

CHAMPIGNONS COMESTIBLES DANS LES CARAÏBES

L'ÉCOLOGIE DES CHAMPIGNONS
PERSPECTIVES ET TECHNIQUES DE PRODUCTION



JEAN RONDET
Sens et Territoire

Interreg
Caraïbes
Fonds européen de développement régional



l'Europe
s'engage
avec les Antilles-Guyane
dans la Grande Caraïbe



Collectivité
Territoriale
de Martinique



Partenariat : Chef de file - Parc Naturel Régional de la Martinique / Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles / Institut Mycologique Européen / Exploitation Agricole Jacky Pascault / Domaine Thieubert Rhums Neisson / Centre d'Etude de Biotechnologie Industriel - Cuba

LE PROGRAMME INTERREG-MYCONOVA

MYCONOVA s'inscrit dans le cadre du programme INTERREG CARAÏBES qui vise à renforcer la coopération entre des territoires européens et des territoires et Etats caribéens. MYCONOVA a pour objectif de doter les territoires partenaires du projet des outils et pratiques nécessaires à un développement de filières économiques basées sur la valorisation des biodiversités en champignons forestiers et en champignons des sols agricoles.

Cette valorisation vise la production de champignons comestibles d'origine locale qui représente un grand potentiel technologique, alimentaire et touristique. Elle vise également l'optimisation des fonctions naturelles essentielles des champignons symbiotiques associés aux systèmes racinaires des plantes cultivées. Ces fonctions naturelles peuvent être optimisées en associant de nouvelles techniques de biotechnologies mycologiques et des modèles simples d'agroécologie.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	Page 5
CHAPITRE I - Les champignons - Généralités.	Page 6
CHAPITRE II - La culture des champignons comestibles - Données générales.	Page 16
II.1 - Présentation générale.	Page 16
II.2 - Multiplication du mycélium jusqu'à la colonisation du substrat de production.	Page 18
II.3 - La fabrication des substrats pour la culture des champignons saprotrophes.	Page 26
Les sous-produits de l'agriculture : ressources pour élaborer les substrats.	Page 27
La fabrication des substrats pour les champignons ligno-cellulolytiques comestibles.	Page 28
Préparation des substrats.	Page 31
II.4 - Ensemencement ou « lardage ».	Page 41
II.5 - Incubation.	Page 45
II.6 - Fructification.	Page 46
II.7 - La culture sur bois.	Page 49
CHAPITRE III - Quelques particularités des cultures des espèces les plus cultivées.	Page 54
III.1 - La culture des pleurotes.	Page 55
III.2 - La culture du Shiitake dans des sacs en plastique.	Page 60
III.3 - Culture des auriculaires sur substrats stérilisés.	Page 64
III.4 - Culture de la volvaire sur substrat stérilisé.	Page 66
III.5 - Culture de la volvaire sur substrats non stériles.	Page 68
Conclusion	Page 70
Bibliographie	Page 71

INTRODUCTION

Les champignons comestibles représentent une richesse alimentaire, environnementale et économique.

Les champignons sont des aliments précieux qui peuvent équilibrer nos régimes alimentaires. C'est pourquoi de nombreuses cuisines asiatiques par exemple les ont intégrés dans une grande diversité de recettes et tout au long de l'année. Les champignons ont parallèlement un potentiel gastronomique qui ont amené de nombreux chefs réputés dans le monde à en faire leur spécialité.

Les champignons comestibles cultivés sont essentiellement des organismes qui se développent sur les sous-produits de la forêt et de l'agriculture. Leur culture permet ainsi de valoriser des matières végétales, avec très peu ou sans aucun « intrant » complémentaire et en laissant après la culture un compost de qualité, en voie d'humification et pouvant être utilisé comme amendement agricole.

Deux modes de production sont envisageables, qui correspondent à deux grands types de modèles économiques : une production artisanale pouvant conduire à une activité de diversification agricole et une production plus spécialisée et plus « industrialisée ». Dans les deux cas, un facteur majeur de réussite est la création d'un laboratoire local destiné à élaborer des « souches mycéliennes » issues de champignons locaux adaptés au climat tropical et aux substrats forestiers et agricoles locaux. Un autre facteur est la conception de nouvelles formules et process de fabrication des substrats de production basés sur les ressources végétales du territoire.

Cet ouvrage est réalisé alors que nous ne disposons que de très peu des mycéliums locaux qui seront sélectionnés durant le temps du programme et au fil des années suivantes. Le travail nécessaire à la constitution et au développement d'une « mycothèque » caribéenne représente un travail scientifique d'envergure, qui permettra une autonomie de nos territoires dans ce domaine de la culture des champignons. En attendant, il est intéressant de se former aux techniques de production en expérimentant les cultures de quelques espèces les plus souvent valorisées en régions tropicales : Pleurote, Auriculaire, Volvaire. Celles-ci sont présentées dans cet ouvrage. Le shiitake (*Lentinula edodes*) n'est pas une espèce réellement adaptée aux températures tropicales (bien qu'il existe des souches assez thermophiles qui peuvent être testées). Nous présentons cependant également les techniques concernant ce champignon car il est probable qu'elles pourront être adaptées à une espèce tropicale proche, actuellement étudiée : *Lentinula boryana*.

Cette première version de l'ouvrage sera révisée à la fin du programme MYCONOVA, de façon à intégrer les résultats et illustrations des travaux qui sont en cours dans la zone de coopération INTERREG CARAÏBES

CHAPITRE I

LES CHAMPIGNONS : GENERALITES

IMPORTANCE DES CHAMPIGNONS DANS LES ÉCOSYSTÈMES

A côté des plantes et des animaux, les champignons constituent un règne à part qui comprendrait un minimum de 1,5 million d'espèces dont 100 000 espèces environ ont été décrites jusqu'ici dans le monde. Certaines espèces sont unicellulaires, comme les **levures** (que nous connaissons souvent à travers leurs utilisations dans l'agroalimentaire). Mais la majorité des champignons forme des **mycéliums**, appareils végétatifs filamenteux qui peuvent coloniser leurs **substrats** de vie. Cette forme de vie mycélienne est souvent cachée à notre vue car se déroulant à l'intérieur des substrats colonisés : sol, systèmes racinaires, matières organiques... La majorité des espèces forme des « **fructifications** ». Ces fructifications apparaissent le plus souvent de manière périodique et provisoire. Les champignons assurent des rôles essentiels dans les écosystèmes terrestres, selon trois modes de fonctionnement.

Les champignons saprotrophes (ou saprotrophiques) sont essentiels pour décomposer la matière organique morte et participer ainsi d'une part à la formation de l'humus des sols et d'autre part au recyclage des éléments nutritifs contenus dans cette matière organique. Ainsi les champignons saprotrophes sont au cœur du cycle de la vie. Ils sont spécialement prééminents dans les forêts. L'essentiel de la matière organique provient du bois (composé de **lignine**, **cellulose**, **hémicellulose**) que seuls les champignons peuvent décomposer efficacement.

Les champignons mycorhiziens sont les partenaires symbiotiques essentiels de la très grande majorité des végétaux terrestres. Il existe plusieurs types de champignons selon la façon dont ils sont associés aux systèmes racinaires des plantes avec lesquelles ils vivent en symbiose. Les deux types principaux sont les champignons endomycorhiziens formant des mycorhizes à arbuscules et les champignons ectomycorhiziens. Les premiers ont une origine très ancienne (450 millions d'années) et ont permis l'installation des plantes terrestres sur les terres émergées. Ces champignons sont associés aux plantes herbacées et à la plupart des essences d'arbres tropicaux comme nous le verrons. Les champignons ectomycorhiziens forment des ectomycorhizes. Ils caractérisent la plupart des essences d'arbres des régions froides, tempérées et méditerranéennes : Chêne, Hêtre, Bouleau, Pin, Sapin, Epicéa etc. De nombreuses plantes sont cependant associées aux deux types de champignons (exemple des peupliers ou des eucalyptus).

Les champignons parasites. La vision du public s'est longtemps focalisée sur les champignons parasites qui affectent par exemple les productions agricoles. Ces champignons sont pourtant les moins nombreux et nous pouvons considérer qu'ils ont également un rôle majeur dans les écosystèmes. En effet, ils n'apparaissent qu'en raison de déséquilibres dans les écosystèmes et participent ainsi à la régulation du fonctionnement de ces derniers. Les pratiques d'agriculture biologique ont ainsi par exemple l'objectif de maintenir les équilibres biologiques nécessaires pour prévenir de manière naturel l'action des **champignons pathogènes**.

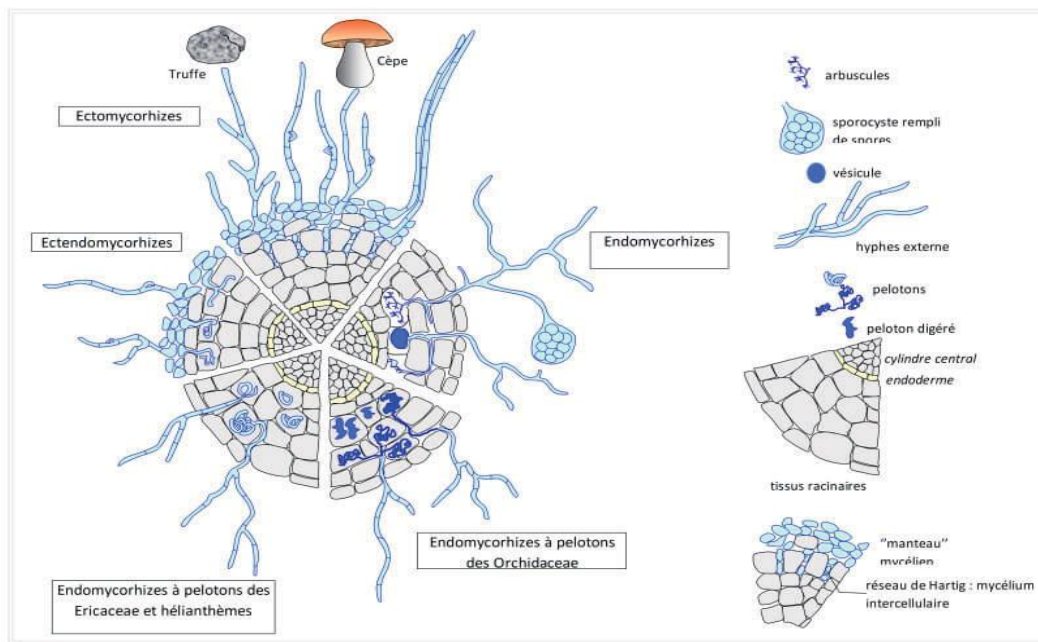


Schéma : les différents types de mycorhizes

La plupart des végétaux vivent en symbiose avec des champignons. Les plantes fournissent aux champignons des molécules carbonées (sucres...) qu'elles élaborent grâce à leur activité photosynthétique. En retour, les champignons prospectent le sol pour mobiliser l'eau, les minéraux et des composés azotés présents dans le sol, au profit de leurs « plantes-hôtes ». Les réseaux très importants de mycélium qui parcourent les sols constituent ainsi des « prolongements » très efficaces des systèmes racinaires des plantes. Les plantes ne pourraient pas s'alimenter sans les champignons.

Le lieu des échanges nutritifs entre les cellules des champignons et les cellules racinaires s'appelle une « mycorhize ». Le terme de « système mycorhizien » désigne l'ensemble des racinelles colonisées par les champignons et des réseaux mycéliens.

Parmi les différents types d'associations mycorhiziennes, les deux types les plus représentés parmi la diversité des végétaux sont les **ectomycorhizes** et les **endomycorhizes à arbuscules** (dénommées simplement « endomycorhizes » sur ce schéma). Les champignons ectomycorhiziens établissent une relation moins étroite que les endomycorhizes au niveau cellulaire. En effet, les endomycorhizes « s'installent » à l'intérieur même des cellules racinaires (les cellules restant toutefois séparées par leurs membranes cellulaires).

Les champignons ectomycorhiziens forment un « manteau » de mycélium autour des racinelles colonisées. Les ectomycorhizes sont ainsi visibles à l'œil nu. Ils forment également de manière périodique des fructifications de grande taille, visible à l'œil, en surface des sols (champignons épigés) le plus souvent (Bolets, Lactaires, Chanterelles, Amanites...) et parfois épigées (Truffes...). Les arbres des forêts boréales, tempérées et méditerranéennes sont plutôt des arbres à ectomycorhizes.

Les champignons endomycorhiziens forment des sporocystes de petites dimensions, à l'intérieur du sol. Les arbres autochtones des forêts tropicales sont le plus souvent des arbres à endomycorhizes, qui ne « produisent » donc pas de fructifications.

NOTION DE MACROMYCÈTE

Les **macromycètes** sont appelés ainsi car ils ont une « fructification » observable à l'œil nu. Les **micromycètes** ne sont observables qu'à la loupe ou au microscope. Cette distinction vient aussi du fait que les modes de prospection sont différents et les mycologues qui étudient un groupe n'étudient généralement pas l'autre. En effet pour observer les micromycètes, il faut examiner à la loupe la litière, les branches au sol ainsi que les feuilles et les tiges des branches vivantes. Parmi les champignons que l'homme consomme, de nombreux sont des micromycètes qui sont présents dans des préparations alimentaires fermentées comme les levures des boissons, les champignons participant à l'élaboration des fromages, etc. Les « champignons » que nous consommons comme tels, champignon de Paris, pleurote, etc. sont bien sûr des macromycètes dont nous consommons les fructifications. Dans le langage scientifique, ces « fructifications » ont été longtemps appelées « carpophores » (= qui portent des fruits) mais le terme qui convient mieux est « **sporophores** » car ces « fructifications » portent des **spores** et non des fruits. Cependant, le terme de « fructification » reste le plus utilisé dans le langage usuel des producteurs de champignons ou « myciculteurs »,

LES FACTEURS INFLUENÇANT LA BIODIVERSITÉ DES MACROMYCÈTES EN FORÊT [1]

De nombreux facteurs influencent la diversité des macromycètes sur un site forestier donné :

La diversité des essences d'arbres conditionne en particulier la diversité des champignons ectomycorhiziens. C'est un facteur clef dans les forêts boréales, tempérées et méditerranéennes.

La diversité des types de matières organiques conditionne la diversité des champignons saprotrophes. Ainsi, la biodiversité végétale conditionne la diversité des matières organiques mortes qui conditionnent ensuite la diversité des champignons vivant au dépend de ces matières organiques.

En effet, certains champignons sont assez ubiquistes (= ils peuvent vivre sur des matières organiques différentes) mais la plupart des champignons saprotrophes sont cependant assez ou très spécialisés pour assurer cette fonction de recyclage.

Les facteurs abiotiques ou facteurs du milieu (climat, géologie, type de sol) influencent également fortement la vie des **espèces fongiques**.

La modification de la composition forestière, en particulier lors de la plantation d'essences non autochtones, influence fortement les communautés des champignons mycorhiziens et des champignons saprotrophes. La présence d'essences ectomycorhiziennes est un facteur de richesse fongique.

CONNAISSANCE DES CHAMPIGNONS EN ZONE TROPICALE

En zone tropicale, les champignons sont généralement moins étudiés qu'en forêt tempérée ou boréale du fait du moins grand nombre de spécialistes. Par ailleurs leur étude est difficile en raison de plusieurs facteurs. Le climat étant moins contrasté, il n'y a pas de période bien marquée dans l'année correspondant à la « saison des champignons ». La période a priori la plus favorable pour les observer correspond à la saison des pluies mais la **phénologie** d'apparition des espèces est encore mal connue. Les températures qui demeurent constamment élevées entraînent une dégradation rapide des fructifications. Qui plus est, de nombreuses espèces sont de petites tailles et particulièrement fragiles. Les champignons de petite taille sont rapidement sujets à la dessiccation ou au pourrissement.

Donc, les connaissances sur les champignons en zone tropicale sont faibles, surtout au regard de la grande diversité des espèces. Dans les petites Antilles, la biodiversité fongique a fait l'objet de prospections depuis une quinzaine d'années [2] et un socle de connaissance a ainsi été établi. A côté des champignons déjà identifiés, il est intéressant de pouvoir estimer ce qui reste à découvrir dans le futur ! Différents mycologues ont estimé un rapport théorique entre le nombre de plantes présentes dans un écosystème forestier et le nombre de champignons dans ce même écosystème. Pour les Petites Antilles qui comptent environ 3 000 espèces de phanérogames indigènes, **Courtecuisse** [3] retient un chiffre allant de 7 à 10 soit une hypothèse de 20 à 30 000 champignons. La très grande majorité de ces champignons reste ainsi à découvrir.

LES CHAMPIGNONS COMESTIBLES

Au sein de la biodiversité des champignons forestiers, quels sont les champignons comestibles ?

Il est bien sûr impossible d'en dresser une liste exhaustive, d'une part car comme nous l'avons vu plus haut la biodiversité des champignons en général n'est que très partiellement connue et d'autre part car la comestibilité des champignons ne peut être connue qu'à travers une connaissance des usages anciens et aujourd'hui à travers des études qui s'intéresseraient à la composition biochimique des fructifications des différentes espèces. Or, les usages anciens n'ont exploré que très partiellement le monde des champignons (et ceci est facilement compréhensible...) et l'étude analytique des compositions biochimiques des champignons est une entreprise de longue haleine et qui concerne des genres de champignons déjà identifiés par le fait qu'ils comptent des espèces déjà connues pour être comestibles. Par exemple, les genres *Lentinus* ou *Auricularia*...

Quoiqu'il en soit, plus de 1100 espèces par le monde sont récoltées et utilisées comme nourriture ou comme médecine traditionnelle [4].

Dans les régions forestières des zones boréales et tempérées, les forêts produisent de manière saisonnière de grandes quantités de champignons comestibles sauvages et certaines populations ont récolté ou récoltent encore aujourd'hui plus d'une centaine d'espèces. Ces abondantes productions saisonnières s'expliquent par trois facteurs principaux :

- **La nature des essences forestières et des symbioses mycorhiziennes qui s'établissent entre ces essences et les champignons.**

Les essences caractéristiques de ces zones bioclimatiques établissent principalement des symbioses ectomycorhiziennes. Les champignons ectomycorhiziens produisent de manière saisonnière des fructifications qui apparaissent sur le sol. Les comestibles les plus réputés sont les cèpes (le **Cèpe de Bordeaux** - *Boletus edulis* en premier lieu), l'**Oronge** ou Amanite des césars, les **girolles** (et en premier lieu *Cantharellus cibarius*), les **lactaires** à lait orange (en premier lieu *Lactarius deliciosus*) ...

Les forêts tempérées produisent également des champignons ectomycorhiziens réputés qui fructifient sous la surface du sol. Ce sont des champignons hypogés et non épigés comme les précédents. Il s'agit des truffes, comme la **Truffe noire** du Périgord (*Tuber melanosporum*) et la **Truffe blanche** du Piémont (Italie) – *Tuber uncinata*.

