

**OPTIMISATION DU PROCÉDÉ DE CULTURE DU  
SHIITAKE SUR BILLOT EN FORÊT BORÉALE – PHASE I**

Projet PART2010A014

RAPPORT D'ÉTAPE

Présenté au

PROGRAMME D'AIDE À LA RECHERCHE  
ET AU TRANSFERT (PART) – VOLET TECHNOLOGIQUE

Par :



Pascal Giguère, ing. f.



Oscar Gagné

**MARS 2011**



## **NOTE AU LECTEUR**

### **AUTEURS**

Monsieur Pascal Giguère, ing.f., du Centre d'expérimentation et de développement en forêt boréale (CEDFOB), a réalisé l'essentiel de ce document.

Les traitements statistiques ont été réalisés sous la supervision de M. Oscar Gagné, professeur de biostatistiques au Cégep de Baie-Comeau.

### **RÉVISION**

Robert Beaulieu, ing. f.  
Bernard Jobin, ing. f.

### **DIFFUSION**

CEDFOB  
537, boulevard Blanche  
Baie-Comeau (Québec) G5C 2B2  
Canada  
Téléphone : (418) 295-2240  
Télécopieur : (418) 589-5634  
[cedfob@cedfob.qc.ca](mailto:cedfob@cedfob.qc.ca)

Une version électronique de ce rapport se trouve sur le site Internet du CEDFOB à l'adresse suivante :

[www.cedfob.qc.ca](http://www.cedfob.qc.ca)

Ce projet a été réalisé grâce à l'aide financière accordée par le Programme d'aide à la recherche et au transfert (PART) – Volet technologique, du ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport et grâce au Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies (FQRNT).

Centre d'expérimentation et de développement en forêt boréale, 2011

ISBN 978-2-923516-13-4  
Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2011



## RÉSUMÉ

Quelques essais réalisés au Québec montrent qu'il est possible de valoriser des essences d'arbres à faible valeur commerciale en les utilisant comme substrat pour la production de champignons comestibles sur billot, comme le shiitake (*Lentinus edodes*). Or, très peu de cas de culture du shiitake sur billot en forêt boréale ont été documentés et il s'agit d'un manque d'information important pour ceux qui voudraient tenter une production en zone boréale. Le Centre d'expérimentation et de développement en forêt boréale (CEDFOB) a entrepris, en collaboration avec la Coopérative de solidarité Gaïa et le Cégep de Baie-Comeau, un projet visant à faire l'essai de différentes méthodes de culture sur billot, dans le but de déterminer celles permettant la meilleure production. Durant la première phase du projet, un dispositif expérimental a été mis en place afin de mesurer l'effet de quatre facteurs sur la croissance du mycélium après une saison d'incubation : 1) l'espèce d'arbre utilisée, 2) l'emplacement (en plein champ ou sous couvert forestier), 3) l'irrigation des billots, et 4) le recouvrement des billots à l'aide d'une bâche de plastique.

La croissance du mycélium à l'intérieur des billots a été estimée en mesurant la superficie de bois colonisée par le mycélium à chaque extrémité des billots. Des essais ont également été effectués à savoir s'il était possible de mesurer la dimension fractale du mycélium visible aux extrémités des billots. Les résultats indiquent que le bouleau à papier (*Betula papyrifera* [Marshall]) présente un meilleur substrat de croissance pour le mycélium de shiitake que les autres essences testées. Nous avons également observé une plus grande croissance du mycélium de shiitake à l'intérieur des billots situés en plein champ que ceux situés sous couvert forestier, notamment en raison d'une différence de température importante entre les deux milieux. L'effet de l'irrigation et du recouvrement par une bâche semble présent uniquement lorsqu'ils sont combinés à certains traitements.

Ce projet devrait se poursuivre au moins durant les deux prochaines années afin d'établir le lien entre la croissance du mycélium et la production de champignons, et de connaître les traitements qui favorisent la production de champignons.



## TABLES DES MATIÈRES

Liste des tableaux.....	9
Liste des figures.....	11
1. Introduction.....	13
1.1 Mise en contexte.....	13
1.2 Objectifs du projet.....	14
1.3 Sujets abordés dans ce rapport.....	14
2. État actuel des connaissances.....	15
2.1 Présentation générale du shiitake.....	15
2.2 Effet du substrat de croissance sur la production de shiitake.....	15
2.3 En quoi consiste la culture sur billot ?.....	15
2.4 Survol de quelques essais et expérimentations de culture sur billot au Québec.....	17
2.5 Méthodes de mesure de la croissance du shiitake.....	17
3. Méthode expérimentale.....	19
3.1 Hypothèses expérimentales.....	19
3.2 Plan expérimental.....	19
3.3 Site d'expérimentation.....	20
3.4 Organisation, logistique, et mise en place du dispositif expérimental.....	22
3.4.1 Dégagement manuel des sites.....	22
3.4.2 Construction de supports.....	22
3.4.3 Installation des bâches.....	23
3.4.5 Installation du système d'irrigation.....	23
3.4.6 Installation des thermomètres et hygromètres.....	24
3.4.7 Obtention des billots.....	24
3.4.8 Obtention de l'inoculum.....	24
3.4.9 Inoculation des billots.....	25
3.4.10 Mise en place des billots dans le dispositif expérimental.....	26
3.5 Suivi expérimental et prise de données sur le terrain.....	27
3.5.1 Caractérisation des billots.....	27
3.5.2 Relevé quotidien des températures et taux d'humidités maximum et minimum..	28
3.5.3 Contrôle de la teneur en eau des billots et irrigation.....	28
3.6 Quantification du mycélium.....	28
3.6.1 Développement de la méthode.....	28

