheliacées (3)	P10	<i>Russula (postiana)</i>	P12b
Atheliacées (4)	P2	<i>Russula (tenuiceps)</i>	P11-P15
Athéliacées (5)	P11b	<i>Russula (turci)</i>	P3
<i>Boletus aestivalis</i>	P15	<i>Russula amethystina</i>	P1-P4-P12b-P13
<i>Boletus edulis</i>	P2	<i>Russula densifolia</i>	P1-P2
<i>Boletus erythropus</i>	P16	<i>Russula integra</i>	P5 - P8 - P6
Cantharellacées	P12b	<i>Russula puellaris</i>	P11
<i>Cenococcum geophilum</i>		<i>Russula queletii</i>	P12
<i>Cladosporium (cladosporioides)</i>	P1 - P7 - P8	Sébacinacées (1)	P8
<i>Clavulina cristata</i>	P3 - P9 - P10 - P4-P16-P5	Sébacinacées (2)	P7
Clavulinacées (1)	P9	Sébacinacées (3)	P5
Clavulinacées (3)	P18	Sébacinacées (4)	P6
Clavulinanacées (2)	P10 - P2-P15	Thelephoracées (1)	P9-P17
<i>Cortinarius duracinus</i>	P11	Thelephoracées (2)	P6-P7
<i>Cortinarius limonius</i>	P2	Thelephoracées (3)	P4
<i>Craterellus tubaeformis</i>	P3-P9 - P10--P11b	Thelephoracées (4)	P3
<i>Cryptococcus</i>	P2	Thelephoracées (5)	P18
<i>Ectomyc Asco (1) / Helotiales</i>	P9/P5	<i>Thermomyces lanuginosa</i>	P1
<i>Ectomyc Asco (2)</i>	P9	<i>Tomentella (1)</i>	P5
<i>Ectomyc Asco (3)</i>	P3	<i>Tomentella (2)</i>	P6-P8-P12b
<i>Elaphomyces</i>	P15-P17	<i>Tomentella (3)</i>	P11b
<i>Epicocum</i>	P9-P17	<i>Tomentella (atroarenicolor)</i>	P8
<i>Humaria hemisphaerica</i>	P9	<i>Tomentella (sublilacina)</i>	P12
<i>Inocybe fuscidula</i>	P8	<i>Tomentella (terrestris)</i>	P8-P9
<i>Inocybe glabripes</i>	P7	<i>Tricholoma atosquamosum</i>	P11b
<i>Inocybe sororia</i>	P6	<i>Tricholoma virgatum</i>	P4
<i>Inocybe sp</i>	P16	<i>Unknown basidio</i>	P5
<i>Inocybe umbrina</i>	P17	<i>Unknown basidio ecto (1)</i>	P3
<i>Lactarius salmonicolor</i>	P9-P12b	<i>Unknown basidio ecto (2)</i>	P6
<i>Lepiota subgracilis</i>	P8	<i>Unknown basidio ecto (3)</i>	P7
<i>Oidiodendron citrinum</i>	P10	<i>Unknown basidio ecto (Inocybe) 1</i>	P6
Pezizales (1)	P8	<i>Unknown basidio ecto (Inocybe) 2</i>	P6
Pezizales / Pézizacées (2)	P7	<i>Unknown basidio ecto (Inocybe) 3</i>	P11 - P12
Pezizales DQ990873	P10	<i>Unknown basidio ecto 4</i>	P12
<i>Phalales</i>	P8		
<i>Piloderma (cf byssinum)</i>	P4		
<i>Piloderma byssinum</i>	P9		

En rouge : les taxons saprophytes

P1, P2, P13 : Trouée  
P4-8, P14, P15 : Centre  
P9-10, P16 : Pente  
P11-12, P11-12bis, P17-18 : Placette P08

} Transect

## Annexe 17 Indices de diversité



La diversité spécifique (S) a été estimée à partir de la richesse taxonomique (nombre total de taxons)



L'indice de diversité de Shannon a été déterminé selon la formule suivante :  $H = - \sum_i p_i \ln p_i$  avec  $p_i$  correspondant au recouvrement relatif de l'espèce  $i$ .



Pour comparer les dominances potentielles des espèces entre les sites, l'indice d'Equitabilité E a été utilisé

par le calcul suivant :  $E = \frac{H}{\ln S}$ .



L'indice de diversité de Simpson D a également été calculé à partir de l'expression suivante :  $D = \frac{1}{\sum_i p_i^2}$ .

Pour des raisons pratiques, nous utiliserons l'expression  $1/D$ . Cet indice donne plus de poids aux espèces abondantes qu'aux espèces rares, contrairement à l'indice de Shannon.