Le commerce mondial des champignons sauvage est ainsi dominé par ces quelques espèces ectomycorhiziennes très appréciées ainsi que par une dizaine d'autres qui sont également récoltées en grandes quantités.

Les forêts boréales et tempérées produisent également en saison des quantités importantes de champignons saprotrophes qui se développent sur les litières de feuilles ou sur les bois morts issus des arbres et déposés sur les sols forestiers. Les **morilles** se développent ainsi sur des litières de feuilles et d'autres substrats organiques. Les pieds bleus sont un autre exemple de champignons qui fructifient abondamment sur des litières de feuilles. Les armillaires ou les **pholiotés** récoltés en grandes quantités dans les pays nordiques se développent sur les bois morts... Les **auriculaires** qui se développent également sur les troncs et branches mortes sont appréciées en Asie. Différentes espèces de pleurotes qui poussent également sur des bois morts sont également très connues et très récoltés dans ces types de forêts.

- Le rôle du climat.

Dans les forêts des régions froides et tempérées, les chutes saisonnières et très marquées des températures favorisent les fructifications saisonnières des champignons ectomycorhiziens mais également des champignons saprotrophes. D'une manière générale, les températures douces et constantes de l'été favorisent la croissance du mycélium dans le sol (pour les champignons ectomycorhiziens) ou dans la matière organique (feuilles, bois morts...) pour les saprotrophes. Un **abaissement de la température** à l'entrée de l'automne entraîne un arrêt de la croissance du mycélium et « programme » en quelque sorte la fructification. C'est pourquoi la plupart des champignons comestibles de ces zones forestières fructifient en automne. Un deuxième facteur climatique est cependant essentiel dans ces forêts boréales, tempérées et méditerranéennes : **la pluie**. Si le froid est nécessaire pour « programmer » la fructification des espèces qui poussent essentiellement en automne, c'est bien la pluie qui

déclenche finalement la fructification des espèces ectomycorhiziennes. Une pluie importante sature le sol en eau, modifie brusquement la composition de l'atmosphère du sol et les conditions nutritionnelles du sol (lessivage des nutriments). Cela entraîne la formation des petites ébauches de fructifications (= les primordia) sur le « tissu de mycélium ».

Les champignons saprophytes sont, de la même façon, très sensibles aux pluies. Les litières de feuilles et les bois morts doivent être de toute façon plus ou moins imprégnés d'eau pour que les primordia se forment et qu'ils évoluent ensuite jusqu'aux fructifications matures.

- **La nature du sol** est également très importante pour expliquer le développement plus ou moins important des champignons ectomycorhiziens. En effet, ces derniers ont pour fonction de capter les éléments minéraux et l'azote du sol au profit de leurs « arbres-hôtes ». C'est ainsi que moins les sols sont fertiles, plus le rôle et le développement des champignons sont essentiels. Typiquement, les sols des forêts boréales sont très pauvres. Le froid et les pluies font que le cycle de la matière organique est très ralenti et que la transformation de cette matière organique aboutit à des formes d'humus peu dégradés, très acides et à faible potentiel nutritionnel pour la végétation. Les cèpes sont ainsi, par exemple, des champignons très performants pour aider les arbres à se nourrir dans ces conditions très difficiles. Cette aide des champignons est d'ailleurs très efficace si nous considérons les dimensions atteintes par les arbres qui caractérisent ces forêts. Par exemple les épicéas, les pins, les hêtres...



Aquarelle : exemple d'un écosystème forestier en zone tempérée, en France métropolitaine. Parmi les deux cents espèces environ de champignons ectomycorhiziens associés ici aux chênes, bouleaux et sapins, plusieurs dizaines sont comestibles et une vingtaine sont couramment récoltées aujourd'hui dont les cèpes représentés au premier plan.

Les forêts méditerranéennes sont également constituées principalement par des essences forestières qui établissent des systèmes ectomycorhiziens : en particulier le Chêne vert et le Chêne liège. Les espèces de champignons qui fructifient naturellement dans ces forêts sont les mêmes que précédemment ou des espèces proches. Par exemple, la forêt méditerranéenne à Chêne liège produit un cèpe qui supporte un climat plus chaud : le Cèpe bronzé (*Boletus aereus*).

Cependant, le climat ne permet pas des productions aussi importantes que dans les forêts précédentes.



Aquarelle : exemple d'un écosystème en zone méditerranéenne (Portugal). Les champignons ectomycorhiziens comestibles associés au Chêne vert et au Chêne liège sont également nombreux mais les fructifications sont moins abondantes en raison d'un climat plus sec. Le cèpe (*Boletus aereus*) et l'orange sont fréquents. Des champignons hypogés (des genres *Tuber* et *Terfezia*) sont également récoltés.

Dans les régions de forêts tropicales, la diversité des champignons ectomycorhiziens est moins importante que dans les zones tempérées. Les inventaires restent cependant limités et de nombreux champignons ne sont pas encore répertoriés ou restent indéterminés dans de nombreuses régions. Des espèces de champignons ont une grande distribution dans les écosystèmes forestiers des régions tempérées mais également tropicales (ex. : *Laccaria laccata*, *Thelephora terrestris*, *Pisolithus tinctorius*, *Scleroderma verrucosum*, *Cenococcum geophilum*) [5].

Souvent, les espèces de champignons ectomycorhiziens sont associées aux essences introduites. En **Afrique**, les pins tropicaux utilisés en plantations proviennent d'Asie du Sud-Est (ex. : *P. kesiya*), des **Caraïbes** (ex. : *P. caribaea*), d'Amérique centrale (ex. : *P. oocarpa*), et d'Amérique du Nord (ex. : *P. radiata*).

Le Pin des Caraïbes est l'un des pins les plus répandus en Afrique de l'Ouest.

Les pins sont associés à des champignons ectomycorhiziens dont ils dépendent très fortement pour leur croissance.

Les champignons ectomycorhiziens comestibles constituent une richesse potentielle en **Afrique de l'Ouest**, où ils ne font pas l'objet d'un commerce important comme c'est le cas en Afrique centrale, orientale et australe.

Parmi les espèces trouvées en Afrique de l'Ouest, *Cantharellus rufopunctatus*, *Cantharellus pseudofriesii*, *Lactarius gymnocarpus*, *L. gymnocarpoides*, *Phlebopus sudanicus* et *Tubosaeta brunneosetosa* sont mentionnés comme comestibles en Afrique centrale et australe même si cela doit encore être confirmé.

Toutefois, la liste des champignons ectomycorhiziens comestibles n'est certainement pas restreinte à ces six espèces. D'après les données d'Afrique centrale et australe, il est très probable que d'autres espèces ectomycorhiziennes, notamment dans les genres *Amanita*, *Cantharellus* et *Russula*, soient comestibles.

À **Madagascar**, *Cantharellus eucalyptorum* ined. et des russules rouges récoltés dans des plantations d'*Eucalyptus robusta* font l'objet d'un commerce important [5].

Les plantations peuvent être utilisées comme support pour la production de champignons comestibles. Les techniques d'inoculation et de suivi des souches sont relativement bien maîtrisées dans les régions tempérées et également, dans une certaine mesure, dans les régions tropicales.

Dans d'autres forêts tropicales, les essences forestières formant des ectomycorhizes sont peu représentées. C'est le cas en Martinique. Peu d'espèces comestibles mycorhiziennes sont alors répertoriées. Une exception est ainsi une Chanterelle intéressante associée au raisinier bord de mer. *Ces chanterelles restent une rareté en Martinique et leur récolte ne peut ainsi être conseillée*). En Guyane, la Chanterelle de Guyane, plus fréquente et abondante est récoltée.



Photos : Un écosystème en forêt littorale de Martinique ou Guadeloupe, caractérisé par les arbres et plantes de raisiniers bord de mer (*Coccoloba uvifera*). Parmi la quinzaine de champignons ectomycorhiziens répertoriés comme étant associés à cette essence d'arbre (*Amanita cystidiosa*, *Amanita antillana*, *Amanita arenicola*, *Amanita microspora*, *Cantharellus cinnabarinus*, *Inocybe littoralis*, *Inocybe xerophitica*, *Lactarius coccolobae*, *Lactarius ferrugineus*, *Lactarius nebulosus*, *Russula cremeolilacina*, *Scleroderma bermudense*, *Xerocomus coccolobae*, *Xerocomus cuneipes*, *Xerocomus guadelupae*), une espèce est reconnue comme étant un bon comestible : *Cantharellus coccolobae*, qui est rattaché à *Cantharellus subg. Cinnabarinus* [6].

Dans les Antilles et en Guyane, en dehors des Chanterelles, les champignons sauvages comestibles récoltés et consommés sont essentiellement des champignons saprotrophes qui se développent sur les bois morts comme ici un Pleurote : *Pleurotus djamor*. Les champignons comestibles répertoriées pour un usage alimentaire ou médicinal correspondent à un petit nombre, de l'ordre de la dizaine ou un peu plus [7].



Photos : *Pleurotus djamor*, en Guyane – (a) photo Mélanie Roy et en Martinique – (b) photo Laura Alzoubi

CHAPITRE II

LA CULTURE DES CHAMPIGNONS SAPROTROPHES COMESTIBLES : DONNEES GENERALES

II.1- PRESENTATION GENERALE

Mode de vie naturel de ces champignons

Les champignons comestibles saprophytes se nourrissent en dégradant les matières organiques en décomposition. En milieu naturel, ils poussent sur des feuilles mortes ou des souches de bois mort. Certains utilisent également un mélange de résidus de végétaux morts et de déjections d'animaux. Leur rôle dans la nature consiste à décomposer les structures organiques complexes issues de végétaux ou d'animaux et à « recycler » les minéraux et les autres substances nutritives (molécules azotées en particulier) présentes dans le substrat.

Dans le cadre d'une culture des champignons, ce processus naturel est orienté en utilisant une diversité de sous-produits agricoles qui ont des caractéristiques voisines des substrats naturels : pailles, bagasse, résidus verts du caféier, feuilles de bananier, résidus de la distillation de plantes à huiles essentielles...

Cycle de vie des champignons

Dans la nature, les champignons se multiplient en produisant des millions et des millions de spores. Lorsque les spores se retrouvent dans un milieu favorable, elles germent et émettent des filaments mycéliens pour former une « trame » ou un « tissu » de filaments mycéliens appelé généralement « le mycélium ». Lorsque deux mycéliums « compatibles » du point de vue de leurs caractères génétiques se rencontrent, ils fusionnent pour former ce qu'on appelle un mycélium secondaire capable de produire des fructifications. On dit que ce mycélium est « fertile ». Une autre voie de multiplication correspond toutefois à un « bouturage naturel » de mycélium : des fragments de mycélium fertile peuvent être détachés d'une « colonie mère » pour être transportés plus loin sur un nouveau support (tronc d'arbre mort, litière de feuille...). Le « transporteur » peut être un insecte ou un autre animal...

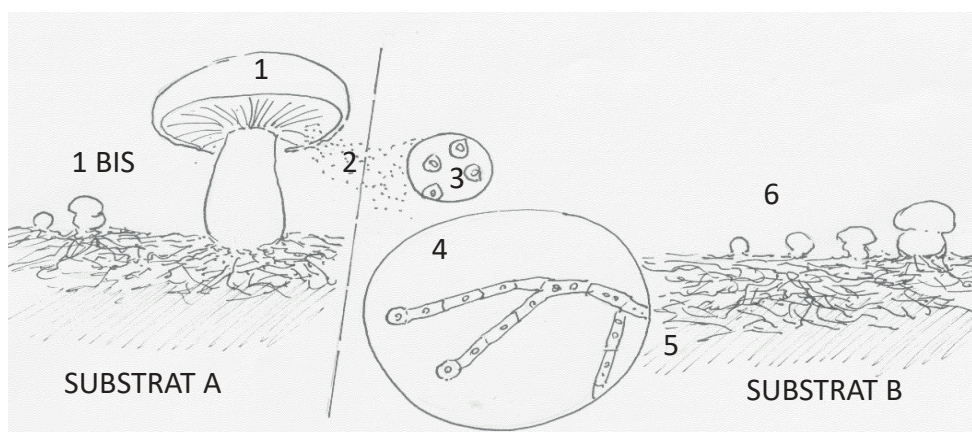


Schéma : cycle de vie d'un macromycète saprophyte.

La fructification (1) (= le « sporophore ») fabrique des spores dans sa partie fertile (hyménium) et les émet dans l'air (2). (Spores grossies : 3). Ces spores peuvent voyager près ou loin, entraînées par le vent, la pluie... Ces spores peuvent se trouver en contact d'un nouveau support ou « substrat » de vie. Les spores germent en émettant un filament germinatif puis un mycélium dont les cellules ont un seul noyau (4). Ce noyau porte

la moitié des chromosomes (« n chromosomes »). Deux mycéliums à cellules à un seul noyau peuvent se rencontrer et fusionner pour donner un mycélium dont les cellules contiennent deux noyaux et donc 2 n chromosomes. Contrairement à bien d'autres organismes (dont les humains !), ces deux noyaux ne fusionnent pas. Ce mycélium à 2 noyaux est fertile. Il colonise le nouveau substrat (5) puis donnera naissance à de nouveaux sporophores (6) si les conditions nutritionnelles, climatiques s'y prêtent... Sur le substrat A, d'autres champignons qui apparaissent (1 bis) peuvent être issus du même mycélium que celui qui a donné naissance au sporophore 1.

Dans le cadre de la culture des champignons, on évite de passer par les spores et les mycéliums constitués de cellules à un seul noyau et qui ne sont pas fertiles (c'est-à-dire qui ne peuvent pas former des fructifications). Il s'agit plutôt de bouturer du mycélium fertile, constitué de cellules à deux noyaux. Un fragment de tissu mycélien est prélevé à l'origine dans une partie de la fructification qui n'est pas en contact avec la partie fertile qui porte les spores (= l'hyménium, constitué pour la plupart des espèces cultivées, par les lamelles de la fructification).

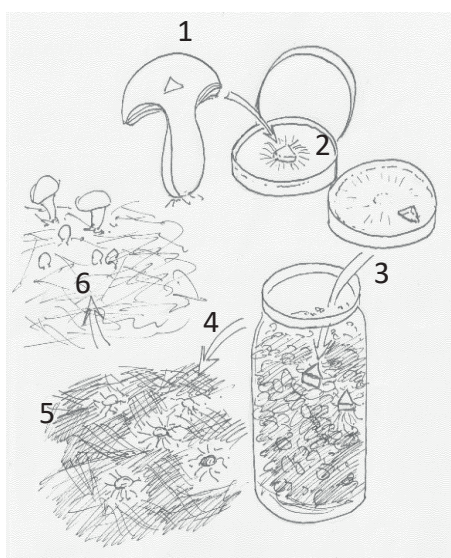


Schéma : cycle de la culture des champignons saprotrophes.

(1) Un fragment de mycélium fertile est initialement isolé depuis le chapeau d'une fructification de l'espèce fongique que l'on souhaite mettre en culture. Ce fragment est isolé à l'intérieur de la fructification, qui est naturellement exempte de bactéries ou spores de moisissures. L'opération comme les deux suivantes sont réalisées sous air filtré et stérile et en passant les instruments à la flamme.

(2) Le fragment est déposé sur un milieu nutritif gélosé, dans un tube à essai ou une boîte de pétri (ici).

(3) Une fois la « colonie mycélienne » développée dans la boîte, un ou plusieurs fragments de cette colonie sont prélevés et déposés dans un flacon plus important contenant un support pour la croissance : graines de céréales souvent, sciure parfois...

(4) Les graines ou la sciure étant bien colonisée par le mycélium constitue le « blanc » dans le langage du producteur de champignons. C'est la « semence » qui va être ensuite dispersée dans la masse de **substrat** destiné à la production.

(5) Le mycélium se développe dans le substrat à partir de chaque graine de céréale préalablement envahie elle-même de mycélium.

(6) Une fois le substrat bien colonisé par le mycélium, des primordiaux vont apparaître puis se développer en « champignons ».

II.2- MULTIPLICATION DU MYCÉLIUM, DEPUIS LE BOUTURAGE D'UN FRAGMENT DE CHAPEAU JUSQU'À LA COLONISATION DU SUBSTRAT DE PRODUCTION.

Production de la « culture-mère »

Initialement, une culture-mère est obtenue à partir d'un fragment de chair prélevé dans le chapeau du champignon récolté dans la nature. Pour se faire, le chapeau est fendu en deux près d'une flamme d'un bec bunsen et si possible dans l'ambiance stérile d'une hotte à flux laminaire. Dans une telle hotte, l'air est en effet filtré et stérile.

Le fragment est déposé à l'aide d'un scalpel ou d'un autre instrument sur un milieu nutritif gélosé situé dans un tube à essai ou dans une boîte de pétri.

Selon l'espèce considérée et surtout la température, le mycélium se développe à partir du fragment de chair sur l'ensemble du milieu de culture. A la température correspondant aux conditions optimales de développement du champignon (ex : 20 °C pour une espèce de climat tempéré, 30 °C pour une espèce tropicale), la gélose est totalement colonisée par le mycélium dans un temps allant de 10 à 30 jours.

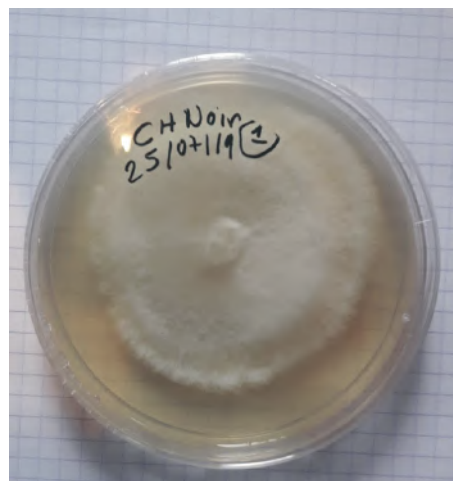
Milieu de culture en boîte de pétri

Préparation du milieu de culture

Pour les champignons saprotrophes ligno-cellulolytiques, un milieu en général favorable et simple à préparer est constitué de 20 g d'extrait de malt et 20 g de gélose pour un litre d'eau. Le mélange est dilué à chaud en le portant à ébullition puis stérilisé en autoclave (20 ' à 120 °C ou 45 ' à 108 °C en cocotte-minute).

Une fois le mélange refroidi partiellement (ne pas attendre trop pour éviter un début de prise en masse), celui-ci est coulé dans des boîtes de pétri en plastique stériles, dans l'enceinte d'une hotte à flux laminaire à flux horizontal. Il est possible de procéder sans hotte mais en étant très précautionneux et à proximité de la flamme d'un bec bunsen. Les boîtes sont mises à refroidir, les couvercles déposés à moitié sur les boîtes de façon que la vapeur d'eau créée par le refroidissement puisse s'échapper et ne pas s'accumuler ensuite sous le couvercle sous forme de microgouttelettes d'eau. Les boîtes sont ensuite fermées et scellées avec un ruban adhésif spécifique (ou du scellofrais).