3.6.2	Prélèvement des rondelles.....	30
3.6.3	Prise de photos des rondelles .....	31
3.6.4	Compilation des données.....	31
3.6.5	Analyse statistique .....	32
3.6.6	Détermination de la dimension fractale des marques laissées par le mycélium..	32
4.	Résultats et discussions.....	33
4.1	Températures quotidiennes observées.....	33
4.1.1	Données météorologiques d'Environnement Canada.....	33
4.1.2	Données provenant des sondes thermométriques et hygrométriques sur le site expérimental .....	33
4.2	Taux d'humidité quotidiens observés.....	35
4.3	Précipitations.....	36
4.4	Dimension des billots.....	36
4.5	Teneur en eau des billots et irrigation .....	37
4.6	Effet des différents traitements sur la colonisation du mycélium .....	39
4.6.1	Données manquantes .....	39
4.6.2	Facteur <i>espèce</i> .....	40
4.6.3	Facteur <i>environnement</i> .....	41
4.6.4	Facteur <i>recouvrement</i> .....	42
4.6.5	Facteur <i>irrigation</i> .....	44
4.7	Analyse fractale .....	45
4.8	Discussion générale et recommandations .....	46
4.8.1	Portée des résultats .....	47
4.8.2	Sources de variabilité non contrôlées.....	47
4.8.3	Recommandations .....	48
5.	Retombées .....	51
5.1	Sur la Coopérative de Solidarité Gaïa.....	51
5.2	Sur l'enseignement et la formation .....	51
5.3	Sur le CEDFOB .....	51
5.4	Sur le développement du milieu socio-économique.....	51
6.	Conclusion .....	53
	Références .....	55
ANNEXE 1	Tableaux des analyses de variance	
ANNEXE 2	Comparaisons par contrastes qualitatifs	

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Facteurs ciblés, hypothèses et traitements appliqués .....	19
Tableau 2.	Normales climatiques compilées par la station météorologique de Baie-Comeau; données compilées de 1971 à 2000 .....	21
Tableau 3.	Températures minimales et maximales quotidiennes observées dans les différents milieux de culture .....	34
Tableau 4.	Taux d'humidité maximum et minimum quotidiens observés dans les différents milieux de culture .....	35
Tableau 5.	Fréquence d'arrosage des différentes unités expérimentales soumises au traitement d'irrigation .....	38
Tableau 6.	Nombre d'observations aux deux extrémités des billots, réparties selon l'espèce .....	40
Tableau 7.	Dimensions fractales des formes irrégulières causées par le mycélium de shiitake à l'extrémité des billots.....	46



## LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Disposition des billots pour la culture du shiitake.....	16
Figure 2.	Formes irrégulières typiques visibles sur l'extrémité de billots inoculés au shiitake.....	18
Figure 3.	Plan expérimental de l'étude composé de 12 parcelles principales, 24 sous-parcelles et 96 sous-sous-parcelles.....	20
Figure 4.	Emplacement géographique de la terre agroforestière de la Coopérative Gaia .....	21
Figure 5.	Disposition des aménagements sur la terre de la Coopérative Gaïa.....	22
Figure 6.	Douze des 24 sous-parcelles expérimentales ont été recouvertes de bâches bleues en plastique.....	23
Figure 7.	Système d'irrigation muni de brumisateurs a été installé dans 6 des 12 parcelles principales.....	23
Figure 8.	Inoculum de shiitake: un mélange de bran de scie, de millet et de sucre colonisé par le mycélium du champignon .....	25
Figure 9.	Patron de perçage utilisé pour chacun des billots.....	25
Figure 10.	Les différentes étapes de l'inoculation des billots .....	26
Figure 11.	Vue d'ensemble du dispositif en champ (gauche) et sous couvert forestier (droite).....	27
Figure 12.	Les extrémités des sections sont bornées par des « billots tampons » non inoculés.....	27
Figure 13.	Les différentes étapes de traitement d'image faisant ressortir les zones de bois colonisées par le mycélium; .....	29
Figure 14.	Les deux côtés d'une même rondelle affichent sensiblement les mêmes formes de mycélium .....	29
Figure 15.	Exemple de tracé à main levée des zones de bois colonisées par le mycélium.....	30
Figure 16.	Prélèvement des rondelles au site expérimental.....	30
Figure 17.	Prise de photo des rondelles .....	31
Figure 18.	Comparaison des températures moyennes mensuelles de l'été 2010 à Baie-Comeau avec les normales climatiques.....	33