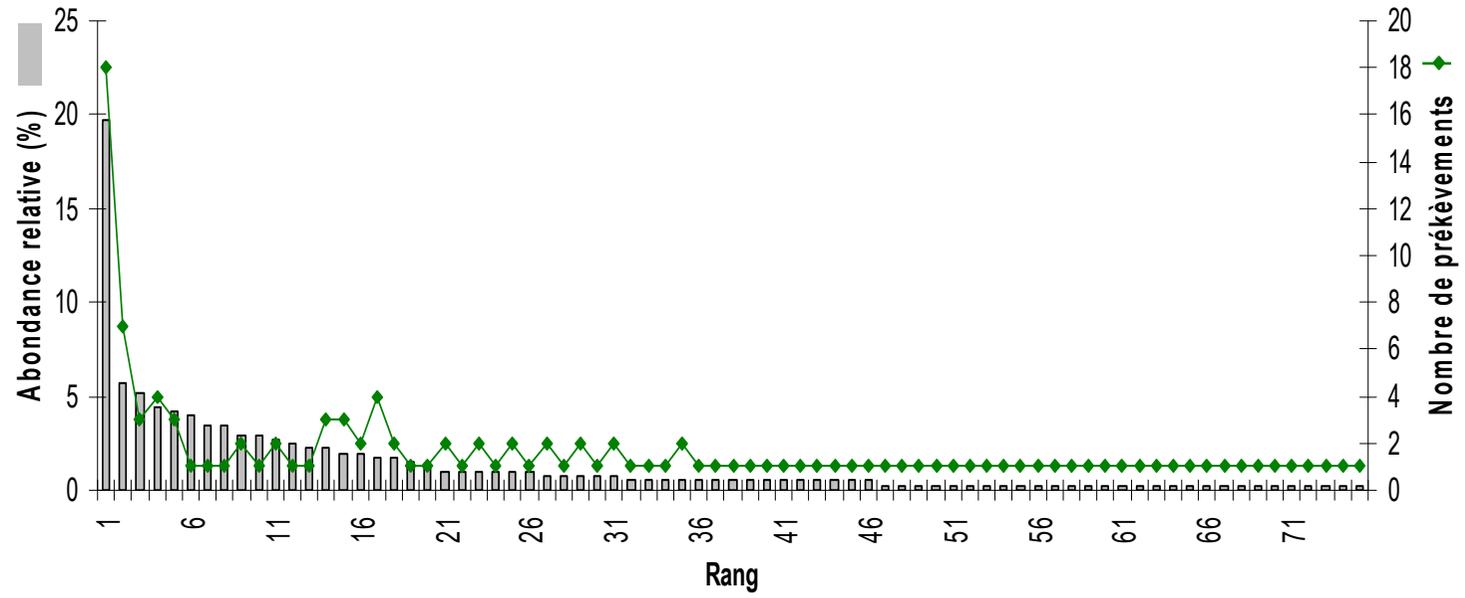
En complément de ces indices, l'indice de Jaccard J a été considéré pour évaluer la similarité de la

composition floristique des deux sites :  $J = \frac{c}{a + b - c}$  où  $a$  est le nombre d'espèces dans le premier site,  $b$

le nombre d'espèces dans le second site et  $c$  le nombre d'espèces communes aux deux sites.

Des indices de diversité élevés indiquent une forte richesse spécifique et une plus grande égalité en abondance des espèces.

**Annexe 18** Diagramme Rang Abondance des taxons ectomycorhiziens identifiés au niveau du dispositif expérimental



**Annexe 19** Liste des taxons nouveaux détectés à l'aide de la méthode des mycorhizes (les taxons dont le nom d'espèce n'est pas certain sont indiqués entre parenthèses)

Ordre	Famille	Transect	Prélèvements
Amanitales	Amanitaceae	<i>Amanita rubescens</i>	Centre
Amanitales	Amanitaceae	<i>Amanita sp (pantherina)</i>	Centre + pente
Boletales	Boletaceae	<i>Boletus erythropus</i>	Pente
		<i>Cenococum</i>	Trouée (x3) + Centre (x7) + Pente (x3)
Cortinariales	Cortinariaceae	<i>Cortinarius limonius</i>	Trouée
Pezizales	Humariaceae	<i>Humaria hemisphaerica</i>	Pente
Cortinariales	Cortinariaceae	<i>Inocybe fuscidula</i>	Centre
Cortinariales	Cortinariaceae	<i>Inocybe glabripes</i>	Centre
Cortinariales	Cortinariaceae	<i>Inocybe sororia</i>	Centre
f.anamorphe		<i>Oidiodendron citrinum</i>	Pente
Corticiales	Corticiaceae	<i>Piloderma byssinum</i>	Pente
Russulales	Russulaceae	<i>Russula (densifolia)</i>	Trouée
Russulales	Russulaceae	<i>Russula (groupe nigricans)</i>	Pente
Russulales	Russulaceae	<i>Russula (tenuiceps)</i>	Centre
Russulales	Russulaceae	<i>Russula (turci)</i>	Trouée
Russulales	Russulaceae	<i>Russula integra</i>	Centre (x3)
Thelephorales	Théléphoraceae	<i>Tomentella (terrestris)</i>	Centre + Pente
Tricholomatales	Tricholomataceae	<i>Tricholoma virgatum</i>	Centre
		<i>Cladosporium (cladosporioides)</i>	Trouée + Centre (x2)
		<i>Cryptococcus</i>	Trouée
		<i>Epicocum</i>	Pente
Agaricales	Agaricaceae	<i>Lepiota subgracilis</i>	Centre
		<i>Thermomyces lanuginosa</i>	Trouée