Si l'on doit ensuite bouturer un morceau de chair d'un champignon qui sera contaminé par des bactéries (c'est souvent le cas pour des champignons à chairs très fines), des antibiotiques seuls ou en association sont ajoutés au milieu de culture (ex. : gentamycine à 10 mg/l, streptomycine 80 mg/l d'eau distillée). Les solutions d'antibiotiques sont stérilisées en utilisant un filtre Millipore (0,2 µm) et ajoutées au milieu nutritif gélosé refroidi juste avant de le couler dans des boîtes de Petri sous une hotte à flux laminaire horizontal. Sans antibiotiques, les morceaux de chair contaminés par des bactéries sont repiqués au moins une fois par jour tandis que les morceaux de chair contaminés par des champignons sporulants sont éliminés. En laboratoire, les souches sont purifiées par repiquages successifs jusqu'à élimination des contaminants bactériens.



Photos : (a) Produits de base pour élaborer un milieu de culture simple pour les mycéliums des champignons ligno-cellulolytiques : l'extrait de malt (à 20g/l par exemple) correspond au milieu nutritif et l'agar-agar (20g/l), issu d'une algue, permet une gélification du milieu pour constituer ainsi un milieu solide (il est également possible, selon l'usage recherché, de cultiver ces mycéliums en milieux liquides, sans le gel mais en aérant suffisamment alors ces milieux). (b) Bouteille contenant les deux produits, un agitateur magnétique qui va permettre de les mélanger. La bouteille va ensuite être stérilisée en autoclave. Une fois tiédi, le milieu servira à remplir des boîtes de pétri stériles. Cette opération se fera en ambiance stérile d'un air filtré, sous une « hotte à flux laminaire ». (c) Solutions antibiotiques qui vont être ajoutées dans la bouteille, une fois le milieu tiédi et avant de remplir les boîtes de pétri. Cet ajout est nécessaire quand le matériel biologique initial (champignon récolté dans la nature ou autre source de mycélium) n'est pas totalement exempt de contaminants (spores de champignons inférieurs, bactéries...). (d) Un exemple de colonie mycélienne issue d'un inoculum de champignon déposé au centre de la boîte.

Milieux de cultures pour des champignons ectomycorhiziens

Ces champignons étant plus exigeants, les milieux seront plus complexes.

La composition de deux milieux classiquement utilisés sont détaillés dans le tableau ci-dessous. Un complexe de vitamines du groupe B est souvent utile en complément.

Composition des milieux nutritifs pour 1 litre d'eau distillée

Produits utilisés	Melin et Norkrans modifié par MARX (1969)	FRIES (1978)
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	0,25 g	–
$\text{C}_4\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_6$	–	1 g
Extrait de malt	3 g	1 g
Glucose	10 g	4 g
$\text{CaCl}_2, 2\text{H}_2\text{O}$	0,05 g	0,026 g
KH_2PO_4	0,5 g	0,2 g
$\text{MgSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$	0,15 g	0,1 g
NaCl	0,025 g	0,020 g
Thiamine-HCl (1 mg/ml)	1 ml	–
Citrate ferrique 1 % (m/v)	1,2 ml	–
$\text{FeSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$	–	1 mg
$\text{MnSO}_4, 4\text{H}_2\text{O}$	–	0,81 mg
$\text{ZnSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$	–	0,88 mg
Agar	20 g	20 g
pH	5,5	5,5

Isolement du mycélium des sporophores

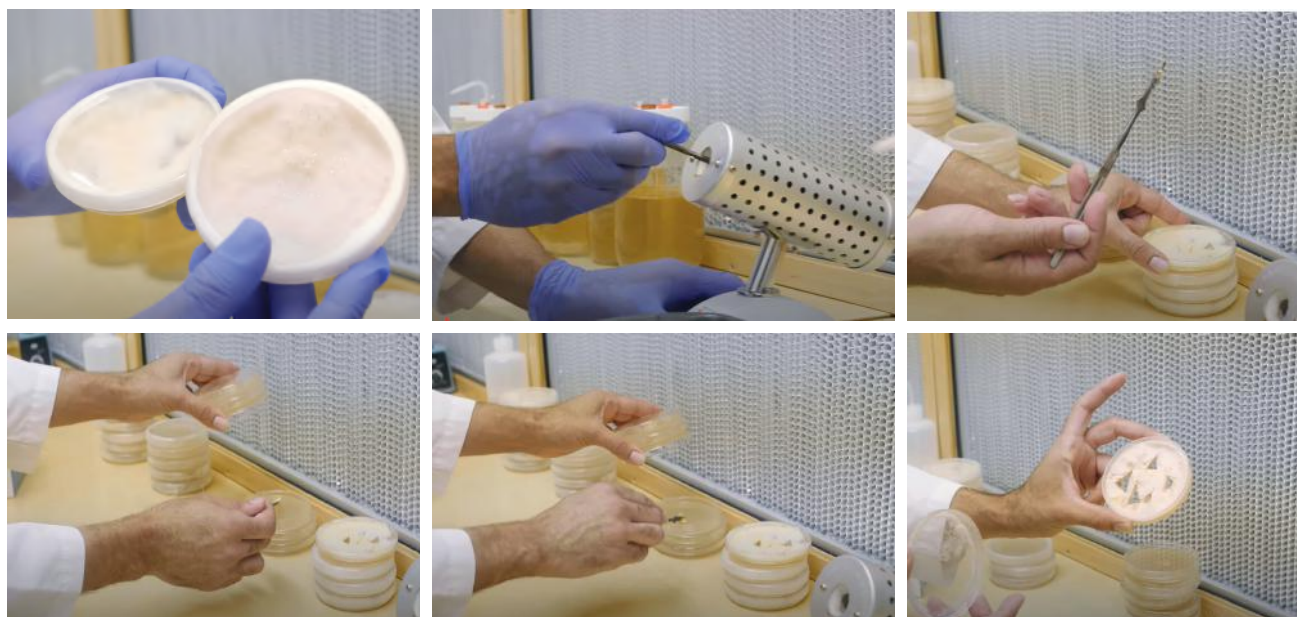
Les isollements sont réalisés sur des sporophores identifiés ou en voie de l'être. Il faut éviter de choisir des sporophores âgés, nécrosés ou gorgés d'eau comme c'est souvent le cas en saison des pluies dans les régions tropicales. Plusieurs individus par espèce sont récoltés de préférence immatures et fermes. Sur les lieux de récolte, les sporophores sont soigneusement débarrassés du sol adhérent à l'aide d'un pinceau. Le chapeau et (ou) le pied du champignon est fractionné en deux à proximité d'une lampe à alcool dans une hotte portative dont le plan de travail est préalablement désinfecté à l'alcool 70°. À l'aide d'un scalpel flambé, deux morceaux de chair piléique, prélevés sur la partie du chapeau au-dessus des lamelles et/ou à la base du pied (ex. : champignons agaricoïdes), sont ensemencés sur le milieu nutritif solide contenu dans une boîte de Petri.

Bouturage du mycélium et conservation des souches

A partir de la première culture, le mycélium peut être bouturé de boîte en boîte ou de tube en tube indéfiniment, en théorie (en réalité, il est intéressant de repasser de temps en temps par le stade fructification opéré dans des conditions non stériles. C'est une condition favorable au maintien des capacités du mycélium à exprimer ses caractères génétiques qui lui permettent de « se défendre » efficacement contre des champignons compétiteurs dans des conditions non stériles). La culture en boîte ou en tube peut être conservée quelques mois au réfrigérateur.

Une culture mère ainsi bouturée et conservée correspond à une « souche ». Une souche (strain en anglais) correspond à un certain type génétique. En général, les souches issues du bouturage d'un champignon sauvage sont « stables » dans le temps. Cela signifie que leurs caractères (vitesse de croissance, capacité à dominer d'autres champignons compétiteurs dans un milieu de culture non stérile, capacité à fructifier, rendement en fructification...) ne changent pas.

En revanche, certaines souches commerciales qui sont issues d'un processus d'hybridation entre deux souches différentes, peuvent être amenées plus facilement à varier et à « dégénérer ». Cela se traduit souvent par une plus grande sensibilité à des moisissures compétitrices (*Trichoderma spp.* Notamment) et souvent également par des problèmes de fructification.



Photos : (a) Boîtes de pétri montrant des milieux de cultures gélosés colonisés par des colonies mycéliennes. (b) passage à la flamme du scalpel. (c) prélèvement d'un fragment de colonie mycélienne et de gélose nutritive. (d et e) ensemencement d'une boîte de pétri vierge. (f) la colonie initiale, après 5 prélèvements et ensemencement de 5 nouvelles boîtes. Les opérations se déroulent dans une atmosphère filtrée (un flux d'air filtré et donc stérile souffle vers l'opérateur).

Fabrication du « blanc »

Le « blanc » désigne une quantité de mycélium développé sur des graines de céréales, de la sciure, des chevilles de bois, etc. et qui servira à ensemercer le substrat final de culture. Ce « blanc » est contenu habituellement dans des sacs plastiques autoclavables (qui résistent donc à un passage à la chaleur humide en « autoclave ») ou bien dans des flacons en verre recyclables. Un autoclave étant comme une cocotte-minute, en plus grand et avec une température pouvant aller au-dessus des 108 °C de la cocotte-minute.

Pour confectionner ce blanc, les grains sont trempés 24 h et les chevilles de bois 48 h puis stérilisé(e)s dans un flacon (ou sac) fermé mais présentant une zone où l'air peut être échangé avec l'extérieur mais sans permettre une pénétration de bactéries ou spores de champignons. Pour les flacons en verre, il s'agira d'un bouchon fait en coton cardé ou en ouate de cellulose.

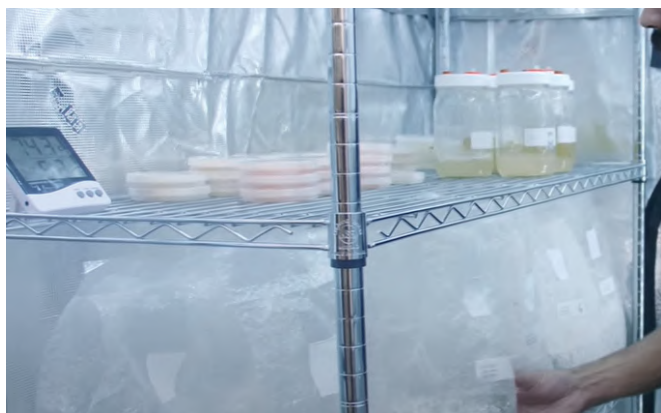
Pour une préparation de blanc sur graines de céréales et pour un récipient de 2 litres, il faut prévoir 480 g de seigle, orge, blé ou sorgho... + 400 ml d'eau, + 2 g de gypse.

Pour une préparation du blanc sur sciure : sciure 10 kg, CaCo₃ 147,5 g, son de riz 1,25 kg, gypse 0,1475 g, urée 0,5 g, eau 1,5 l

Il faut stériliser les récipients destinés au blanc dans un autocuiseur ou autoclave. La durée nécessaire dépend du type d'appareil, de la façon dont sont remplis les récipients (serré ou non) et de leur taille. Par exemple, deux heures en autocuiseur (108 °C) pour des récipients de 500 g ; trois heures pour des sacs de 3 kg. En autoclave et à 120 °C, les temps sont plus réduits.

L'envahissement du milieu prend environ deux semaines, après avoir secoué les flacons ou sacs au bout de huit jours pour bien répartir le mycélium qui s'est développé irrégulièrement après ce laps de temps.

Le blanc une fois préparé doit être tout de suite conservé au réfrigérateur (sauf celui de certaines souches de *Pleurotus djamor* qui sont très sensibles au froid et doivent être stockées à plus de 12 °C) et n'être sorti qu'au moment de son utilisation. Le blanc sur céréales risque de s'abîmer en une nuit à une température supérieure à 25 °C.



Photos : (a) Souches mycéliennes, cultures en milieu liquide (flacons) et « blanc » (étagère du dessous) conservés dans une pièce froide (4 °C). (b) « Blanc » artisanal, en bouteilles de jus de fruit fermées avec des bouchons confectionnés en ouate de cellulose.



Photos : fabrication de « blanc » dans des bocaux de verre de deux litres, dans le laboratoire de Recherche en Sciences Végétales de l' Université de Toulouse – (intervenant dans Myconova). Le couvercle percé est bouché par un bouchon en ouate de cellulose. (Université de Toulouse. D'une manière générale, la fabrication de blanc et de substrats sans utilisation de sacs plastiques est un objectif important, dans le sens d'une agriculture responsable.

Blanc sur sciure ou sur céréales ?

Le blanc préparé sur sciure peut être mieux conservé et à une température plus haute. La stérilisation doit être assez poussée.

Le blanc préparé sur céréales est vigoureux. Les substances nutritives des graines favoriseront un meilleur rendement en fructification. Mais d'un autre côté, il se conserve moins bien et favorise les contaminations. Le blanc sur céréale provoque une hausse plus rapide de la température dans le substrat inoculé que le blanc sur sciure, ce qui peut être souhaitable ou non.



Photos : (a) Sacs commerciaux de « blanc » de *Pleurotus ostreatus* (6 Kg par sac). Les sacs sont séparés les uns des autres durant les transports et la conservation. En effet, les pleurotes sont très actifs et cela entraîne un échauffement rapide des sacs. Il est difficile d'importer du blanc de Pleurote par transport maritime. (b) Mycélium développé sur chevilles de bois de hêtre. L'inoculum est fait simultanément sur chevilles de bois et sur grains de céréales (voir le texte). (c) Sciure destinée à une fabrication de blanc pour la culture de Volvaire en Thaïlande (*Volvariella volvacea*). (d) Cultures en boîtes et préparation de blanc sur mélange de graines de céréales et de sciure labo Martinique.

II.3- LA FABRICATION DES SUBSTRATS POUR LA CULTURE DES CHAMPIGNONS SAPROTROPHES

La plupart des champignons cultivés sont des champignons qui se développent sur des milieux pauvres en azote et en sucres solubles et riches en cellulose, lignine et hémicelluloses : le bois et des sous-produits de l'agriculture comme les pailles de céréales, la bagasse (les sucres solubles ayant donc été extraits des cannes), les fibres de coco, etc.

Plus rarement quelques espèces demanderont des substrats plus riches en azote, l'azote étant apporté en particulier par les fumiers issus des élevages. C'est le cas du champignon de Paris (*Agaricus bisporus*) et de l'*Agaricus subrufescens*.

En Europe, on distingue ainsi deux grands types de culture : celle du champignon de Paris qui est réalisé sur compost riche en azote et la culture des « champignons exotiques » (Pleurotes, Shiitake, etc.) cultivés sur des substrats pauvres en azote. Les matériaux nécessaires ont ainsi des rapports C/N élevés, de 50 au minimum (= le rapport C/N du bois, des pailles...)

Nous nous intéresserons dans cet ouvrage essentiellement aux cultures de ces champignons exotiques.

LES SOUS-PRODUITS DE L'AGRICULTURE SONT DES RESSOURCES POUR ELABORER LES SUBSTRATS NECESSAIRES A LA CULTURE DES CHAMPIGNONS

Avantages des cultures sur substrats agricoles

Les matériaux sont souvent disponibles en grandes quantités et à un coût d'approvisionnement faible. Ce sont souvent des matériaux déjà broyés et qui seront colonisés rapidement par les champignons après ensemencement. Cela permet des cycles de culture courts. La culture permet un recyclage intéressant de la matière organique et le substrat une fois utilisé pour produire des champignons laissera un « compost » intéressant. En effet, les champignons comestibles ligno-cellulolytiques ont dans la nature un rôle dans le cycle de la matière organique et l'humification. Ces composts « imprégnés » de mycéliums vivants stimulent la vie des sols et favorisent également la « remédiation des sols ». Les mycéliums peuvent métaboliser des molécules polluantes présentes dans les sols (pesticides rémanents en particulier).

Les problèmes posés par ces substrats et les solutions générales à adopter pour y remédier

- Les matières végétales issues des sous-produits de l'agriculture sont moins lignifiées que le bois. La moindre quantité de polyphénols de ces matériaux favorise la concurrence exercée par les *Trichoderma spp.* Le mélange des matériaux d'origine agricole avec du bois broyé ou de certains matériaux agricoles assez riches en polyphénols peut être une solution.

- Les sous-produits agricoles broyés sont très vite envahis par des champignons qui seront des concurrents potentiels pour le champignon comestible que l'on souhaite cultiver. Cet envahissement sera important si le matériau en question subit l'action des pluies. Le climat tropical favorisera ensuite une prolifération rapide de ces compétiteurs.

La solution préventive est bien sûr de stocker les matières destinées aux cultures de champignons dans de bonnes conditions : à l'abri de la pluie et en conditions d'aération pour favoriser un taux d'humidité le plus faible possible.

La solution « curative » est de « désinfecter » le substrat, en utilisant différentes techniques possibles que nous allons détailler plus bas.

- Ces sous-produits agricoles sont pauvres en azote. C'est un avantage du point de vue de la compétition entre le champignon cultivé et les compétiteurs comme les *Trichoderma spp.* C'est cependant un désavantage du point de vue du rendement en production. En effet, les champignons sont assez riches en protéines et ils demandent donc un bon approvisionnement en azote. Une première solution est possible dans le cas des substrats non stérilisés : faire un apport assez important d'un « blanc » enrichi en azote, comprenant par exemple des graines riches en azote à côté des graines de céréales. Le blanc étant préparé dans des conditions stériles, les graines riches en azote, bien envahies de mycélium du champignon comestible, ne pourront pas servir de support nutritif pour les moisissures compétitrices.

Dans le cas des substrats stérilisés, il est possible d'enrichir ces substrats avec des sources d'azote puisque les spores des compétiteurs présents dans le milieu avant la stérilisation auront été détruites par la stérilisation.

LA FABRICATION DES SUBSTRATS POUR LES CHAMPIGNONS SAPROPTROPHES LIGNO-CELLULOLYTIQUE COMESTIBLES

Besoins nutritionnels des champignons

Les Pleurotes, Auriculaires, Shiitake ou autres *Lentinus* tropicaux sont des champignons dits « lignocellulolytiques » car ce sont dans la nature des champignons spécialisés pour décomposer des bois et matières végétales bien évoluées, riches en trois grands types de macromolécules carbonées : la cellulose, les hémicelluloses et la lignine. Cette « spécialisation » correspond à une capacité des mycéliums de ces espèces à produire des enzymes (dits des « exo-enzymes » car ils sont excrétés par les cellules mycéliennes dans les substrats qui sont colonisés par ces mycéliums) qui vont dégrader ces macromolécules et les transformer en substances solubles que les mycéliums vont pouvoir ensuite absorber pour s'en nourrir et assurer leur croissance. Le mot « lignocellulolytique » traduit de manière incomplète le fait que selon les différentes espèces de champignons cultivés, certains utilisent préférentiellement tel ou tel type de molécules, privilégiant par exemple les hémicelluloses et la lignine à la cellulose (cas du Pleurote en Huitre / *Pleurotus ostreatus*).