Figure 19.	Précipitations de pluie (mm) pour les mois de juin à octobre 2010 et comparaison avec les normales historiques. ....	36
Figure 20.	Fréquence des diamètres (a) et des longueurs (b) mesurées sur les billots expérimentaux.....	37
Figure 21.	Pourcentage des billots en deçà du seuil de 32 % de teneur en eau, à chaque semaine .....	39
Figure 22.	Superficie de bois colonisé par le mycélium de shiitake selon l'espèce .....	41
Figure 23.	Superficie de bois colonisé par le mycélium selon l'environnement et l'espèce .....	42
Figure 24.	Superficie de bois colonisé par le mycélium selon le recouvrement et l'espèce .....	43
Figure 25.	Superficie de bois colonisé par le mycélium selon l'irrigation, l'environnement et l'espèce .....	44

## 1. INTRODUCTION

### 1.1 Mise en contexte

Certaines des principales espèces d'arbres feuillus de la forêt boréale sont très peu mises en valeur lors de la récolte forestière. Par exemple, le bouleau à papier et le peuplier faux-tremble, même s'ils présentent un bon potentiel pour la transformation en produits de deuxième et troisième transformation, ne trouvent pas preneur dans certaines régions, faute d'usines de transformation à proximité. Très souvent, les entreprises bénéficiaires de contrats d'aménagement et d'approvisionnement forestier laissent ces arbres sur pied en forêt. À l'occasion, des particuliers ou des entreprises privées récoltent ce bois pour le transformer en bois de chauffage, un produit à faible valeur commerciale. La situation est semblable pour plusieurs propriétaires de lots forestiers en zone boréale qui accordent souvent le même sort à ces essences. Or, il s'avère que certains usages plus lucratifs pourraient être fait de ces d'arbres, et ce, même en l'absence d'usine de transformation à proximité. En effet, quelques essais réalisés au Québec montrent qu'il est possible d'utiliser des billots d'arbres à faible valeur commerciale comme substrat pour la production de champignons comestibles. Parmi eux, le shiitake (*Lentinus edodes*), montre un potentiel commercial très intéressant pour certains producteurs forestiers, agricoles ou agroforestiers du Québec.

Même si la littérature populaire abonde sur les méthodes de culture sur billot du shiitake, très peu de cas documentés ont été réalisés en forêt boréale, avec le climat qui lui est propre et les espèces d'arbres qui y sont disponibles. Il s'agit d'un manque d'information important pour ceux qui voudraient tenter une production en zone boréale. En effet, il faut savoir que la productivité d'une culture de shiitake sur billot est intimement liée aux conditions climatiques ainsi qu'aux caractéristiques du substrat de croissance (Cardoso Queiroz et al., 2004), et la portée des études sur le sujet se limite généralement à la région climatique où elle a été réalisée.

La Coopérative de solidarité Gaïa, qui opère des activités agricoles et agroforestières dans la Municipalité de Pointe-aux-Outardes en Manicouagan, est un bel exemple d'entreprise à l'affût de techniques adaptées pour instaurer une production rentable de shiitake en zone boréale. En 2008, la coopérative commençait sa production en inoculant 150 billots. D'ici trois ans, l'entreprise vise une production annuelle de 1 600 à 2 000 kg de shiitake frais par an, pour un total d'environ 1 000 billots en production. Il est à noter que l'entreprise renonce à importer d'autres régions des billots de chêne, d'érable à sucre ou de bouleau jaune, même si ces espèces sont réputées pour favoriser de meilleures récoltes de shiitake. La Coopérative tient plutôt à valoriser les essences typiques de la forêt boréale, disponibles sur sa terre et dans les environs. Pour atteindre ses objectifs, la coopérative de solidarité Gaïa vise à développer de nouvelles méthodes et à optimiser son procédé de culture de manière à ce qu'il soit adapté à son environnement.

## **1.2 Objectifs du projet**

Le Centre d'expérimentation et de développement en forêt boréale (CEDFOB) a entrepris, en collaboration avec la Coopérative de solidarité Gaïa, un projet visant à faire l'essai de différentes méthodes documentées de culture sur billot, en plus de méthodes créatives et innovantes, dans le but de déterminer celles permettant la production la plus rentable possible.

La première phase de ce projet de trois ans s'est déroulée de mai 2010 à mars 2011. Celle-ci visait principalement à inoculer plusieurs billots et à mesurer, après une année d'incubation, la progression du mycélium à l'intérieur des billots, en fonction de différents traitements expérimentaux. Plus précisément, la phase I avait pour objectif de :

- faire l'essai de culture de shiitake sur billot en utilisant des espèces d'arbre à faible valeur commerciale comme le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* [Michx]), le bouleau à papier (*Betula papyrifera* [Marshall]), le sorbier d'Amérique (*Sorbus americana* [Marshall]) et le cerisier de Pennsylvanie (*Prunus pensylvanica* [Linné]);
- créer différents milieux de culture pour les billots visant à contrôler la température et l'humidité relative ambiantes;
- relever quotidiennement les températures et taux d'humidités dans chacun des milieux de culture testés;
- développer une méthode pour quantifier la croissance du mycélium à l'intérieur des billots et mesurer ainsi l'effet des traitements appliqués.