Cette capacité particulière confère à ces champignons un rôle particulier dans la nature : ils interviennent en tout premier dans la chaîne trophique de décomposition des matières organiques mortes caractérisées par des molécules impossibles à décomposer pour d'autres champignons : la lignine en particulier. Ces « autres champignons » (nombreux champignons inférieurs notamment) demandent obligatoirement des substances solubles (de la même façon que les bactéries) et ils interviendront justement plus tard dans la succession de organismes décomposeurs qui transformeront finalement le bois (ou la paille...) en humus pour une part et en substances solubles, minéraux, dioxyde de carbone et eau pour une autre part.

Il faut cependant comprendre que ces champignons (comme les pleurotes...) savent se nourrir parfaitement dans des milieux enrichis en azote et en substances solubles s'ils ne sont pas concurrencés pour l'utilisation de ces sources nutritives par des champignons inférieurs à croissance rapide. C'est le cas si ces champignons se développent dans des substrats préalablement stérilisés en autoclave, ce qui correspond à un mode de production de plus en plus utilisé.

L'un des grands intérêts de la stérilisation des substrats est de pouvoir justement enrichir ces derniers en sources d'azote en particulier (par exemple avec des graines de légumineuses) et d'obtenir ainsi des rendements plus importants de champignons. Ce gain de rendement peut éventuellement, dans certains contextes agricoles et économiques, justifier à lui seul le « coût » en termes de temps de manipulation engendré par cette opération de stérilisation.

De plus, pour certains champignons assez sensibles ou très sensibles aux compétiteurs en milieu non stériles (exemple du Shiitake), la stérilisation complète des substrats représente également de ce point de vue une solution intéressante.

Mécanismes de défense des champignons cultivés vis-à-vis des compétiteurs

Cette capacité à produire des enzymes de type cellulases, hémicellulases, polyphénoloxydases (pour décomposer la lignine), etc. s'accompagne également chez ces champignons d'une forte capacité à produire des molécules qui vont leur permettre de se défendre contre les autres champignons qui pourraient les concurrencer sur leurs substrats. Ces champignons concurrents sont de deux types :

- D'une part il peut s'agir d'autres champignons lignocellulolytiques qui pourraient se trouver déjà présents sur les substrats, sous formes mycéliennes ou de spores. C'est pourquoi il est nécessaire de disposer de matériaux les moins susceptibles d'être déjà « spontanément » colonisés par d'autres champignons présents dans le milieu. Pour la culture on utilisera donc des matériaux récents (bois fraîchement coupés, sous-produits agricoles n'ayant pas subi l'action des pluies...) et des matériaux traités à la chaleur ou par un autre système de « désinfection ».

- D'autres concurrents peuvent également être des champignons à croissances rapides, champignons inférieurs appelés communément des « moisissures », qui vont profiter de la libération de substances solubles produite par l'activité des enzymes du champignon cultivé pour germer et se développer rapidement. Les champignons compétiteurs majeurs des champignons comestibles lignocellulolytique sont des espèces de champignons inférieurs du genre *Trichoderma* : *Trichoderma harzianum*, *T. viride*, *T. pseudokoningii*... **Dans la suite, nous utiliserons le singulier (le *Trichoderma*) pour désigner ce complexe d'espèces.**

Pour contrer la prolifération de cette moisissure, le champignon cultivé produit trois types de molécules : des **exoenzymes** (chitinases en particulier) qui vont attaquer les parois cellulaires du *Trichoderma* ou d'un autre compétiteur, des **tannins** qui vont imprégner ses propres cellules au niveau du front de contact avec la colonie mycélienne formé par le *Trichoderma*. Ces tannins empêchent l'action destructrice des enzymes de l'agresseur (qui « cherche » également à détruire les parois cellulaires du champignon cultivé) et enfin d'autres types de **toxines**, moins bien connues.

En général, toutes les espèces comestibles ont naturellement de fortes capacités à se défendre quand elles sont cultivées sur leurs substrats naturels : en général, des bois de différentes essences forestières. En revanche, elles manifestent des capacités différentes quand elles sont cultivées sur des sous-produits agricoles. Par exemple, alors que *Pleurotus ostreatus* se défend très bien contre le *Trichoderma*, *Pleurotus eryngii* ou le Shiitake (*Lentinus edodes*) sont beaucoup plus sensibles à ce compétiteur.

Cela explique que d'une manière générale :

- Les cultures sur bois posent peu ou pas de problèmes de concurrence
- Il est facile de cultiver certaines espèces de pleurotes sur des substrats agricoles non traités à la chaleur
- D'autres cultures demandent un traitement à la chaleur, sachant que le plus sûr est une stérilisation complète comme nous allons le détailler plus loin.

Il est très important de comprendre ces données et de les garder en mémoire quand on essaie d'innover en matière de culture de champignon et de fabrication de substrat.

Quelles matières végétales ?

En 1983, le professeur LIN Zhanxi de l'Université agricole de Fujian a testé une grande diversité d'herbes sauvages, de la bagasse, de la paille de riz et de maïs comme matériau de base pour le substrat des champignons. 21 ans plus tard, cette technique a débouché sur un système étendu de cultures de plus de 40 espèces de champignons, utilisant plus de 33 espèces de plantes comme matériaux de base du substrat. Les herbes sont séchées après la récolte, broyées et stockées jusqu'à leur utilisation. Les traitements thermiques et les récipients contenant le substrat sont adaptés selon les espèces [9].

Tableau : Noms communs et scientifiques de ces plates

luzerne	<i>Medicago sativa</i>
bananier	<i>Musa nana</i>
stylosanthes	<i>Stylosanthus</i>
roseau commun	<i>Phragmites communis</i>
herbe à éléphant	<i>Pennisetum purpureum</i>
millet des oiseaux	<i>Setaria italica</i>
canne de Provence	<i>Arundo donax</i>
arachide	<i>Arachis stylosanthus</i>
sétaire	<i>Setaria sphacelata</i>
herbe du Soudan	<i>Sorghum arundinaceum var. sudanensis</i>
herbe aux écouvillons	<i>Pennisetum alopecuroides</i>
laitue d'eau	<i>Pistia stratiotes</i>
sorgho sauvage	<i>Sorghum proquinuum</i>

Dans les zones tropicales, de nombreux produits végétaux ont été testés avec succès : bagasse, feuilles de bananier, fibres de coco...

Certains produits donnent naturellement de très bons rendements comme les sous-produits frais de la culture du café, substrat testé à Cuba.

	Pulpe de café	Ecailles de cacao	Ecailles de noix de coco
Total de substrat sec (g)	500	540	300
Total de substrat frais (g)	840	450	270
Durée de production (jours)	24	16	12
Rendement %	42	23	13,5

D'après Martinez, Carrera and al. 2000

PRÉPARATION DES SUBSTRATS

Le nom donné au matériau sur lequel pousse le mycélium des champignons est le « substrat ». De nombreux déchets agricoles tels que les copeaux ou de la sciure de bois, la bagasse de canne à sucre et différents types de paille peuvent servir de matériau de base du substrat. Les matériaux choisis ainsi que les techniques de préparation et de traitement doivent être adaptés aux différents champignons cultivés. Même si la plupart des champignons cultivés sont assez « ubiquistes » (= capables de se nourrir d'une diversité de matériaux végétaux), ils préféreront chacun tel ou tel type de substrat. Après avoir mélangé les matériaux choisis et avoir ajouté certains compléments éventuels, on fait subir au substrat un traitement de « désinfection », thermique ou non, permettant d'assurer au mycélium du champignon souhaité un milieu pauvre en compétiteurs.

Formules de substrats

Elles peuvent être très diverses, en fonction des matières végétales disponibles comme nous l'avons dit. Dans tous les cas, il est intéressant de rajouter une source de Calcium sous forme de calcaire broyé (1 à 2% de CaCO₃). Un enrichissement en sources d'azote est également intéressant du point de vue des rendements mais cela augmente le risque de compétition par des champignons inférieurs et notamment par le *Trichoderma* comme nous l'avons signalé précédemment. Les compléments azotés seront donc à utiliser avec prudence, en testant des apports en petites quantités que l'on pourra augmenter progressivement si on ne rencontre pas de problèmes. Il pourra s'agir préférentiellement de compléments d'origine végétale (légumineuses). (Une stérilisation complète du substrat et un ensemencement de ce dernier en conditions stériles permettra des apports importants de compléments azotés et également riches en sucres solubles).

Voici quelques exemples de substrats assez polyvalents (adaptés à différentes espèces) qui peuvent être transposés et adaptés en fonction des produits disponibles localement. Ces formules sont adaptées pour confectionner des substrats non stérilisés (seulement traités à l'eau froide, eau froide + chaud ou « pasteurisés » (65°-70°C).

a- Sciure 94 % ; Son de riz 4 % ; Farine de maïs / Son de blé 1 %, CaCO₃ 1 %

b- Paille de riz 98 %, CaCO₃ 2 %

c- Paille de blé 99 %, CaCO₃ 1 %

d- Bagasse 99 %, CaCO₃ 1 %

Dans le cas de substrats stérilisés (100 °C pendant 3 heures, 108 °C 1 heure 15, 120 °C 45 '), les formules peuvent être largement enrichies en montant les sources de sucres solubles et d'azote :

e- Sciure sèche (taux d'humidité 15-18%) 78 % ; Son de riz fin 21 % ; CaCO₃ 1%

f- Sciure 89 – 73 % ; Déchet de maïs 10 – 25 % ; CaCO₃ ; 1 – 2 %

On pourra ensuite s'inspirer des nombreuses expériences réalisées dans le monde pour réaliser des substrats plus spécifiquement adaptés à telle ou telle espèce, comme nous le verrons plus loin.

Mélange des ingrédients et humidification.

A petite échelle, les opérations se déroulent à la main : sur un sol propre en ciment, on réalise le mélange éventuel de différents matériaux (paille, sciure, bagasse, feuilles de bananier, fibres de coco...).

Selon les matériaux, l'humidification peut se faire en arrosant le tas de matériau plusieurs fois successives de façon qu'il s'humidifie bien. Cela convient bien pour des sciures et copeaux. Une autre façon est d'immerger complètement le matériau dans un bac. Une grille devra maintenir le matériau sous l'eau.

L'humidification et plus encore l'immersion favorisent le développement d'une flore bactérienne utile dominée par le Bacille subtil (*Bacillus subtilis*). Cette bactérie est connue pour concurrencer le *Trichoderma* et favoriser ainsi indirectement le champignon cultivé dans sa compétition avec le *Trichoderma*. Quand les enzymes (cellulases, hémicellulases...) du champignon cultivé agissent, ces enzymes libèrent des sucres solubles qui peuvent favoriser la germination des spores de *Trichoderma*. L'enrichissement en sucres solubles est particulièrement marqué au bout de quelques jours (5 à 7 jours) de croissance mycélienne. Les *Bacillus subtilis* consommeront ces sucres solubles au détriment des *Trichoderma*.

Dans le cas de certaines espèces et souches de Pleurotes, **la simple immersion durant deux ou trois jours en eau froide ou à température ambiante suffit à préparer le milieu**. Le trempage débarrasse le milieu d'une bonne partie des mycéliums de moisissures déjà présents, ces mycéliums étant consommés par des microorganismes : protozoaires et bactéries. Après égouttage, les *Bacillus subtilis* se développent rapidement dans la masse du substrat. En relation avec le développement spontané d'une flore favorable dans le substrat après un traitement, on parle de « reconditionnement » du substrat.

Le *Bacillus subtilis* est reconnu comme tellement important qu'il existe des souches commerciales de cette bactérie qui sont destinées à ensemercer les bacs de trempage des pailles ou autres sous-produits agricoles destinés à la fabrication des substrats.

Cependant, on peut estimer que la prolifération de cette bactérie étant naturelle lors du trempage, il est également possible de conserver toujours, d'un trempage à l'autre, une certaine quantité d'eau résiduelle après le trempage, cette quantité étant ensuite rajoutée dans l'eau du trempage suivant. (C'est le principe d'un « pied de cuve » en viticulture ou d'un levain en techniques de boulangerie).

En Europe (Hollande, France), des essais de trempage de pailles donnent des bons résultats en termes de développement de *Bacillus subtilis*. Le trempage (des bottes de pailles de céréales) est prolongé jusqu'à quatre jours. Les bottes sont ensuite défaits et mises en mélangeuse (cf. les photos en page suivante) puis en andains qui vont se reconditionner durant encore quatre jours, avant un traitement à la chaleur.

Utilisation d'une mélangeuse : méthode et intérêt.

Des producteurs de champignons bien équipés et produisant de grandes quantités de champignons utilisent une mélangeuse à vis pour mélanger la paille, d'autres matériaux, une source de calcium, des compléments azotés éventuels (légumineuse comme le Soja) mais également pour bien écraser la paille et favoriser ainsi sa bonne humidification. Il y aura moins « d'eau libre » dans le milieu, l'eau étant parfaitement imprégnée dans le milieu. Moins d'eau libre signifie aussi moins de risques de germination des spores de champignons compétiteurs. En effet, les spores de *Trichoderma* en particulier germent quand elles sont situées dans un milieu liquide riche en sucres solubles.

Une telle mélangeuse est d'autant plus intéressante qu'on part d'un matériau végétal assez rigide (par exemple la paille de blé est plus dure que la paille d'orge) et qui aura du mal à s'humidifier. L'écrasement des fibres végétales favorise également une colonisation rapide par le mycélium du champignon cultivé. (Des observations à la loupe permettront de vérifier ces différents aspects lors de l'incubation du substrat).



Photos : dans cette ferme de production de Pleurotes en métropole (entreprise ChampiCreuse), la paille est trempée plusieurs jours avant d'être « dilacérée » dans une mélangeuse à vis sans fin (**photos a et b**). Les vis écrasent en même temps qu'elles broient la paille, ce qui va favoriser la pénétration de l'eau. Cette mélangeuse permet aussi de mélanger intimement une petite proportion de compléments azotés (soja). (Cette exploitation a une grande expérience de la pasteurisation, ce qui lui permet cette utilisation de complément azoté sans risquer l'envahissement par le *Trichoderma*). Une fois cette opération réalisée, le mélange est laissé en andains encore quelques jours sur la plateforme cimentée. Le tas monte en température et sera ainsi proche de la température souhaitée ensuite lors du « plateau » de la pasteurisation qui aura lieu dans le « four » vapeur (une dizaine d'heure ou un peu plus à 65 °C). Cela permet bien sûr une économie d'énergie, une pasteurisation en four moins longue et donc des cycles de pasteurisation plus nombreux durant la semaine avec la même installation.

Traitement à la chaux.

Pour les pleurotes et certaines autres espèces, un traitement simple et efficace correspond à une immersion du substrat dans de l'eau additionnée de chaux (Chaux éteinte : $\text{Ca}(\text{OH})_2$) dans les proportions suivantes : 1 tasse (environ 100 ml) de chaux pour 100 l d'eau.

Selon les matériaux utilisés et leurs capacités à s'humidifier, les souches mycéliennes, il est intéressant de tester un traitement de courte durée de deux heures. Cela fonctionne dans le cas de la bagasse et pour le *Pleurotus pulmonarius*.

Un traitement plus long est également envisageable, d'un jour ou deux.

Après traitement, le substrat peut être rincé par un deuxième trempage rapide dans de l'eau sans chaux, pour diminuer le pH du milieu (pH qui est monté à 12 à l'issue du traitement). Cependant, dans le cas de nos essais avec le Pleurote, nous n'avons pas noté que ce rinçage apportait un avantage. La croissance mycélienne ne semble pas affectée par ce pH initialement élevé, sachant que ce pH redescend ensuite rapidement au cours du développement du champignon.



Photos : essais de traitement de bagasse à l'eau froide + chaux (cf. texte). Incubation à deux stades. Ce traitement convient dans le cas de la culture du Pleurote. Essais réalisés dans le cadre du programme MYCONOVA.

Traitements classiques à la chaleur et commentaires

Préambule : compréhension des phénomènes microbiologiques qui sont liés aux traitements à la chaleur.

Il est important de signaler que tous les traitements utilisés par le passé montrent souvent des limites, excepté le traitement qui consiste à stériliser complètement le milieu en autoclave. Les autres traitements, à la vapeur ou à l'eau chaude, peuvent fonctionner très bien durant un temps et puis tout à coup ne plus fonctionner. L'accident le plus fréquent étant un envahissement par le *Trichoderma*, comme nous l'avons expliqué précédemment. En dehors de la stérilisation complète, nous avons à faire avec un écosystème complexe au sein duquel il existe des relations d'entraide et de compétitions entre le mycélium cultivé, les champignons inférieurs compétiteurs, les actinomycètes, les bactéries... Le simple « déplacement » un peu excessif d'un paramètre physique (taux d'humidité, température...) ou biologique (la présence d'un *Trichoderma* plus résistant à la chaleur ou plus agressif, une présence moindre des *Bacillus subtilis*...) peut modifier un équilibre et faire pencher la balance au profit des *Trichoderma*.

C'est pourquoi il est important de bien connaître ces équilibres, de tester différentes solutions pour pouvoir en adopter une tout en gardant certaines autres en réserve pour plus tard si les résultats sont amenés à changer. En somme il faut être observateur, adaptable et considérer qu'une première année est nécessaire pour construire son expérience. La culture des champignons n'est pas une « science exacte », en particulier en raison de l'évolution des *Trichoderma* mais également des souches mycéliennes utilisées.

En effet, un facteur essentiel qui conditionne le résultat est la souche mycélienne. Au sein d'une même espèce, on constate que certaines souches sont très concurrentielles vis-à-vis des *Trichoderma* alors que d'autres sont sensibles ou même très sensibles. C'est un facteur clef car il peut s'agir d'un phénomène de tout ou rien : en reprenant les termes utilisés dans le domaine de l'étude des maladies et de la protection des plantes (phytopathologie), soit la souche mycélienne (de Pleurote par exemple) est « résistante », soit elle est « sensible ». Cela signifie que soit le *Trichoderma* est empêché de croître par le champignon cultivé, soit il surmonte les défenses de ce dernier et envahi complètement le milieu, en se nourrissant d'ailleurs du mycélium du champignon cultivé qui s'était développé durant les premiers jours de l'incubation.

A quoi tient la résistance d'une souche mycélienne d'une espèce de champignon comestible cultivé ?

C'est un sujet complexe mais on peut dire que cette résistance peut être liée à :

- l'espèce (le Pleurote en huitre est plus résistant que le shiitake)
- les caractères génétiques de la souche
- les **caractères épigénétiques** de cette souche
- la plus ou moins bonne adaptation de cette souche au substrat qui lui est proposé comme milieu de vie.