## **1.3 Sujets abordés dans ce rapport**

Le présent rapport fait d'abord un survol de l'état actuel des connaissances concernant la culture de shiitake sur billot, et cible certains enjeux auxquels seraient confrontés d'éventuels producteurs en forêt boréale. Les sections ultérieures exposent en détail la méthodologie expérimentale déployée dans la phase I de la présente étude, les résultats obtenus et les conclusions pouvant en être tirées.

## **2. ÉTAT ACTUEL DES CONNAISSANCES**

### **2.1 Présentation générale du shiitake**

Le shiitake est un champignon poussant naturellement dans les forêts d'Asie. Plusieurs sources populaires affirment qu'il aurait commencé à être cultivé à grande échelle par les Japonais, dès le XI<sup>e</sup> siècle. Ce n'est que vers les années 1970 qu'il a fait son entrée en Amérique du Nord, alors que les États-Unis ont commencé à le cultiver. Aujourd'hui, la production mondiale de shiitake compte pour 17 % de la production de champignon totale, et elle arrive au deuxième rang après le champignon de Paris (*agaricus bisporus*) (Chang et Miles, 2004). Une petite partie de cette production se fait à partir de billot de bois, principalement de diverses espèces de chêne (Harris, 1986), mais la plus grande partie se fait à partir de substrats artificiels, comme du bran de scie et autres résidus ligneux provenant de l'agriculture (Grodsinskaya et al. 2003), auxquels on ajoute des additifs à base d'amidon de blé, de millet, d'orge ou maïs (Yvan et al. 2003). En plus d'être une excellente source de cuivre, sélénium, acide pantothénique et vitamine D (Institut des nutraceutiques et des aliments fonctionnels, 2007), le shiitake possède des vertus médicinales. En effet, des études ont rapporté que le shiitake stimule le système immunitaire, abaisse le cholestérol et aurait certains effets antitumoraux (Mizuno, 1995; Wasser, 2002).

### **2.2 Effet du substrat de croissance sur la production de shiitake**

La production de shiitake à partir de substrats artificiels a contribué à l'essor du shiitake sur le marché mondial ces dernières années, en permettant de produire des champignons beaucoup plus rapidement que sur des billots. Toutefois, le champignon produit sur substrat artificiel n'équivaut pas à celui produit à partir de billot de bois. En effet, la littérature rapporte que chaque type de substrat offre des rendements qui leur sont propres en termes de quantité (Asrafuzzaman et al, 2009) et de qualités nutritives du champignon (Zhanxi Lin, 2005). Par exemple, les shiitakes produits à partir de billots contiennent beaucoup plus de polysaccharides tel le *lentinan*, une substance à laquelle on attribue les propriétés anti-tumorales du shiitake (Kawakami et al., 2004, Brauer et al., 2002). Ainsi, plusieurs producteurs misent sur la valeur ajoutée d'un champignon produit à l'aide des méthodes traditionnelles plutôt qu'avec les techniques commerciales à grande échelle développées récemment. Pour la Coopérative de solidarité Gaia, par exemple, produire du shiitake en utilisant un substrat naturel est une manière de se démarquer de la concurrence, permettant de produire un champignon de qualité supérieure à ceux trouvés en épicerie. En plus de faciliter l'obtention de la certification biologique, cette manière de faire pourrait même mener à l'obtention d'un label particulier pour le shiitake produit sur la Côte-Nord, comme le souhaite l'entreprise.

### **2.3 En quoi consiste la culture sur billot ?**

Plusieurs méthodes de culture sur billot et leurs variantes sont décrites dans la littérature scientifique et populaire. En général, il s'agit de choisir des billes de bois sain et

fraichement coupé, d'une longueur d'environ 1 mètre, et de percer une multitude de trous tout autour du rondin pour y insérer une matière déjà colonisée par le mycélium du champignon, la plupart du temps un mélange à base de bran de scie ou une douille de bois. (Conférence régionale des élus de la Gaspésie-Iles de La Madeleine, 2008). Cette étape correspond à l'inoculation des billots. Par la suite, lorsqu'ils sont laissés dans un endroit chaud, humide et ombragé (généralement un sous-bois), les billots seront progressivement colonisés par le mycélium et il faudra laisser incuber jusqu'à deux ans avant d'obtenir une première récolte. Durant cette période, il est recommandé d'empiler les billots de manière à maintenir un taux d'humidité de l'air ambiant autour des billots de l'ordre de 80 à 85 %. Plusieurs méthodes sont suggérées (Figure 1) et celle-ci peut varier d'un producteur à un autre (*Alabama cooperative extention system*). Pour une croissance optimale du mycélium, les billots doivent être exposés à une température de 22 à 26 °C, quoique la température optimale varie d'une souche de shiitake à l'autre (Tokimoto, K. 2005). Après une ou deux années d'incubation, les billots se mettront à produire des champignons pour une période allant de 4 à 6 ans ; le maximum de la production se situant généralement lors de la troisième année (Université de Moncton, 2008). Durant la phase de production, les producteurs optent généralement pour l'empilement en « A » (Figure 1) afin de faciliter la récolte (Tokimoto, K. 2005).



Extrait de : Tokimoto, K. 2005

**Figure 1. Disposition des billots pour la culture du shiitake**

- a), b) et c) types d'empilements préconisés durant la phase d'incubation;
- d) empilement en « A » généralement utilisé durant les années productives.

Il est nécessaire d'entretenir les billots tout au long de leur vie utile. Par exemple, lors de chaudes journées estivales, il peut s'avérer utile d'arroser les billes de bois, afin de garder un taux d'humidité de l'ordre de 35 à 55 % à l'intérieur du bois en tout temps (*North Carolina cooperative extension service*). De plus, certains ouvrages mentionnent qu'il est possible d'induire la production de champignons en faisant tremper les billes de bois dans l'eau pour une période de 12 h. La période de l'année où le trempage est recommandé change d'une source à l'autre, et semble dépendre du stade de développement du mycélium, lui-même dépendant d'une multitude de facteurs (conditions climatiques, type de substrat, etc.).

Considérant la vaste gamme de techniques suggérées dans la littérature, il est recommandé de faire des expérimentations pour savoir quelle technique fonctionne le mieux dans sa région (*Alabama cooperative extension system*).

#### **2.4 Survol de quelques essais et expérimentations de culture sur billot au Québec**

Selon le *Portrait de l'agroforesterie au Québec* (Agriculture et agroalimentaire Canada, 2007), la culture du shiitake sur billot à des fins commerciales au Québec n'est qu'à ses balbutiements; les activités ne se limiteraient qu'à celles de *Mycoflor*, une entreprise localisée en Estrie. Le Centre collégial de transfert technologique *Biopterre* a fait quant à lui quelques essais de culture du shiitake sur billot dans le Bas-St-Laurent, sans toutefois prévoir à court terme la divulgation publique de résultats<sup>1</sup>. Au Nouveau-Brunswick, l'Université de Moncton fait des essais de culture sur billot de divers champignons dans sa forêt expérimentale, près de la ville d'Edmundston, et a fait état de ses observations dans un guide technique (Université de Moncton, 2008). Mis à part la suggestion de techniques courantes issues de la littérature, peu de conclusions issues d'observations sur le terrain sont tirées dans ce guide. On peut cependant y lire que les essences d'arbres ayant montré à présent le meilleur potentiel de production au cours de leurs expérimentations sont l'érable à sucre, l'érable rouge, le hêtre à grandes feuilles et le peuplier faux-tremble.

Ces trois cas, même s'ils représentent une source d'information potentielle pour d'éventuels producteurs, réfèrent à des essais réalisés dans la zone de la forêt mélangée ou feuillue, là où la variété d'arbres disponibles et le climat diffèrent nettement de la forêt boréale. Il n'existe à notre connaissance aucune source d'information s'appliquant directement à la forêt boréale québécoise. L'expérimentation en forêt boréale apparaît donc comme un besoin véritable pour les producteurs et intéressés à la culture de shiitake sur billot.

#### **2.5 Méthodes de mesure de la croissance du shiitake**

La manière la plus simple d'évaluer la productivité d'un procédé de culture est sans doute de mesurer la masse de champignons produits par unité de production à l'intérieur d'une année. Toutefois, si l'on désire obtenir des résultats au bout de la première saison

---

<sup>1</sup> Communication personnelle avec Maxime Tardif, chargé de projet chez *Biopterre*

suivant l'inoculation, il importe de quantifier le taux de croissance du shiitake d'une autre manière, puisqu'il faut normalement attendre jusqu'à deux ans avant la première récolte de champignon. Ainsi, il pourrait être intéressant de développer une méthode visant à quantifier la croissance du mycélium à l'intérieur des billots, présent dès les premières semaines suivant l'inoculation. Ceci fournirait sans doute un bon indice de la production de champignon future des billots.

Les études sur la culture du shiitake que nous avons consultées ne s'attardent pas à la quantification du mycélium du shiitake croissant sur un billot. Par contre, pour une culture de champignon dans un plat de pétri en laboratoire, la méthode la plus répandue pour quantifier la croissance d'un mycélium est celle du *grid-line intersect* (Tennant 1975), qui consiste à poser une grille quadrillée sur un plat de pétri et à faire le décompte de toutes les intersections des hyphes<sup>2</sup> avec la grille (Christine Lethellieux-Juge, 2008). Une autre approche ayant été développée récemment pour évaluer la croissance des hyphes est basée sur la mesure des dimensions fractales<sup>3</sup>, à partir d'un logiciel d'analyse fractale et de photos numériques. Cette technique a été appliquée à des souches de champignons cultivées *in vitro* et a permis de quantifier précisément les effets de traitements expérimentaux. Il pourrait être intéressant d'essayer cette méthode à partir des formes irrégulières laissées par le mycélium de shiitake sur les extrémités des billots inoculés (Figure 2).