Les **caractères épigénétiques** signifient qu'un mycélium ayant au départ des caractères génétiques donnés, certains facteurs de milieu peuvent conduire à ce que des gènes de résistance aux agressions ne s'expriment plus. Un bouturage successif d'une souche dans des milieux stériles (bouturages de boîte de pétri en boîte de pétri, un certain nombre de fois...) peut en être la cause.

Par ailleurs, il semble que des souches d'origines commerciales et qui sont des « hybrides » perdent de la « stabilité » dans l'expression des caractères recherchés, au fil du temps (quelques années). Une souche mycélienne « hybride » correspond à un mycélium fertile (2 n chromosomes) qui s'est formé au laboratoire à partir de spores issues de deux souches ayant des qualités complémentaires (exemple : couleur pour l'une, rendement pour l'autre...).

Par rapport à ces phénomènes, les souches « sauvages », non issues de travaux d'« hybridation » en laboratoire présentent un avantage en termes de stabilité des caractères dans le temps. Il est ainsi intéressant de rechercher des souches sauvages dans la nature et de les tester sur leurs caractères « agronomiques » ou culturaux : vitesse de croissance du mycélium, précocité en fructification, rendement en fructification, qualités organoleptiques.

Ainsi, un facteur clef de réussite est de pouvoir compter sur un laboratoire qui assure un bon suivi des souches mycéliennes, pour prévenir les problèmes en aval de la filière de production.

Traitements thermiques

Le traitement thermique est destiné à :

- Détruire une partie (pasteurisation) ou la totalité (stérilisation) des micro-organismes compétiteurs
- A éliminer les éléments nutritifs facilement solubles, ce qui diminuera les risques de concurrence ensuite avec les moisissures concurrentes
- A compléter l'humidification du milieu
- Le traitement modifie en outre dans une certaine mesure la composition chimique du substrat, ce qui peut avoir des effets positifs ensuite.

Trois types de traitement à la chaleur sont utilisés

1- L'immersion dans l'eau chaude

C'est une méthode simple, qui peut bien fonctionner, pour certains substrats et certaines espèces. Elle élimine beaucoup des substances nutritives solubles et ceci est un facteur plutôt favorable du point de vue de la concurrence du *Trichoderma* ou d'autres moisissures. Elle favorise une forte humidification, ce qui est intéressant pour les différentes phases du cycle de production : incubation puis « volées » de fructification successives. L'égouttage doit être cependant suffisant ensuite, pour éviter la présence « d'eau libre » entre les fragments de matière végétale constituant le substrat.

En revanche, le reconditionnement par la microflore (actinomycètes, Bacille subtil...) est sans doute moins efficace que dans le cas d'un traitement (contrôlé) à la vapeur.

La technique :

- Humidification préalable du substrat pour favoriser une prolifération de *Bacillus subtilis* (cf. plus haut les techniques d'humidification). Si le substrat est au soleil, il va bien monter en température
- Immersion du substrat dans de l'eau à 65 °C. La température va alors initialement descendre plus ou moins selon la température de départ du substrat qui est mis dans l'eau chaude.
- Chauffage complémentaire pour remonter la température à 65°C
- Maintien de cette température une heure ou deux (à tester selon les substrats).
- Laisser refroidir dans l'eau ou, mieux, laisser refroidir après égouttage.

Il est possible de faire plusieurs trempages successifs dans la même eau chaude.

A la champignonnière des Antilles, en Martinique, les producteurs avaient fabriqué des paniers grillagés de dimensions justes inférieures à celles des bidons dans lesquels ils faisaient leur trempage à l'eau chaude. Ces paniers étaient tirés par le haut avant déplacement et égouttage par un pressage actif, nécessaire pour chasser l'excédent d'eau.

Remarque concernant la Bagasse : il est intéressant d'utiliser de la bagasse qui ne soit pas broyée trop finement, pour éviter que celle-ci n'absorbe trop d'eau et surtout si l'on veut éviter l'opération de pressage. (La finesse du broyage va dépendre des couteaux des broyeurs et de leur niveau d'aiguisage).

Pasteurisation à la vapeur

Dans le cas d'une petite production et donc de petites quantités de substrat à traiter, une grille est placée à 20 cm du fond de la cuve (baril...) et le substrat se trouvera au-dessus de la grille. L'eau est sous la grille et elle émet de la vapeur quand elle est chauffée. Cette vapeur traverse la masse du substrat. Le baril reste ouvert de façon que la vapeur s'échappe et que la température ne monte pas trop. Idéalement en effet, les cycles de pasteurisation comprennent une montée jusqu'à 65 °C, un plateau de quelques heures à 65°C, une descente à 45-50 °C (reconditionnement en bactéries thermophiles et méso thermophiles dont *Bacillus subtilis*), un plateau de quelques heures à 45-50 °C, avant de laisser refroidir.

Il n'est pas possible d'atteindre cette précision avec une installation rudimentaire mais on pourra s'en inspirer pour s'en approcher au mieux.

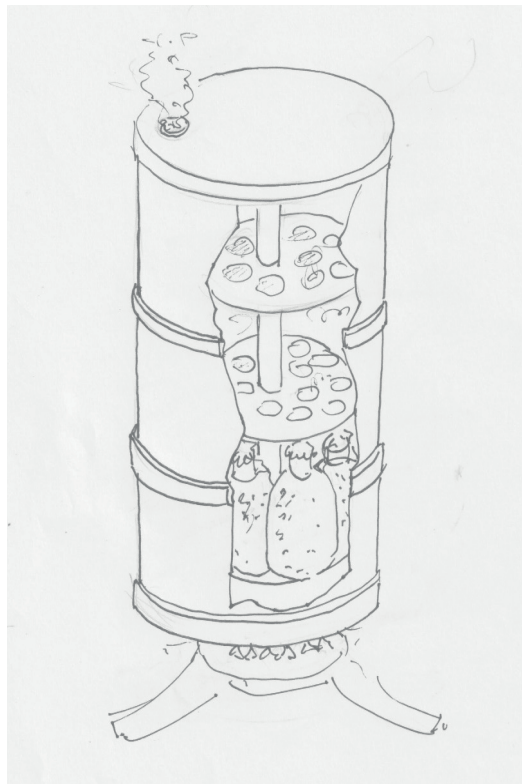


Schéma : une méthode très artisanale : des grilles successives permettent d'installer des sacs de substrats qui vont être chauffés durant trois heures dans une vapeur produite par la réserve d'eau située à la base du fût métallique. Le principe est d'essayer de ne pas monter trop haut en température. Si on dispose d'un petit treuil de levage, on peut également mettre le substrat en vrac dans un conteneur grillagé qui est installé à l'intérieur du fût. Cela pour éviter la culture en sacs plastiques.

Dans le cas des productions importantes, un « four » est utilisé : un conteneur à la base duquel est installé un plancher à claies. De la vapeur enrichie en air extérieur est envoyée sous le plancher et est entraînée par aspiration située en haut du conteneur. Ce mélange vapeur-air est amené à circuler en traversant la masse de substrat. Une régulation du débit et de la chaleur du mélange vapeur-air est prévue, de façon à respecter les conditions du cycle des températures décrit succinctement au paragraphe précédent.



Photos : un « four » de grande capacité dans la ferme à Pleurotes « ChampiCreuse » : le substrat humide (et préalablement et naturellement chauffé au soleil comme expliqué précédemment) est poussé dans le four. De la vapeur additionnée d'air circule depuis le bas + (plancher à claies) vers le haut (recyclage de l'atmosphère) en traversant la masse de substrat. Le cycle comprend une phase de plusieurs heures à 65 °C puis à 50 °C. Cette méthode est exigeante en savoir-faire et capital d'expérience. Elle doit être adaptée selon les substrats et l'espèce cultivée. *Pleurotus ostreatus* est assez résistant au *Trichoderma*.

Stérilisation

Cette méthode correspond au fait de monter la température du substrat au-dessus de 100 °C. Un autoclave tel que ceux utilisés en agro-alimentaire permet d'atteindre 120 °C et plus. Toutefois, la température atteinte dans un autocuiseur mais également dans des marmites de cuisson utilisées dans des cuisines collectives et qui ont une fonction « autoclave » (108°C) peut suffire et semble même favorable. Au-delà en effet, des études récentes montrent que les températures élevées (115-120 °C) entraînent une libération de molécules qui défavorisent la croissance mycélienne et une diminution (légère quand même) du rendement.

La stérilisation complète doit cependant s'accompagner de précaution particulière pour l'inoculation et l'incubation. Idéalement, on doit réaliser le « lardage » (= l'inoculation du substrat avec le blanc) en conditions d'air stérile, sous la hotte à flux laminaire ou devant un dispositif de filtration d'air comme cela apparaît sur la photo suivante réalisée dans une entreprise espagnole.

La stérilisation est une méthode adaptée à des contenants de petites dimensions que l'on peut disposer dans un autoclave



Photos a et b : Stérilisation des sacs de substrat en autoclave. Ces autoclaves sont très coûteux mais permettent des cycles rapides, à 120 °C (une heure).

A petite échelle, les stérilisateur à confiture ou conserves de ménage permettent de réaliser une stérilisation à 95°C environ, en prévoyant un cycle de trois heures environ.

II.4- ENSEMENCEMENT OU « LARDAGE »

Les substrats étant préparés et refroidis, la phase suivante est l'inoculation ou « lardage » de ces substrats.

La technique de lardage est différente selon le mode de traitement (eau froide, eau froide et chaud, pasteurisation ou stérilisation) du substrat.

Dans tous les cas de figure, il est intéressant de répartir au mieux le « blanc » dans la masse du substrat. Le blanc préparé sur graines est le plus pratique pour être fragmenté... Chaque graine de céréale envahie de mycélium va servir de point d'inoculation si le blanc est bien fragmenté. C'est dans cet objectif qu'il est nécessaire de disposer de « blanc » frais dans lequel le mycélium n'a pas eu le temps de développer un stroma (« tissu de mycélium ») autour de la masse de grains. Cela arrive rapidement dans le cas des pleurotes quand le blanc n'est pas utilisé tout de suite et même s'il est conservé au froid. Le froid permettra de le conserver par exemple un mois maximum mais pas au-delà. C'est d'ailleurs l'un des gros problèmes qui se pose aux producteurs insulaires qui doivent importer leur blanc. Le blanc de Pleurote voyage particulièrement mal, formant justement un stroma qui épuise les réserves des graines et qui empêche une bonne fragmentation du blanc.

Lardage manuel, dans le cas des productions à une échelle artisanale

Il est nécessaire de travailler dans un environnement bien propre, le sol et murs étant nettoyés régulièrement à l'eau de javel ou éventuellement passés à la vapeur si l'exploitation dispose d'un générateur de vapeur. Moins on déplacera le substrat dans l'air ambiant, moins on prendra de risques de capter des spores de champignons compétiteurs présentes dans l'atmosphère.

Une solution, quand la technique choisie rend cela possible, est de mélanger le blanc directement dans le contenant qui a servi au traitement à l'eau de chaux ou à la chaleur.

Une autre solution est d'éviter de trop mélanger le substrat et le blanc en procédant plus délicatement et couche par couche : un peu de blanc est réparti au fond du « contenant » qui va servir à contenir le substrat pendant son incubation (sac, seau, silo...) puis une couche de substrat prélevé et déposé délicatement sans que le milieu soit trop exposé à l'air puis à nouveau un « saupoudrage » de graines, etc.

Avec une espèce très concurrentielle et qui risque peu les infections, il est possible de mélanger substrat et blanc à la fourche ou avec les bras, sur une surface bien propre, sol cimenté bien nettoyé ou film plastique propre.

Le « taux de lardage » est fonction de quatre critères :

- le coût du blanc
- la « vitalité » du blanc
- la recherche d'une incubation très rapide,

- la volonté d'enrichir le substrat avec une source de substances solubles en particulier azotées qui vont améliorer le rendement final en champignons sans le risque que ces sources soient des foyers de contamination par les *Trichoderma* ou d'autres moisissures. Ces infections seraient inévitables si les graines étaient apportées sans être préalablement envahies de mycélium stérile. Dans le cas des graines constituant le « blanc », les constituants azotés des graines ne sont disponibles que pour le mycélium qui a colonisé ces graines et non plus pour les compétiteurs éventuels. (Cela n'est cependant vrai que si les graines sont effectivement complètement envahies, ce qui n'est pas toujours le cas pour des « blancs » très récents).

Concernant le premier critère, **le coût**, il est certain que le fait de disposer de son propre laboratoire (ou laboratoire collectif !) de fabrication de blanc permet de mieux maîtriser ce paramètre, surtout dans un contexte d'une obligation d'importation depuis un pays ou une région éloignée.

La vitalité du mycélium dépendra également beaucoup des conditions de conservation. L'importation du blanc depuis des zones lointaines ne permet souvent pas d'espérer avoir un blanc à son pic de vitalité. En effet, la vitalité est maximale quand le mycélium est bien frais, c'est-à-dire qu'il a envahi l'ensemble des graines (ou un autre support) sans avoir eu le temps d'épuiser toutes les réserves de ces graines et enfin qu'il n'a pas été stocké trop longtemps au froid. Dans les cas contraires, le mycélium prendra du temps (un jour ou deux) pour redémarrer franchement à nouveau sa croissance, croissance qui se fait à partir de la base nutritive constituée par la graine pour se développer dans le substrat qui entoure cette base nutritive.

La recherche d'une incubation très rapide ne justifie pas d'après notre expérience d'augmenter le taux de lardage. La « progression » du mycélium en croissance est une progression « géométrique » et le fait d'augmenter le taux de lardage de 2 à 3 % (poids du blanc par rapport au poids du substrat humide) par exemple ne permettra au mieux que de gagner une journée d'incubation.

En revanche, le quatrième critère est justifié. L'augmentation du taux de lardage permet d'augmenter un peu le rendement à travers un **enrichissement en composés azotés**.

Lardage de substrats pasteurisés dans le cadre d'une production à grande échelle

Les exploitations utilisent alors une mélangeuse – ensacheuse.

La mélangeuse correspond à un tapis qui reprend le substrat après traitement thermique, tapis associé à une trémie de distribution de blanc. Le mélange est assuré par un rouleau denté qui refoule partiellement le substrat qui reçoit le blanc, avant que le substrat lardé ne tombe dans des sacs. Ces installations sont plus ou moins automatisées selon la taille des exploitations de « myciculture ».



Photos : le tapis mélangeur de « ChampiCreuse ». Le substrat pasteurisé dans le four est déplacé sur le tapis. En haut du tapis, le substrat est égalisé en une couche mince qui reçoit automatiquement le « blanc » développé sur graines de céréales.

Taux de lardage

Il faut en général apporter de 2 à 5% de blanc par rapport au poids de substrat humide. Le développement du mycélium à partir des points d'inoculation (chaque graine envahie de mycélium sert de point d'inoculation) prend un temps de deux à quelques semaines, ce temps étant fonction essentiellement de la température. La température correspondant à la température optimale de croissance de la souche mycélienne utilisée est bien sûr recherchée.

Il faut éviter que la masse de substrat ne chauffe trop pendant cette phase d'incubation. La respiration du mycélium pendant sa croissance dégage beaucoup de calories et cela favorise la montée en température. Il sera nécessaire de favoriser les échanges de calories avec l'atmosphère extérieure au substrat en limitant les dimensions des masses de substrats.



Photos : (a) Blanc prêt à être utilisé. Ce blanc a été fragmenté. (b) Ensemencement de sacs de substrats dans le cadre d'une culture sur substrat stérile. Cet ensemencement est fait devant un flux d'air filtré et donc stérile. (c) Début de développement du mycélium à J+1, à partir de chaque point d'inoculation. (d) Un contexte très différent : ensemencement d'un lit de feuilles de bananier avec du mycélium développé sur de la sciure, dans le cadre d'une culture de volvaires sur milieu non stérile (les feuilles de bananier ont été simplement immergées pendant une nuit. Cf plus loin : culture de la Volvaire).

II.5- INCUBATION

La phase d'incubation correspond au développement du mycélium dans la masse de substrat. Cette phase dure de 15 jours à 1 mois selon les espèces et à une température optimale de croissance du mycélium. Le mycélium se nourrit du milieu constitué par les résidus végétaux. Du CO₂ s'accumule dans l'atmosphère interne du substrat. Ce dernier doit être suffisamment aéré pour :

- que le renouvellement de l'air soit efficace et que le mycélium ait ainsi une croissance active et de bons mécanismes de défenses

- que le milieu ne s'échauffe pas trop, notamment au cœur de la masse de substrat. Si c'était le cas, le mycélium pourrait dépérir au cœur du substrat et laisser la place à un compétiteur de type *Trichoderma*.

Il est donc nécessaire que les espèces et les souches mycéliennes utilisées pour les cultures soient vraiment adaptées aux températures tropicales, ce qui n'est pas le cas avec les souches importées de métropole par exemple.

Il est également nécessaire de disposer de substrats qui ne soient pas de textures trop fines. La sciure par exemple doit être additionnée de pailles ou autres matériaux fibreux plus grossiers (fibres de coco peu broyées, etc.). La bagasse ne doit pas être trop fine ni trop humide....



Photos : (a) Incubation à 10 jours d'une paille d'orge colonisée par *Pleurotus ostreatus*. (b) Substrat en fin d'incubation, pour la culture de *Pleurotus djamor* (pleurote rose). (c) Incubation à J+2 d'un substrat pour *Pleurotus pulmonarius*. (d) Deux stades de l'incubation du shiitake : stade mycélium blanc à gauche puis brun à droite, avant enlèvement du sac plastique.

II.6- FRUCTIFICATION

La fin d'incubation du substrat entraîne un phénomène général qui va favoriser naturellement la fructification : l'épuisement du milieu nutritif dans le volume limité de la masse du substrat mis en œuvre. Le mycélium ayant consommé une partie importante des constituants du substrat (paille, sciure...), la phase « végétative » est terminée. Le mycélium « réagit » naturellement à cet épuisement en fructifiant. La fructification peut en effet être comprise comme un phénomène qui permet à l'espèce de se prolonger dans le temps et l'espace à travers une production de spores qui vont pouvoir aller coloniser d'autres milieux...

En effet, les fructifications (ou « sporophores ») sont destinées à émettre des spores.

D'autres phénomènes favorisent également la fructification : un refroidissement, une meilleure aération qui permet une oxygénation de certaines zones du substrat (ouvertures pratiquées par exemple dans le film plastique qui entoure la masse de substrat). Cette oxygénation peut être également provoquée par une immersion pendant un jour ou deux du substrat de certains champignons comme en particulier le Shiitake (*Lentinula edodes*). Ce phénomène d'immersion rappelle le processus décrit pour la fructification d'un champignon ectomycorhizien qui est le Cèpe de Bordeaux. Cette espèce développe son mycélium dans le sol et la litière de feuilles et c'est l'immersion des horizons superficiels du sol qui déclenche la fructification.

Au début de la phase de reproduction, de petits **primordia** se formeront. Un flux constant d'eau transporte des substances nutritives depuis le mycélium vers les fructifications. Il y a un phénomène d'**autolyse** du mycélium préalablement développé dans le substrat : les molécules de réserves accumulées dans le mycélium (par exemple le glycogène) mais également des molécules constitutives des cellules sont remobilisées pour être dirigées vers les fructifications qui sont en croissance rapide. L'évaporation en surface des fructifications favorise ce flux, bien que le transport d'eau à la base du pied d'une fructification fasse appel à des mécanismes de transport actif. Ces mécanismes cellulaires sont donc consommateurs d'énergie, ce qui suppose une respiration intense et donc un milieu suffisamment aéré. L'arrosage des champignons en cours de croissance doit donc être limité pour ne pas saturer l'air en humidité ni trop imprégner d'eau la surface du substrat. L'arrosage de champignons en pleine maturation ou une humidité relative trop élevée risquent sinon d'abîmer la récolte.



Photos : trois stades de la fructification des pleurotes : **(a et b)** Primordias. **(c)** Champignons à maturité, bons à récolter (Pleurotes à la champignonnière des Antilles - Martinique).



Photos : quelques exemples de fructifications de champignons de culture. **(a)** Fructification de shiitake (culture sur substrats stérilisé). **(b)** *Pleurotus citrinopileatus* et *P.djamor*. **(c)** *Pleurotus ostreatus* sur substrat pasteurisé (Métropole – Champicreuse). **(d)** *Pleurotus ostreatus* sur résidus de la culture du café, au CEBI - Université de Santiago de Cuba. **(e)** Fructification de volvaires, sur paille de riz.

Les températures nécessaires aux champignons cultivés

La rentabilité en même temps que le caractère durable et responsable d'une production de champignon demande de limiter ou d'éviter les dépenses énergétiques nécessaires pour réchauffer ou au contraire refroidir les substrats en incubation ou en fructification. Pour cela, il est nécessaire de disposer d'espèces (ainsi que de souches au sein de ces espèces) qui soient les mieux adaptées aux conditions climatiques locales. Si c'est le cas le plus souvent en Asie pour les cultures artisanales ou semi-industrielles qui y sont pratiquées, les premières expériences de cultures dans les Caraïbes ont souvent été menées en utilisant des souches européennes ou d'Amérique du Nord. Ces espèces et souches souffrent le plus souvent d'un excès de température.

Le tableau suivant est proposé par un petit ouvrage pratique de la série Agrodok [8].

Il permet de comparer les conditions favorables de températures pour les espèces de milieu plutôt tempérés à celles favorables aux espèces subtropicales et tropicales (ces dernières étant indiquées en caractères gras).

	Intervalles de températures permettant :		
	La Viabilité du mycélium	La croissance optimale du mycélium	La fructification
<i>Lentinula edodes</i> / Shiitake	5-35 °C	20-30	8 -24
<i>Pleurotus abalonus</i>	15-35	20-30	25-30
<i>Pleurotus cystidiosus</i> / Pleurote ormeau	10-35	25-28	25-30
<i>Pleurotus ostreatus</i> / Pleurote en huître	5-35	20-25	5-25
<i>Pleurotus pulmonarius</i> / Pleurote pulmonaire	5-35	20-25	13-20
<i>Pleurotus cornucopiae</i> / Pleurote corne d'abondance	15-35	20-28	15-25
<i>Pleurotus djamor</i>	15-35	24-30	20-32
<i>Auricularia polytricha</i>	20-35	30-35	23-28
<i>Agaricus bisporus</i>	10-32	20-28	10-20
<i>Agaricus blazei</i> = <i>A. subrufescens</i>		30	20-32
<i>Volvariella volvacea</i>	20-40	30-35	30-32

Les *Volvariella volvacea* supportent également les températures tropicales. Le Pleurote en huître et le Shiitake ne sont pas bien adaptés aux températures tropicales, ce qui justifie l'utilisation de *Pleurotus djamor* et la recherche d'autres espèces du genre *Lentinula* comme *Lentinula boryana*.

II.7- LA CULTURE SUR BOIS

Avantages de ces cultures.

a) Le bois correspond au milieu naturel de la plupart des champignons ligno-cellulolytiques cultivés. Cultivés sur bois, ces champignons se trouvent vraiment sur un milieu qui correspond spécifiquement à leurs besoins et sur lequel ils sont très concurrentiels. Les bois sont en particulier des sources de **polyphénols** que ces champignons savent métaboliser et utiliser pour mieux se défendre contre les champignons inférieurs concurrents (*Trichoderma spp.*).

b) Par ailleurs, l'expérience montre qu'en se nourrissant de bois, les champignons montrent des **caractéristiques organoleptiques** (dimensions, formes, couleur, texture, arômes...) très favorables. Cela apporte bien sûr un avantage commercial indéniable et cela permet également d'envisager la création spécifique de filières de qualité, comme celle d'un approvisionnement de restaurants gastronomiques. Il est également probable que d'une manière générale, les **caractéristiques nutritionnelles** des champignons soient également optimales quand ces derniers sont cultivés sur le bois. Il sera nécessaire et intéressant cependant de bien vérifier ce dernier point avant de pouvoir généraliser cette affirmation et formuler des arguments commerciaux qui puissent reposer sur des données avérées.

c) La culture sur bûches de bois fraîchement coupés et récoltées offre des conditions de faible risque de contamination par d'autres champignons. En effet, pour cette culture nous verrons que les différentes techniques utilisables font que le « blanc », lui-même stérile, est mis en contact avec du bois situé à l'intérieur des bûches et qui dès lors exempt de contaminants. Les contaminants qui sont naturellement en surface des bûches ne pourront ainsi pas agir à l'encontre du mycélium du champignon comestible introduit dans la bûche.

Si toutefois, les bûches ont été stockées un petit moment avant leur utilisation, on pourra éventuellement les tremper trois ou quatre jours dans de l'eau ou de l'eau additionnée de chaux (cf. technique utilisée pour la bagasse) pour débarrasser la surface des bûches des spores et mycéliums de champignons qui auraient contaminé la surface du bois.

d) Cette culture n'implique pas des installations sophistiquées et peut même être pratiquée dans des conditions très naturelles, les bûches étant placées en sous-bois comme les photos suivantes l'illustrent. Cependant, si des insectes sont amenés à coloniser les fructifications, les bûches peuvent être installées sous un tunnel recouvert d'un matériau d'ombrage à mailles très fines, ce matériau permettant une aération naturelle mais empêchant l'accès des insectes volants.

Bois-bûche, bois broyé ou bois-sciure

Le « substrat-bois » peut se trouver sous ces trois formes. L'utilisation du bois sous forme de bûches permet un mode de culture très artisanal et simple. Le bois broyé ou la sciure représentent des matériaux qui peuvent être intéressants pour enrichir un substrat d'origine agricole en molécules favorisant d'une part les mécanismes de défense des champignons et d'autre part leurs qualités organoleptiques et nutritionnelles.

TECHNIQUE DE PRODUCTION SUR BOIS-BÛCHE

Préparation du blanc

- Des chevilles de bois de **8 mm** de diamètre (tourillons de hêtre achetés dans un commerce de matériaux de construction et de bricolage) sont trempés dans l'eau pendant 48 à 72 h. Parallèlement, des graines de céréales (orge, blé...) ou de graines pour les oiseaux sont trempées 24 h. Les chevilles de bois et les graines sont égouttées puis mélangés dans des récipients en verre adaptés à l'usage recherché (récipients en verre que nous préférons aux sacs plastiques autoclavables dans l'optique d'une production responsable d'un point de vue environnemental). Les proportions de graines et de chevilles doivent permettre que le mélange présente le moins d'espaces vides possible, de façon que le mycélium qui va s'y développer n'ait pas à coloniser ces espaces vides en perdant ainsi globalement de la « vitalité ». Les récipients ne sont pas remplis jusqu'en haut pour que le mélange puisse être secoué dans une phase ultérieure. Le mélange est autoclavé 30 ' à 120 °C ou 50 ' à 108 °C (température obtenue en cocotte-minute ou dans une marmite de cuisson avec option autoclave). On peut remplacer les graines par de la sciure qui correspond mieux au milieu de vie du champignon.

- Une fois refroidis, les récipients sont inoculés, soit directement avec quelques morceaux de colonie mycélienne développée sur gélose en boîte de pétri, soit à partir d'une culture sur grains développée préalablement dans un petit erlenmeyer.

- Les récipients sont secoués au bout de quelques jours, pour bien répartir les mycéliums qui se seront développés à partir des premiers points d'inoculation.

- La colonisation des chevilles et des grains prendra environ un mois, de façon que les chevilles soient bien colonisées et pas simplement en surface.

Préparation des bûches

Le bois est choisi initialement pour bien correspondre aux besoins des champignons comestibles mais également pour correspondre à de critères d'exploitation forestière qui permettent un approvisionnement facile et peu coûteux. Une étude sera nécessaire dans les territoires des Caraïbes intéressés par cette culture, pour rechercher les essences adaptées.

D'une manière générale, les bois tendres, peu denses, seront colonisés plus rapidement par le mycélium du champignon cultivé et produiront plus vite des fructifications (au bout de quelques mois) mais moins longtemps (deux ans par exemple). Les bois denses pourront produire moins vite mais plus longtemps (par exemple 5 ans pour le chêne en métropole).

Le bois doit être assez fraîchement coupé pour ne pas être déjà colonisé spontanément par trop de champignons. Il est intéressant, selon les cas et la nature du bois, de tester des trempages préalables des bûches pendant trois ou quatre jours si cela est possible de manière simple. La longueur des bûches avoisine par exemple un m de long. La longueur sera choisie en fonction de critères de transport, manutention, installation pour la fructification. Le diamètre des bûches est fonction des possibilités d'approvisionnement mais aussi des besoins écologiques des champignons. Les pleurotes sont par exemple habituellement cultivés sur des bûches (« troncs ») de section plus large que celles utilisées pour le shiitake (« branches »). Les auriculaires se satisfont de sections faibles.

Inoculation des bûches par les chevilles de bois

Le principe est de faire des trous dans les bûches avec une perceuse et un foret de **7 mm** de diamètre. La profondeur du trou doit faire exactement la longueur des chevilles de bois. Une cale fixée sur le foret permettra de ne pas dépasser cette longueur. Il est important qu'il n'y ait pas d'espace vide à l'intérieur du bois, sous la cheville, une fois celle-ci enfoncée avec un marteau jusqu'à toucher le fond de la cavité et affleurante en surface. La cheville envahie de mycélium est enfoncée en force et adhère parfaitement aux parois de la cavité du fait qu'elle a 1 mm de plus en diamètre. Il n'est pas absolument utile ainsi de colmater ensuite la section de la cheville et de la cavité avec de la cire ou un autre matériau assurant une étanchéité de la cavité, comme il est souvent conseillé pourtant. Il est conseillé de mettre suffisamment de chevilles de bois pour favoriser un envahissement relativement rapide du bois par le mycélium à partir des points d'inoculation correspondant aux chevilles envahies de mycélium. Une cheville tous les 20 cm en tous sens peut être conseillé.

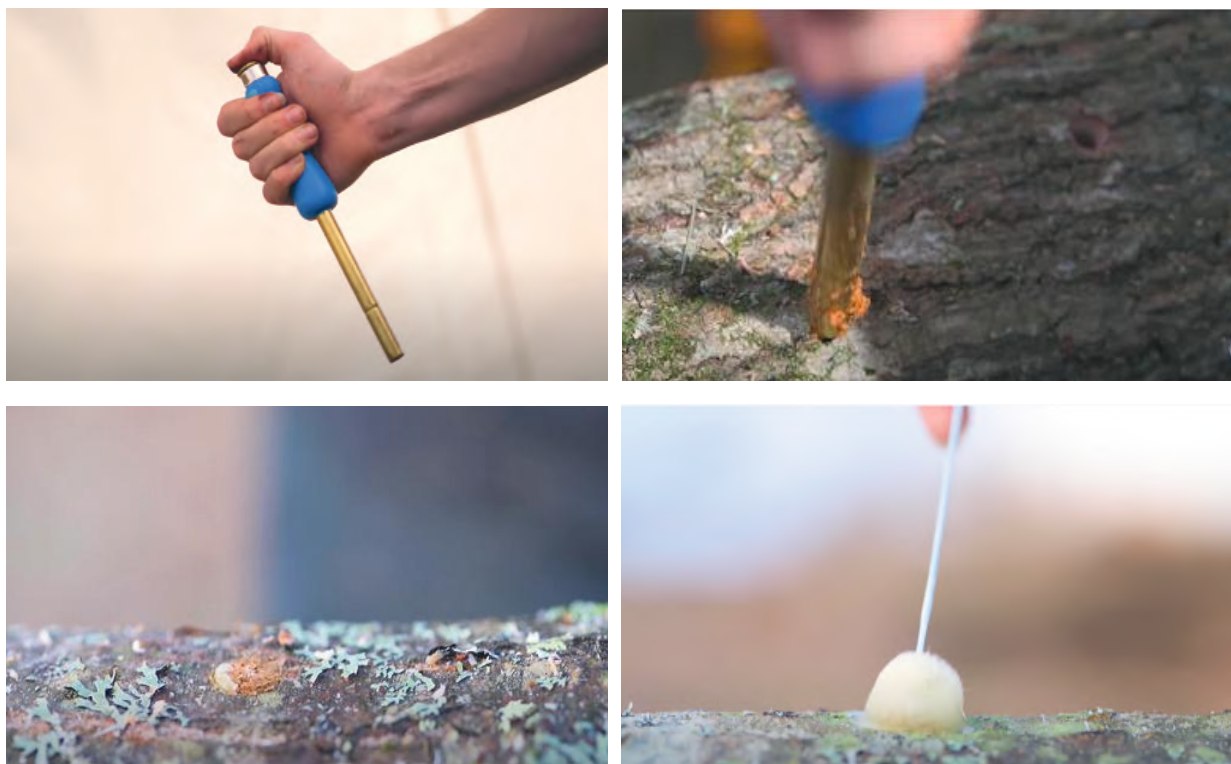
Variante : l'inoculation peut être faite en creusant des cavités plus larges et plus profondes et en garnissant ensuite ces cavités avec du mycélium cultivé sur un mélange de grains et de sciure. Les cavités peuvent être fermées hermétiquement avec de la cire.



Photos : (a) Perçage des trous avec une perceuse (1 trou tous les 10 à 20 cm sur deux lignes). (b) cheville envahie de mycélium placée dans un trou. (c et d) Les chevilles sont enfoncées en force au marteau ou maillet (chevilles de 9 mm de diamètre dans trou de 8 mm, ou de 8 mm pour des trous de 7 mm, pour une bonne adhésion et éviter de recouvrir le trou avec de la cire.

Variante pour l'ensemencement

Un instrument permet de prélever du blanc correspondant à du mycélium développé sur grains de céréales et de l'injecter dans les trous faits à la perceuse. De la cire est ensuite déposée sur l'ouverture pour isoler le mycélium de l'extérieur du tronc.



Photos : (a) Instrument pour prélever du « blanc » et l'injecter dans le trou fait avec la perceuse. (b) injection du blanc. (c) Le blanc est à fleur de la surface du tronc. (d) De la cire tiède est déposée à l'endroit où le mycélium affleure la surface.

Incubation

La phase d'incubation correspond à la phase de colonisation des bûches par le champignon comestible. En climat tempéré, les bûches peuvent être en incubation en milieu extérieur, sous des arbres pour qu'elles soient protégées d'un ensoleillement direct.

Sous les tropiques, il est sans doute préférable de stocker les bûches en incubation sous un abris, au moins pendant la saison des pluies. Si elles sont stockées en milieu non forestier, les bûches seront également moins facilement colonisées spontanément par d'autres champignons naturellement présents en forêt et susceptibles d'être transportés sur les bûches sous forme de spores et fragments de mycélium. L'important est que la colonisation par le champignon comestible soit suffisamment importante pour les colonisations secondaires par d'autres champignons restent limitées.

Une solution intéressante également est de faire incuber ces bûches dans des silos confectionnés par exemple avec des parpaings ou des briques et en plaçant les bûchesensemencées dans des lits de substrats d'origine agricole etensemencés avec le même champignon. Cela sera facilement réalisable avec des champignons qui se développent bien dans des substrats non traités à la chaleur (voir plus loin).

On aura intérêt à suivre l'évolution de l'incubation en réalisant au bout de quelques mois une coupe au niveau de quelques chevilles, pour observer la progression du mycélium dans le bois à partir des chevilles.

Fructification

Au bout de quelques mois d'incubation, les bûches vont être disposées de telle façon qu'elles soient abritées de l'ensoleillement direct et du vent et de telle façon que la cueillette soit facile. La production se fera par « volées » successives pendant des mois et des années, selon la densité du bois. Cette densité détermine en effet la vitesse de colonisation des bûches par les champignons. Si nécessaire, une protection contre le vent et les insectes peut être prévue, avec un voile d'ombrage à mailles fines et installé sur des arceaux de tunnel.



Photos : (a) Exemple de voile brise-vent permettant de protéger les cultures contre le vent et les insectes qui peuvent pondre dans les champignons. (b et c) Culture de shiitake au Japon. (d et e) Cultures de shiitake sur Chêne et sur Bouleau. Photos biopterre – Québec. (f) Récolte.

CHAPITRE III

QUELQUES PARTICULARITES DES CULTURES DES ESPECES LES PLUS CULTIVEES

Dans ce dernier chapitre, cet ouvrage souhaite mettre en évidence quelques aspects caractéristiques de chacune des cultures évoquées précédemment. En n'oubliant pas cependant que les informations qui sont données devront être adaptées aux conditions tropicales et aux nouvelles espèces de champignons locaux qui seront petit à petit collectées dans les forêts des différents territoires partenaires du projet Myconova puis testées au laboratoire et en culture. C'est bien en effet l'un des objectifs importants de ce projet que de constituer une « mycothèque » caribéenne, de façon à développer des productions bien adaptées à nos conditions climatiques, aux substrats disponibles et enfin aux modèles économiques qui sont recherchés localement. Le principe général étant de viser :

- La qualité des produits
- L'origine locale
- Des modèles économiques responsables et durables.

III.1- LA CULTURE DES PLEUROTÉS

Il s'agit d'une culture assez facile, qui permet de produire des champignons de très bonne qualité gastronomique et nutritionnelle et qui permet de s'initier sans trop de difficultés aux techniques de production des champignons ligno-cellulolytiques.

Les sous-produits utilisables

Les pleurotes peuvent se développer sur une grande diversité de sous-produits agricoles et forestiers et cela permet ainsi une valorisation intéressante de ces sous-produits : bagasse, pailles de céréales, feuilles et pseudo-troncs de bananier, gousses de haricot, résidus de haricot, paille de sarrasin, cactus, agave, yuca, pulpe de cardamome, feuille de cannelier, écorces d'agrumes, fibres de coco, coque de noix de coco, parche de café (pasteurisée ou non), pulpe de café (séchée au soleil, stockée et réhydratée), fibre de maïs, rafle de maïs, tiges et feuilles de maïs, résidus du coton, herbe aux éléphants (*Pennisetum purpureum*), feuilles de citronnier, tiges de manioc et feuilles, feuilles de pomme de terre, roseau, substrat résiduel d'une culture préalable de volvaire (*Volvariella volvacea*), séché et réhydraté/pasteurisé, feuillage d'arbres divers, Jacinthe d'eau, etc.