**Figure 2. Formes irrégulières typiques visibles sur l'extrémité de billots inoculés au shiitake**

---

<sup>2</sup> Un hyphe est un filament plus ou moins ramifié du mycélium

<sup>3</sup> La dimension fractale est en quelque sorte une mesure de l'irrégularité du contour d'une forme ou d'une ligne. Sa valeur se situe entre 1 et 2 (Tricot 1999).

### 3. MÉTHODE EXPÉRIMENTALE

#### 3.1 Hypothèses expérimentales

Quatre facteurs ont été ciblés comme ayant un effet potentiel sur le développement du mycélium, et conséquemment, sur la production de shiitake. Le Tableau 1 expose les hypothèses émises pour chacun des facteurs, ainsi que les différents traitements qui ont été testés afin de valider ces hypothèses.

Facteurs	Hypothèses	Niveaux de traitements testés
Espèce	<i>Le développement du mycélium et la production de champignon peuvent varier selon l'espèce d'arbre utilisée</i>	1. Culture sur peuplier faux-tremble 2. Culture sur bouleau à papier 3. Culture sur sorbier d'Amérique 4. Culture sur cerisier de Pennsylvanie
Environnement	<i>Le couvert forestier offrira un environnement plus humide et moins exposé aux vents, ce qui aidera à maintenir la teneur en eau des billots et favorisera le développement du mycélium et la production de champignon</i>	1. Culture sous couvert forestier 2. Culture en plein champ
Recouvrement	<i>Recouvrir les billots d'une bâche limitera la circulation d'air autour des billots, ce qui diminuera leur perte d'humidité et favorisera le développement du mycélium et la production de champignon</i>	1. Culture sous une bâche 2. Culture à l'air libre
Irrigation	<i>Irriguer les billots lorsque ceux-ci atteignent une teneur en eau trop basse permettra d'optimiser la croissance du mycélium</i>	1. Culture irriguée au besoin 2. Culture non irriguée

Tableau 1. Facteurs ciblés, hypothèses et traitements appliqués

#### 3.2 Plan expérimental

Afin de tester l'effet de l'espèce, de l'environnement, du recouvrement et de l'irrigation, une expérience factorielle en tiroirs subdivisés (*split-split plot*) a été réalisée. Le plan expérimental comprend d'abord 12 parcelles principales réparties dans trois répétitions. Dans chacune des parcelles principales, les différents niveaux de traitements des facteurs *environnement*<sup>4</sup> et *irrigation* ont été appliqués. Chaque parcelle principale est ensuite divisée en deux pour former un total de 24 sous-parcelles, dans lesquelles ont été appliqués les deux niveaux du facteur *recouvrement*. Finalement, chaque sous-parcelle est à son tour divisée en quatre pour former un total de 96 sous-sous-parcelles, dans lesquelles ont été répartis les quatre niveaux du facteur *espèce* (Figure 3). Chacune

<sup>4</sup> Les traitements *sous couvert forestier* et *en plein champ* n'ont pu être appliqués aléatoirement et ont dû être attribués en fonction de la disposition des lieux sur le site expérimental

des sous-sous-parcelles contient 3 billots<sup>5</sup>, pour un total de 288 billots utilisés dans l'expérience.

Répétition 1	parcelles principales							
	En <sub>1</sub> Ir <sub>1</sub>		En <sub>1</sub> Ir <sub>2</sub>		En <sub>2</sub> Ir <sub>1</sub>		En <sub>2</sub> Ir <sub>2</sub>	
Répétition 2	sous-parcelles							
	En <sub>1</sub> Ir <sub>1</sub> Re <sub>2</sub>	En <sub>1</sub> Ir <sub>1</sub> Re <sub>1</sub>	En <sub>1</sub> Ir <sub>2</sub> Re <sub>1</sub>	En <sub>1</sub> Ir <sub>2</sub> Re <sub>2</sub>	En <sub>2</sub> Ir <sub>1</sub> Re <sub>1</sub>	En <sub>2</sub> Ir <sub>1</sub> Re <sub>2</sub>	En <sub>2</sub> Ir <sub>2</sub> Re <sub>1</sub>	En <sub>2</sub> Ir <sub>2</sub> Re <sub>2</sub>
Répétition 3	sous-sous-parcelles							
	En <sub>1</sub> Ir <sub>1</sub> Re <sub>2</sub> Es <sub>3</sub>	En <sub>1</sub> Ir <sub>1</sub> Re <sub>1</sub> Es <sub>1</sub>	En <sub>1</sub> Ir <sub>2</sub> Re <sub>1</sub> Es <sub>4</sub>	En <sub>1</sub> Ir <sub>2</sub> Re <sub>2</sub> Es <sub>1</sub>	En <sub>2</sub> Ir <sub>1</sub> Re <sub>1</sub> Es <sub>4</sub>	En <sub>2</sub> Ir <sub>1</sub> Re <sub>2</sub> Es <sub>3</sub>	En <sub>2</sub> Ir <sub>2</sub> Re <sub>1</sub> Es <sub>2</sub>	En <sub>2</sub> Ir <sub>2</sub> Re <sub>2</sub> Es <sub>4</sub>
	En <sub>1</sub> Ir <sub>1</sub> Re <sub>2</sub> Es <sub>1</sub>	En <sub>1</sub> Ir <sub>1</sub> Re <sub>1</sub> Es <sub>2</sub>	En <sub>1</sub> Ir <sub>2</sub> Re <sub>1</sub> Es <sub>2</sub>	En <sub>1</sub> Ir <sub>2</sub> Re <sub>2</sub> Es <sub>3</sub>	En <sub>2</sub> Ir <sub>1</sub> Re <sub>1</sub> Es <sub>3</sub>	En <sub>2</sub> Ir <sub>1</sub> Re <sub>2</sub> Es <sub>4</sub>	En <sub>2</sub> Ir <sub>2</sub> Re <sub>1</sub> Es <sub>1</sub>	En <sub>2</sub> Ir <sub>2</sub> Re <sub>2</sub> Es <sub>1</sub>
	En <sub>1</sub> Ir <sub>1</sub> Re <sub>2</sub> Es <sub>4</sub>	En <sub>1</sub> Ir <sub>1</sub> Re <sub>1</sub> Es <sub>3</sub>	En <sub>1</sub> Ir <sub>2</sub> Re <sub>1</sub> Es <sub>1</sub>	En <sub>1</sub> Ir <sub>2</sub> Re <sub>2</sub> Es <sub>4</sub>	En <sub>2</sub> Ir <sub>1</sub> Re <sub>1</sub> Es <sub>2</sub>	En <sub>2</sub> Ir <sub>1</sub> Re <sub>2</sub> Es <sub>1</sub>	En <sub>2</sub> Ir <sub>2</sub> Re <sub>1</sub> Es <sub>3</sub>	En <sub>2</sub> Ir <sub>2</sub> Re <sub>2</sub> Es <sub>2</sub>
	En <sub>1</sub> Ir <sub>1</sub> Re <sub>2</sub> Es <sub>2</sub>	En <sub>1</sub> Ir <sub>1</sub> Re <sub>1</sub> Es <sub>4</sub>	En <sub>1</sub> Ir <sub>2</sub> Re <sub>1</sub> Es <sub>3</sub>	En <sub>1</sub> Ir <sub>2</sub> Re <sub>2</sub> Es <sub>2</sub>	En <sub>2</sub> Ir <sub>1</sub> Re <sub>1</sub> Es <sub>1</sub>	En <sub>2</sub> Ir <sub>1</sub> Re <sub>2</sub> Es <sub>2</sub>	En <sub>2</sub> Ir <sub>2</sub> Re <sub>1</sub> Es <sub>4</sub>	En <sub>2</sub> Ir <sub>2</sub> Re <sub>2</sub> Es <sub>3</sub>

**Légende des différents niveaux de facteurs**

<b>Environnement (En)</b>	<b>Irrigation (Ir)</b>	<b>Recouvrement (Re)</b>	<b>Espèce</b>
En <sub>1</sub> : En plein champ	Ir <sub>1</sub> : Non irrigué	Re <sub>1</sub> : Recouvert d'une bâche	Es <sub>1</sub> : Bouleau à papier
En <sub>2</sub> : Sous couvert forestier	Ir <sub>2</sub> : Irrigué	Re <sub>2</sub> : À l'air libre	Es <sub>2</sub> : Peuplier faux-tremble
			Es <sub>3</sub> : Cerisier de Pennsylvanie
			Es <sub>4</sub> : Sorbier d'Amérique

**Figure 3. Plan expérimental de l'étude composé de 12 parcelles principales, 24 sous-parcelles et 96 sous-sous-parcelles.**

**3.3 Site d'expérimentation**

L'expérimentation a eu lieu sur la propriété de la Coopérative de solidarité Gaïa, soit une terre agroforestière de 38,5 ha située à Pointe-aux-Outardes, en bordure de l'Estuaire du Saint-Laurent, près de Baie-Comeau (Figure 4). Le climat y est particulièrement frais et venteux durant l'été, avec des normales quotidiennes inférieures à 21 °C en juillet. L'hiver, les normales atteignent -20 °C Les précipitations sont relativement abondantes, soit de 1014 mm en moyenne annuellement (Tableau 2).