Certains pleurotes (espèces ou souches au sein d'une espèce donnée) sont bien résistants aux compétiteurs et en particulier au *Trichoderma*. Il est ainsi souvent possible de ne pas traiter les substrats à la chaleur, dans la mesure où les sous-produits utilisés ont été stockés au sec, sans avoir donc été humidifiés et avoir connu préalablement des colonisations par des champignons inférieurs.

Les espèces au sein du genre *Pleurotus* qui peuvent être cultivées sous climat tropical

Le choix des espèces sera fonction, sous les tropiques, de leur adaptation aux températures élevées. *Pleurotus djamor* est à priori adaptée. C'est une espèce pour laquelle il existe des souches commerciales nombreuses mais qui pousse également spontanément en forêt tropicale sur des bois morts. Il existe des sous-espèces blanches et roses (*P.salmonicolor*). Il n'est pas rare de la rencontrer et il est très envisageable de constituer une mycothèque de souches locales. D'autres espèces proches de *Pleurotus ostreatus*, comme en particulier *Pleurotus pulmonarius*, sont adaptées cependant à des températures élevées et pourraient éventuellement être cultivées sous les tropiques dans les Caraïbes. *P. pulmonarius* est fréquent à l'état sauvage en forêts subtropicales.

Méthodes de traitement recommandées.

Il est normalement possible de ne pas traiter le substrat à la chaleur. Une désinfection à l'eau de chaux (1 verre de chaux éteinte pour 100 l) peut être testée (cf. le point du Chapitre II sur les traitements des substrats). Une pasteurisation peut permettre cependant une amélioration du rendement, notamment en améliorant l'humidification et la capacité de rétention en eau du substrat.

Conditionnement du substrat

La diversité de producteurs de pleurotes dans le monde a imaginé également une très grande diversité de solutions de « contenants » pour le substrat et sous des volumes différents. Une caractéristique très importante des pleurotes est qu'ils poussent naturellement sur des parois verticales (troncs d'arbres morts dressés ou côtés des troncs morts couchés).

C'est pourquoi les producteurs ont imaginé des solutions pour reproduire cette situation naturelle :

a- La solution la plus simple sans doute correspond à des sacs de diamètres équivalents à ceux des troncs d'arbres et de hauteurs plus ou moins importantes (le poids conditionne le plus souvent cette hauteur ainsi que la nécessité de ne pas tasser le substrat situé en partie basse du sac à cause du poids de la colonne de substrat).

b- Une autre solution est celle de moules ou « silos » d'une largeur limitée (par exemple 30 cm ou 40 cm selon la finesse des matériaux du substrat), de hauteur permettant de les remplir aisément (par exemple 1,50 m) mais de longueur indifférente.

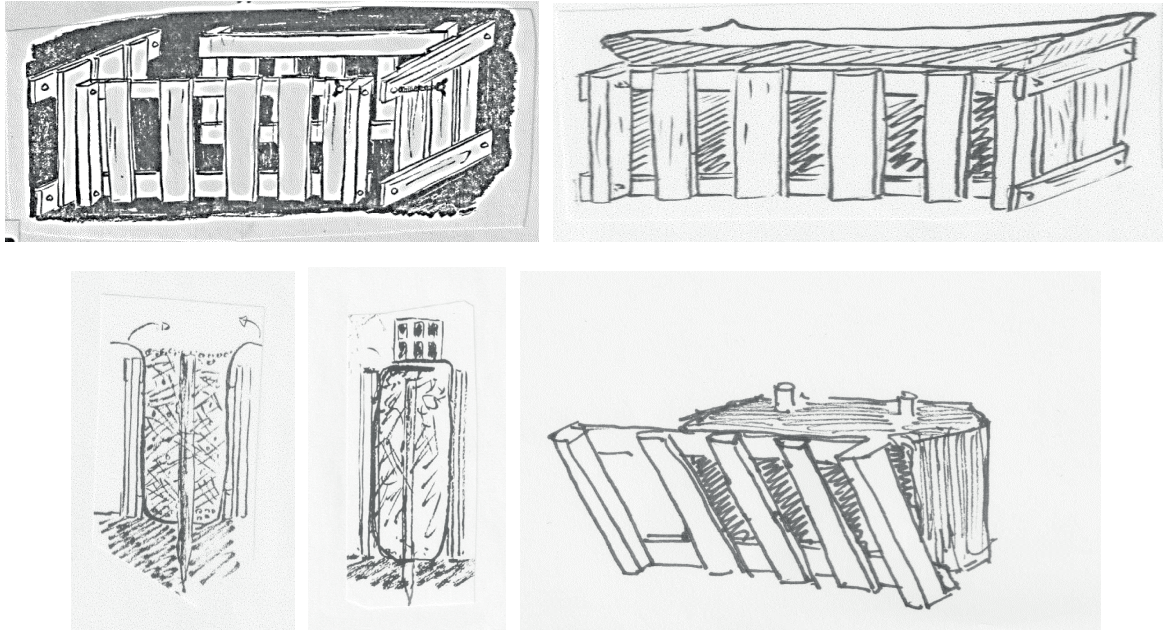
c- Une troisième solution répond à un impératif de gain de place et de facilité d'installation puisqu'il n'est pas nécessaire d'installer des étagères ou des systèmes d'accroche. Le substrat est conditionné en blocs de forme parallélépipédiques qui sont donc empilables. Toutefois, pour des questions de manipulations, ces blocs peuvent être disposés sur des systèmes favorisant une aération entre les blocs et une manipulation de plusieurs blocs avec un transpalette. Ce système implique toutefois une forte mécanisation (ensacheuse performante).

c- Une quatrième solution correspond à l'utilisation de seaux en plastiques qui sont bien sûr réutilisables. Cette solution est rationnelle car les seaux sont empilables, reproduisent la verticalité de troncs d'arbres et permettent un gain de place. Par rapport à des colonnes constituées de gaines plastiques, l'utilisation de seaux évitent une pression trop forte exercée sur partie basse du substrat par la partie haute. Une pression trop forte est en effet préjudiciable à l'aération du substrat situé en partie basse (sachant qu'en plus elle reçoit l'eau d'un drainage éventuel du substrat situé au-dessus).

d- Une solution va cependant à l'encontre de cette idée de favoriser les fructifications sur des parois verticales. Il s'agit de la culture de pleurotes sur litière de substrat. C'est une solution souvent utilisée par des maraichers qui adoptent des méthodes d'agroécologie. Les pleurotes (ou d'autres champignons comestibles) ont une fonction productive mais également celle de favoriser l'humification des matières végétales disposées en paillage entre rangs de légumes. Les mycéliums au contact du sol, sous la litière, ont également une action améliorante de la vie des sols, en stimulant la microflore bactérienne en particulier, en produisant des molécules stabilisatrices de la structure du sol, etc.



Photos : (a) Culture sur substrat placé dans des sacs allongés verticaux, reproduisant la forme de « troncs d'arbres ». (b) Culture également sur sacs mais ce dispositif de trois ficelles verticales attachées en dessous du sac du bas puis resserrées et nouées entre deux sacs successifs permet de réaliser des colonnes mais sans avoir le problème de porter des sacs trop lourds et d'avoir un substrat trop tassé et humide en bas de sacs trop hauts. (c) Culture sur de petits sacs disposés sur des étagères. (d) Culture sur du substrat ensaché et « moulé » par une ensacheuse. (e) Culture sur un substrat mis dans des seaux réutilisables (solution récente souvent utilisée par des petits producteurs). (f) Inoculation d'une litière de paille. Un film plastique sera posé sur la litière ensuite pendant la phase d'incubation. (g) Fructification des pleurotes sur cette litière. Nous voyons que la forme n'est pas typique. Les pleurotes poussant en parois verticales ont des pieds excentrés et non centrés comme on le voit ici. Cela donne un autre aspect qui peut être intéressant commercialement éventuellement. Cette technique peut être utilisée pour des champignons qui poussent dans la nature plutôt sur des surfaces horizontales (Strophaire, Volvaire souvent...).



Schémas : réalisation d'un « mur » de substrat.

(a) Un « moule » est réalisé avec par exemple des palettes récupérées. La longueur est indifférente. La hauteur est fonction de la finesse des matériaux du substrat. Si les matériaux sont fins, il ne faut pas que le poids de la partie supérieure du mur de substrat tasse trop la partie inférieure, pour ne pas limiter la porosité du substrat et gêner la respiration du mycélium. La largeur ne doit pas être excessive pour éviter que le centre du mur ne s'échauffe trop pendant l'incubation. Ceci est fonction également de la finesse des éléments du substrat. 30 cm de large peut être choisi ou un peu moins.

(b) Un film plastique est disposé sur le sol et sur les parois intérieures. (Si le film est résistant, il pourra être réutilisé pour plusieurs cycles de cultures). Si le mur est fait sur un sol en terre battue, des piquets peuvent être plantés avant le remplissage du moule par le substrat. Cela permettra de tenir vertical le mur de substrat une fois les parois du moule enlevées (à la fin de l'incubation).

(c) Le substrat est placé dans le moule. Soit l'ensemencement avec le « blanc » est fait avant, soit il est fait pendant le remplissage du moule. Le mélange peut être intime ou par saupoudrage entre les différentes couches de substrat.

(d) Une fois le moule rempli, le film est refermé par-dessus le sommet du substrat. En fonction de la taille des matériaux végétaux composant le substrat (« la granulométrie »), ce dernier devra être plus ou moins tassé, en rajoutant par exemple une planche et des parpaings par-dessus. Le tassement a pour objectif de diminuer la porosité du substrat pour éviter que le mycélium ait trop d'espaces vides à coloniser dans le substrat.

(e) Après l'incubation, les parois du moule sont démontées. Des croix (deux traits de 3-4 cm de long) sont faites au cutter tous les 20 cm (dans la hauteur et la longueur) dans le film plastique. Les champignons fructifieront par ces ouvertures.

Après la fin du cycle de production, le film peut être trempé et lavé. Cela ne pose pas de problème de le réutiliser s'il n'y a pas eu de contaminations pendant le cycle de production.

Variante : les parois du moule peuvent être faites en matériaux rigides type plaques de polyester, percées d'un trou de 2,5 cm de diamètre tous les 20 cm. Ces plaques seront alors laissées en place jusqu'à la fin du cycle de production. Pour éviter que le substrat se dessèche au niveau des trous, un film plastique peut recouvrir le mur pendant l'incubation et éventuellement entre les volées.

Cycle de culture

L'incubation des substrats est rapide, les pleurotes ayant des croissances très actives.

La première « volée » survient au bout de cinq semaines après la mise en incubation. Une volée dure une semaine environ. Une deuxième volée interviendra une quinzaine de jours après la fin de la première volée. D'autres volées peuvent suivre, selon la nature du substrat. Un substrat riche en éléments ligneux (sciure ou copeaux ajoutée en mélange...) sera valorisé plus longtemps qu'un substrat composé de matière végétale plus facile à décomposer par le champignon.

Une bonne fructification demande de la lumière (sinon, les pieds deviennent trop importants par rapport aux chapeaux), cette lumière étant naturelle ou artificielle si la culture se fait en bâtiment. Une aération est importante (en culture en bâtiment, le renouvellement d'air conseillé en pleine fructification est de sept fois le volume de la salle de culture). L'utilisation de souches mycéliennes adaptées à des températures élevées (30°C et plus) doit permettre d'éviter de climatiser un bâtiment de culture sous climat tropical.

Stade de cueillette

Les pleurotes sont tendres quand ils sont cueillis jeunes. Les pieds et la partie du chapeau situé au niveau de l'attache du pied deviennent assez rapidement fibreux et élastiques. Cueillir des champignons jeunes et donc assez petits n'entraîne pas nécessairement une perte de rendement. En effet, si les champignons sont cueillis plus petits, ils utiliseront moins de réserves mycéliennes, réserves qui seront dès lors disponibles pour la volée suivante... la limite sera alors la capacité d'avoir suffisamment d'humidité dans le substrat pour permettre trois volées par exemple et non deux comme c'est souvent le cas.

III.2- LA CULTURE DU SHIITAKE DANS DES SACS EN PLASTIQUE

Lentinula edodes (ou *Lentinus edodes*) est une espèce sensible à la concurrence de *Trichoderma spp.* C'est pourquoi il est aujourd'hui souvent conseillé soit de cultiver cette espèce sur bois, soit sur des substrats stérilisés (autoclave à 120 C 45 'à 1 heure ou 95-100 °C pendant 3 heures). Ces substrats stérilisés devant ensuite être inoculés en conditions également stériles, dans une hotte à flux laminaire si possible. Quand le substrat est totalement colonisé par le mycélium, il pourra être exposé à l'atmosphère ambiante sans risques d'infection ou tout au moins d'infections importantes.

Souches mycéliennes de *Lentinula edodes*. Espèces de *Lentinula*.

En climat tropical, certaines souches mycéliennes qui tolèrent des températures voisines de 30°C peuvent donner des résultats convenables. Il est cependant conseillé d'attendre que des souches de *Lentinula boryana*, qui est une espèce tropicale proche de *L. edodes*, soient disponibles.

Formules de substrat

Les formules les plus courantes sont les suivantes :

- Sciure fraîche d'arbres sans résine + 3 % de son de riz + 1% de farine de maïs + 1% de CaCO₃
- Sciure fraîche + 10 % de déchets de Maïs + 1% CaCO₃

La sciure provenant d'essences résineuses doit être compostée pendant six mois avant utilisation. D'autres matériaux végétaux peuvent être utilisés. Un objectif important est de rechercher des matériaux qui stockent beaucoup d'eau mais dont la texture permet au substrat de rester bien aéré.

Traitement à la chaleur

La stérilisation à 120°C convient mais n'est pas plus intéressante qu'une stérilisation sans pression, à 96-98 °C. Une stérilisation sans pression doit cependant être beaucoup plus longue.

Lardage

Un taux de 1 % de blanc sur sciure est suffisant. Si le lardage a été uniquement effectué sur la couche supérieure du substrat, la plupart des champignons apparaîtront à cet endroit. En revanche, si le blanc a bien été mélangé, les shiitakes pousseront de tous les côtés.

Incubation

La colonisation du substrat et la maturation du mycélium prendront en tout d'un à deux mois, en fonction du type de blanc utilisé et de sa quantité. La salle de culture doit être un peu éclairée, au moins à la fin de l'envahissement du blanc précédant la fructification. Avec les souches mycéliennes utilisées habituellement (en dehors des régions tropicales donc), la croissance mycélienne s'avère optimale pour toutes les souches à une température de salle de 25° C (sachant que la température à l'intérieur des sacs dépasse de quelques degrés la température ambiante de la salle d'incubation).

D'où l'importance, dès cette phase, de travailler avec de nouvelles variétés plus tolérantes à la chaleur ou avec une nouvelle espèce comme *Lentinula boryana*. Sinon, il faut prévoir un refroidissement des salles d'incubation, ce qui est bien sûr coûteux en énergie.

On distingue cinq phases de croissance mycélienne pour toutes les souches de shiitakes.

1- L'envahissement mycélien : le blanc fera surgir des hyphes blancs qui produiront des enzymes, lesquelles décomposeront les substances complexes comme la cellulose, la lignine et l'hémicellulose. La colonisation de la totalité du substrat marque le passage au stade suivant.

2- La formation d'une couche mycélienne : deux à quatre semaines après l'inoculation, une épaisse couche blanche mycélienne se développe à la surface du substrat. Plus le niveau de CO₂ est élevé, plus la couche s'épaissit.

3- La formation de boules mycéliennes : il s'agit de petites masses de mycélium que la plupart des souches mycéliennes forment à la surface. A un stade ultérieur, ces boules peuvent devenir des primordia, mais la plupart meurent prématurément. La formation de boules est favorisée par des variations de température (froid) ainsi que par un niveau de CO₂ élevé. En cas de formation importante de boules, une fente pratiquée dans le plastique permet de faire baisser le taux de CO₂. Un excès de densité de ces masses mycéliennes fait qu'elles peuvent facilement être contaminées par les *Trichoderma*.

4- La phase de la pigmentation : un peu d'aération sera nécessaire après la formation des boules. Le mycélium virera au brun rougeâtre. Toutefois, le substrat risque de trop sécher si on retire complètement le film plastique.

5- La phase du durcissement de la couche supérieure : le film plastique est retiré une fois que les sacs auront brunis partiellement (sur un tiers de la surface ou un peu plus). La couche supérieure durcira petit à petit. L'extérieur du substrat doit être dur et l'intérieur plus tendre et plus humide (taux d'humidité voisin de 80%). La surface dure et brunâtre a la même fonction que l'écorce d'une bille de bois : elle protège contre les contaminants et retient l'humidité dans le substrat. Le contrôle des conditions climatiques permet d'obtenir une couverture mycélienne de l'épaisseur adéquate.

Fructification

Les facteurs qui favorisent la fructification des shiitakes sur des billes de bois sont également appliqués pour stimuler les levées dans les sacs en plastique. Il s'agit des éléments suivants :

- Variation de la température (froid)
- Humidité élevée
- Trempage dans l'eau
- Chocs physiques

Si l'on retire le plastique trop tôt ou trop tard, les récoltes en pâtiront. La déformation des fructifications au cours de la première volée est un indice d'envahissement du blanc trop bref ou d'un niveau de CO₂ trop élevé pendant l'incubation. Si l'humidité est relativement basse (60 à 70%), les chapeaux des champignons risquent de se fissurer. Cette caractéristique est cependant la plus recherchée en Extrême-Orient.

Cueillette

Il faut saisir les champignons par le pied et les détacher d'un coup sec du substrat, en ne détachant pas trop de substrat. Le stade de cueillette des champignons dépend de la demande des clients bien sûr. Les champignons complètement ouverts sont beaucoup moins appréciés en Asie. Les acheteurs européens n'ont pas nécessairement cette préférence.

Il ne faut pas arroser les cicatrices laissées par l'enlèvement des champignons pendant quelques jours. Le mycélium blanc qui pousse sur la cicatrice est un signe de rétablissement. Normalement, la récolte représente 15 à 35% du poids du substrat mouillé.

Contrôle des *Trichoderma*.

Les *Trichoderma* sont donc les contaminants les plus courants. Ils peuvent se développer dès le début de la phase d'incubation mais également plus tard. L'humidité favorise la contamination. Généralement, le mycélium du shiitake formera une croûte sous la colonie de *Trichoderma*. Dans ce cas, le mieux sera de rincer les moisissures vertes d'un jet d'eau puissant après la cueillette. Toutefois, si le substrat est trop tendre (par suite d'une humidité trop élevée), le substrat risque d'être endommagé. Dans ce cas, il sera plus difficile d'obtenir une seconde volée de bonne qualité.

Mouches à champignons.

Des petites mouches de différentes familles (en Europe : Sciaridae, Diadocidiidae, Ditomyiidae, Keroplatidae, Bolitophilidae et Mycetophilidae...) sont attirées par l'odeur du mycélium. Elles risquent d'apparaître dans les lots de vieux sacs. Elles n'abîment pas les champignons mais déposent des œufs entre les lamelles et sur le mycélium. Ensuite, les larves éclosent et détruiront la récolte. La seule solution à ce problème consiste à enlever systématiquement les vieux sacs ainsi que ceux qui sont contaminés et à nettoyer les salles de culture. (Le traitement des substrats à la chaleur réduit beaucoup les sources d'origine de ces mouches).

Mites

Il est possible que des mites (*Luciaphorus perniciosus*) pénètrent dans les sacs d'incubation en passant par les bouchons et contaminent le substrat. Mais en général les sacs de plastique constituent un bon barrage contre les insectes. Ce type d'emballage du substrat convient donc parfaitement dans les pays à hauts risques d'infection.

Tableau récapitulatif des phases de culture et de leurs caractéristiques

Phase/activité	Jours	Température (°C)	Intensité lumineuse (Lux)	Humidité relative
Incubation	30-120	20-30	nulle	65-70%
Apparition des fructifications	2-4	10-20	500-1000	85-96%
Cueillette	7-14	12-18	500-1000	60-80%
Récupération	7-21	20-30	aucune	65-70%
Apparition des fructifications de la deuxième volée	2-4	10-20	500-1000	85-95%



Photos : (a) Chambre de culture de shiitake, sous une hygrométrie élevée. (b) Une « volée » réussie témoigne de la productivité de ce substrat complétement et stérilisé.

III.3- CULTURE DES AURICULAIRES SUR SUBSTRATS STERILISES

La culture en sac de plastique des auriculaires (*Auricularia spp.*) se généralise de plus en plus, en Asie, choix qui est dû à la rareté des bûches appropriées à une culture sur bois et à la facilité avec laquelle diverses variétés d'auriculaires poussent sur la sciure. On peut donc s'attendre à l'expansion de cette technologie dans un avenir proche. Il existe de nombreuses variétés d'*Auricularia*. *Auricularia polytricha*, *Auricularia fuscusuccinea* et *Auricularia auriculu-judea* étant les espèces communément cultivées. Les espèces les plus propices à la culture dans les régions tropicales à température élevée sont l'*Auricularia polytricha* et l'*A. fuscusuccinea*.

Préparation du substrat

La formule du substrat de sciure est à peu près identique à celles du pleurote et du shiitake, mais la période d'humidification (« fermentation ») est plus longue. La préparation des sacs est la même.

Exemple de formule, en Asie : pour 100 Kg secs : sciure sèche 78 kg, son de riz fin 21 Kg, CaCO₃ 1 kg. Le son de riz doit être en fragment très fin (tamisés) pour éviter de créer des sources de contamination pour les *Trichoderma*. L'eau est mélangée pour obtenir un taux d'humidité de 70 %.

Fermentation. Le substrat est disposé en forme de pyramide, recouverte d'un film plastique pour maintenir l'humidité. On compte cinq jours de fermentation en retournant le tas le troisième jour. On tamise ensuite à travers une maille de 1,5 mm pour se débarrasser des plus gros morceaux et briser les mottes qui ont pu se former pendant la fermentation.

Traitement thermique

Une fois remplis, les sacs seront stérilisés à 121° C pendant une heure et demie, ou semi stérilisés pendant 10 heures à une température juste en dessous de 100° C.

Lardage et incubation

On utilise généralement du blanc de sciure, avec un taux de lardage de 1% environ. La température conseillée pendant l'envahissement du blanc se situe entre 25 et 28° C. Le mycélium met environ quatre semaines à coloniser le substrat.

Fructification

On pratique des entailles dans les sacs pour favoriser l'apparition des champignons. La texture du substrat demeure fragile, même après sa colonisation par le mycélium. Celui-ci se casse facilement. La chambre de croissance doit être faiblement éclairée. Un sac de 1,2 Kg peut produire entre 300 et 500 g.

Autre option, les sacs fructifient aux deux extrémités : emplacement du bouchon qui est enlevé et fond du sac qui est ouvert. La température de fructification optimale pour l'*Auricularia polytricha* se situe entre 23 et 28° C. Les primordia se transforment en fructification en l'espace de sept à dix jours. Il faut détacher les fructifications du substrat par simple torsion manuelle. Il ne doit plus rester aucune trace de pied.



Photos : (a) Culture d'Auriculaires en bouteilles plastiques. Les auriculaires fructifient par l'ouverture laissée après l'enlèvement du bouchon de ouate de cellulose. (b) Séchage de la récolte. La culture en bouteille représente une variante intéressante pour éviter une consommation de sacs plastiques.

III.4- CULTURE DE LA VOLVAIRE SUR SUBSTRAT STERILISE

La préparation du substrat

Le fait de stériliser le substrat permet d'enrichir le matériaux ligno-cellulosique de base avec des produits plus riches en sucres solubles et azote.

Les matériaux secs doivent être complètement mouillés, le mieux étant de les immerger dans l'eau.

Ensuite, des meules d'au moins 1,5 m³ sont réalisées et couvertes d'un film plastique pour conserver l'eau et la chaleur.

Les meules seront retournées une à deux fois tous les deux à quatre jours afin de leur éviter une trop longue période d'anaérobie. Ajoutez les suppléments riches en sucres et azote pendant le dernier retournement de la meule. Puisque les suppléments contiennent des éléments nutritifs facilement assimilables par les micro-organismes, la température du substrat va augmenter jusqu'à un plateau, assez proche de la température souhaitée lors de la phase suivante de pasteurisation. Le compost est prêt en 6-8 jours.

La pasteurisation

A ce stade, le substrat est prêt à être pasteurisé. Le substrat est disposé en couches de 10 à 15 cm d'épaisseur dans des étagères à claies empilables (environ 50 kg de substrat humide par m², soit environ 15 kg de substrat sec au m²). La vapeur est soufflée dans un local de jusqu'à ce que le substrat ait atteint une température de 60 °C. Le débit de vapeur est réglé pour maintenir cette température du substrat pendant trois à quatre heures. (On trouvera dans Agrodok [9] le schéma d'un générateur de vapeur artisanal).

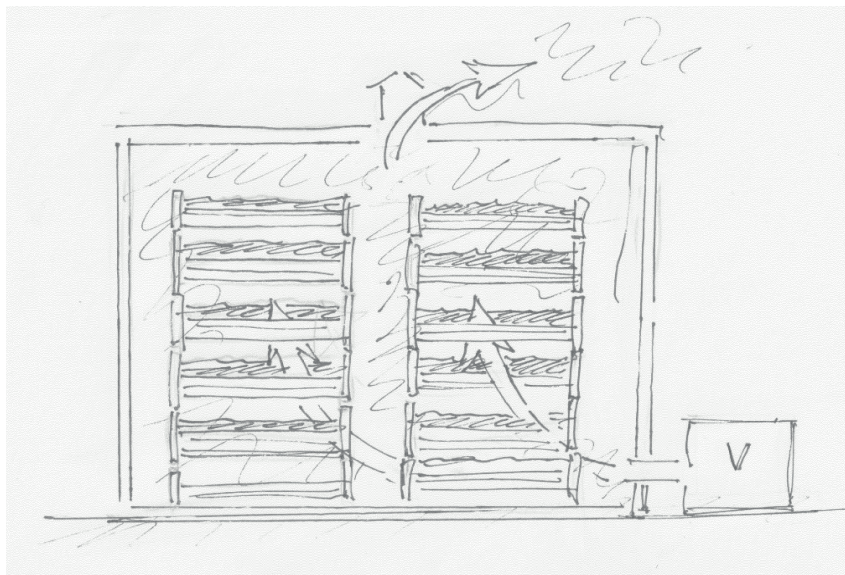


Schéma : Principe d'une pasteurisation de substrats en étagères à claies et qui peuvent être empilées en colonnes. Les mêmes caisses peuvent servir ensuite pour les étapes suivantes, pour une culture « en couches » (comme pour la culture du champignon de Paris). Des entrées d'air réglables sur les côtés du local permettent de régler la température. V désigne un générateur de vapeur.

Développement des Actinomycètes

Pendant la période comprise entre la pasteurisation et l'ensemencement, des petites taches blanches de moisissures dues aux Actinomycètes peuvent apparaître dans le compost. Ces moisissures n'empêchent pas le développement du mycélium des champignons.

Lardage (ensemencement)

Le lardage a lieu dès que la température est descendue sous 37 °C. Le débit du lardage diffère selon les producteurs, en fonction de l'ampleur de l'effort à fournir. Généralement on utilise 1 %, avec des écarts de 0,5 % à 5 %. La Volvaire est très prolifique de sorte que 1 % suffit en général.

Il existe plusieurs méthodes de lardage et plusieurs formes de blanc. Certains producteurs utilisent une courte fourche pour mêler le blanc uniformément au substrat, tandis que d'autres font des trous dans le substrat avec un plantoir en bois à 12-15 cm d'intervalle et à 2-2,5 cm de profondeur

Incubation

Il faut couvrir les litières d'un film plastique pour maintenir une température élevée (35 °C) mais sans excéder 40 °C. La Volvaire colonisera le substrat en à peine deux jours. Le plastique peut-être légèrement écarté au troisième jour et enlevé au bout de six jours pour permettre une bonne aération.

La lumière

La lumière est nécessaire à la fructification. La lumière naturelle peut être remplacée éventuellement par une lumière blanche. Un peu de lumière suffit : 15 minutes de lumière naturelle ou un cycle jour/nuit de 500 lux sont suffisants.

Rendement en récolte

La cueillette a lieu deux fois par jour, sur une période de **2-3 semaines**. La production annuelle d'une champignonnière moyenne d'une superficie de **100 m²** s'élève à environ **200 kg**. Le niveau de production est acceptable lorsque le rendement (poids du champignon frais) atteint 25 % ou plus du poids du compost sec. Ce rendement est assez faible comparé à celui obtenu avec d'autres champignons cultivés, comme les Pleurotes par exemple. Cependant le cycle de production est rapide et permet de rentabiliser les équipements et locaux.

Traitement en fin de récolte.

A la fin de la période de récolte, un nouveau traitement de pasteurisation est intéressant pour éliminer les organismes nuisibles en prévision du cycle de culture suivant et éventuellement pour fournir un compost également sans organismes nuisibles.

III.5- CULTURE DE LA VOLVAIRE SUR SUBSTRATS NON STERILES

La culture de la volvaire peut se pratiquer sur des substrats non stériles et sur différents sous-produits de l'agriculture.

Le procédé de « traitement du substrat » est très simple puisque les producteurs ont l'habitude d'immerger les matières végétales dans l'eau pendant une nuit. Nous préconiserons cependant d'augmenter le temps de trempage de façon à mieux débarrasser les matériaux des champignons compétiteurs et de favoriser un développement de *Bacillus subtilis*, comme il a été expliqué précédemment. Sous climat tropical, un trempage de deux jours peut être conseillé.

Les matières végétales utilisables sont diverses : paille de riz, bagasse, feuilles de bananier...

La culture se fait habituellement en réalisant des lits de matière végétale de 15 à 20 cm d'épaisseur en saupoudrant du blanc entre les différentes couches. Ces couches font habituellement de 60 à 80 cm de large, de longueur indifférente et de quelques couches superposées (5 à 7 en général). Un film plastique est disposé sur les « meules » de substrat de façon à conserver l'humidité pendant l'incubation. Si le film plastique est transparent, il y aura assez de lumière au moment de l'initiation fructifère et de la fructification.

Le cycle est très rapide, les champignons étant récoltés après dix à quinze jours.



Photos : culture de la Volvaire sur des petites bottes de paille de riz installées en « lits » superposés. Les « meules » sont ici installées sur des bambous surélevés par rapport au sol (aération, propreté des cultures, cueillette facilitée). Un film plastique est présent durant l'incubation et début de fructification.



Photos : culture de la Volvaire en Thaïlande sur des feuilles et pseudo-tiges de bananier simplement immergées dans l'eau durant une nuit (cf. le texte).

CONCLUSION

La culture de champignons comestibles permet de produire des aliments précieux en valorisant des sous-produits agricoles disponibles souvent en grandes quantités. Cette « valorisation » consiste en deux types de produits : des champignons d'une part bien sûr mais également des composts résiduels qui ont une bonne valeur agronomique. La « myciculture » est ainsi une illustration de la notion d' « économie circulaire » en agriculture.

Cela n'est vrai cependant que si, dans nos territoires caribéens, nous adaptons toutes les phases du cycle de production en fonction de nos ressources locales :

- Il est nécessaire de produire localement nos souches mycéliennes et nos « blancs » qui servent à ensemercer les substrats.
- Les matériaux végétaux locaux disponibles peuvent servir à élaborer des substrats bien adaptés aux différents champignons que nous souhaitons cultiver localement, sans utilisation d'« intrants » importés.
- Les dépenses énergétiques peuvent être très limitées en étudiant des méthodes de « traitement » des substrats à l'eau froide (eau froide + chaud) ou des traitements à la chaleur très peu demandeurs d'énergie. Un compostage avant traitement permet une montée naturelle de la température du substrat. L'énergie solaire permet de chauffer l'eau qui servira à certains traitements à l'eau chaude...
- C'est enfin aujourd'hui un objectif essentiel que de limiter l'usage des films plastiques dans le cadre de cette production. D'autres solutions sont possibles.

Cet ouvrage ne vise pas à donner des « recettes toutes faites pour savoir cultiver aussitôt des champignons » mais bien plutôt à donner des informations de base qui permettent de comprendre la biologie des champignons, de donner envie d'expérimenter et de participer aux séances de travaux collectifs qui seront organisés dans le cadre du programme MYCONOVA.

En effet, si ces cultures peuvent sembler simples, elles demandent de développer ses connaissances, son sens de l'observation et son expérience dans un premier temps. Ce sont les trois éléments qui permettront au producteur de champignons de savoir concevoir le système de culture qui lui conviendra et qui conviendra au contexte environnemental, agricole et économique local. Ce sont également les éléments qui lui permettront de s'adapter aux évolutions qui ne peuvent être totalement contrôlées dans ce type de production : les caractéristiques changeantes des matériaux végétaux utilisés pour les substrats, l'évolution des souches mycéliennes utilisées pour fabriquer les « blancs », la microflore complexe des substrats, les conditions climatiques lors de la phase de fructification, etc.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Voiry H., Blanchard P., Diaz E., Gruhn G., Rose O., Courtecuisse R., Moreau P.A. Protocole d'inventaire mycologique en forêt tropicale. Les dossiers forestiers. N° 29 - 2016
- [2] Courtecuisse R. & Welti S. – 2013 - Liste préliminaire des Fungi recensés dans les îles françaises des Petites Antilles : Martinique, Guadeloupe et dépendances. II – Basidiomycètes non lamellés (espèces gastéroïdes, rouilles et charbons exclus) – Documents Mycologiques Tome XXXV – p47-173.
- [3] Courtecuisse R. - 2006 – Liste préliminaire des Fungi recensés dans les îles françaises des Petites Antilles : Martinique, Guadeloupe et dépendances. I – Basidiomycètes lamellés et affines (Agaricomycetidae s.l.) – Documents Mycologiques Tome XXXIV – p81-140.
- [4] Heilmann-Clausen J., Barron E.S., Boddy L., Dahlberg A., Griffith G.W., Norden J., Ovaskainen O., Perini C., Senn-Irlet B., & Halme P.- 2014 – A fungal perspective on Conservation Biology. Conservation Biology, Volume 00, N° 0,1-8.
- [5] Bâ A., Duponnois R., Diabaté M., Dreyfus B. *Les champignons ectomycorhiziens des arbres forestiers en Afrique de l'Ouest. Méthode d'étude, diversité, écologie, utilisation en foresterie et comestibilité.* IRD Éditions, 2011
- [6] Avril R. 2009. *Analyse de la diversité des champignons ectomycorhiziens et des ectomycorhizes du raisinier bord de mer (Coccoloba uvifera l.) le long d'un gradient de salinité en forêt littorale.* Université des Antilles et de la Guyane-Master 2
- [7] Brisse A., Roy M. Utilisation des champignons en Amazonie Parc Amazonien de Guyane. Laboratoire Evolution et Diversité Biologique - Avril 2020 (en cours de publication)
- [8] Oei P., Van Nieuwenhijzen B. La culture des champignons à petite échelle. Agrodok 40. 2005.
- [9] Van Nieuwenhijzen B. La culture des champignons à petite échelle – 2. Agrodok 41. 2007.

CHAMPIGNONS COMESTIBLES DANS LES CARAÏBES

L'ÉCOLOGIE DES CHAMPIGNONS

CHAMPIGNONS COMESTIBLES : PERSPECTIVES ET TECHNIQUES DE PRODUCTION

Un ouvrage réalisé dans le cadre du programme de coopération européenne Myconova.

Cet ouvrage a été réalisé dans le cadre du programme MYCONOVA qui vise en particulier à doter les territoires caribéens des ressources nécessaires pour développer les productions locales de champignons comestibles.

Les champignons comestibles représentent un enjeu alimentaire, nutritionnel et gastronomique. Ils représentent également une opportunité de diversification agricole et agro-alimentaire. Leur production valorise des sous-produits agricoles souvent abondants (bagasse, feuilles de bananier, résidus verts de la culture du caféier...), en laissant des composts résiduels qui sont de bons amendements pour les sols.

Ce document présente en première partie l'écologie des champignons en général et celle des champignons comestibles en particulier. Il explique ensuite les étapes et techniques classiques de la culture des champignons en général, avant d'illustrer celles-ci par la présentation de quelques espèces importantes.

Ce document est destiné à tous les publics. Les producteurs actuels de champignons ou les personnes qui souhaitent le devenir trouveront en particulier des éléments d'explication importants qui pourront guider leurs choix techniques à venir.

Le programme MYCONOVA prévoit parallèlement la mise en œuvre de formations pratiques dans ce domaine spécifique de l'agriculture.

Une deuxième publication, rédigée dans le cadre du même programme MYCONOVA - « Champignons comestibles dans les Caraïbes : nutrition et gastronomie » - explique l'intérêt alimentaire des champignons et des données de base pour apprendre à les cuisiner.

Interreg
Caraïbes
Fonds européen de développement régional



l'Europe
s'engage
avec les Antilles-Guyane
dans la Grande Caraïbe



Partenariat : Chef de file - Parc Naturel Régional de la Martinique / Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles / Institut Mycologique Européen / Exploitation Agricole Jacky Pascault / Domaine Thieubert Rhums Neisson / Centre d'Etude de Biotechnologie Industriel - Cuba