<sup>5</sup> Le plan expérimental a été conçu en prévision de la phase II et III de l'étude. Dès lors, les trois billots des sous-sous-parcelles serviront à tester l'effet d'un nouveau facteur : le trempage. Ainsi, chacun des billots recevra un niveau de trempage différent.



Adapté de : Google maps

**Figure 4. Emplacement géographique de la terre agroforestière de la Coopérative Gaïa**

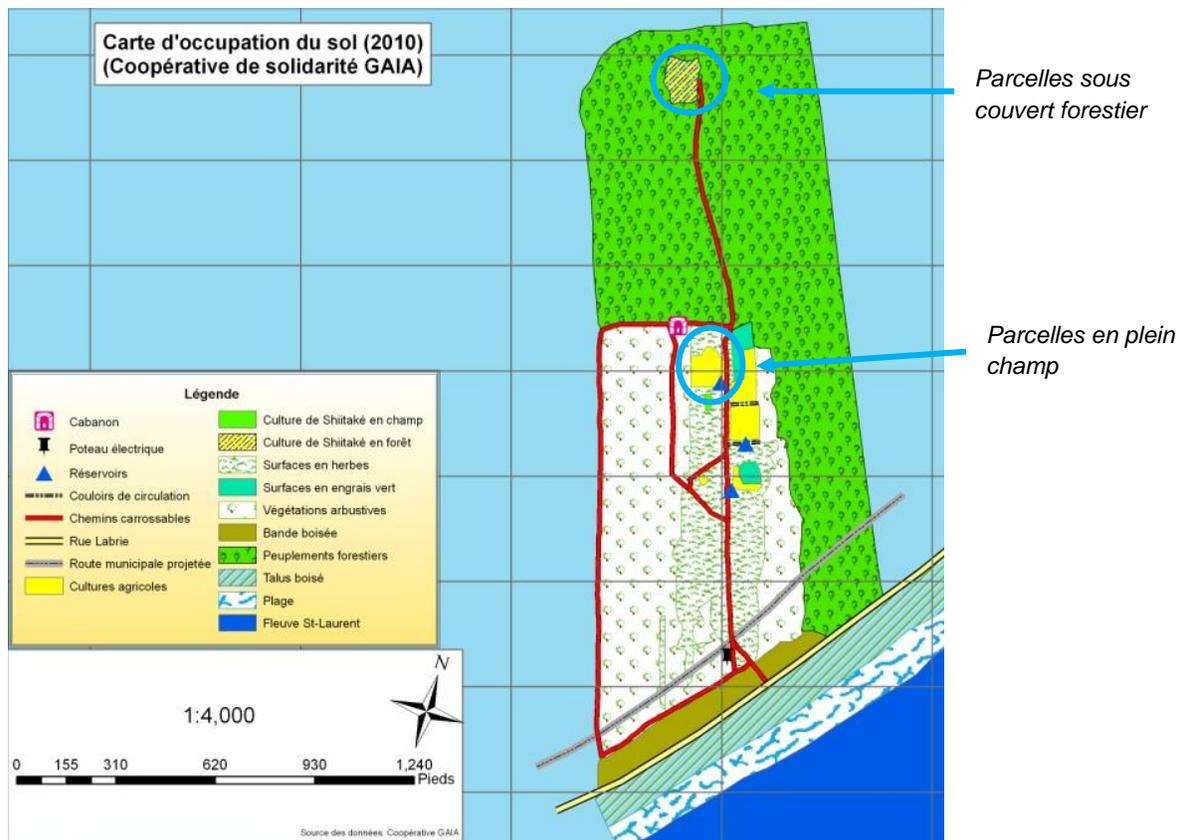
	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	total
<b>Maximum quotidien (°C)</b>	-8,8	-7,1	-1,7	4,2	11,7	17,9	20,9	19,8	14,5	8,2	1,7	-5,4	
<b>Minimum quotidien (°C)</b>	-20	-18,3	-11,4	-3,2	2	7,2	10,3	9,1	4,8	0	-5,7	-15	
<b>Minimum historique (°C)</b>	-47,2	-44,4	-35,6	-21	-8,3	-3,2	0,6	0	-6,1	-11	-22,8	-37,8	
<b>Chutes de pluie (mm)</b>	11,6	11,4	25,2	51,8	85,2	83,5	89,4	81,7	92,1	87,8	47,5	16,9	684,1
<b>Chutes de neige (cm)</b>	81,9	60,6	55,8	32,4	2,4	0	0	0	0,1	5,9	40,1	82,3	361,5
<b>Précipitations totales (mm)</b>	84,1	65,5	77,5	83,8	87,6	83,6	89,4	81,7	92,3	93,7	86	89,3	1014,4

Source : Environnement Canada

**Tableau 2. Normales climatiques compilées par la station météorologique de Baie-Comeau; données compilées de 1971 à 2000<sup>6</sup>**

La terre de la Coopérative Gaïa est constituée d'environ cinq hectares de champ agricoles; le reste étant principalement recouvert de peuplements juvéniles de peuplier faux-tremble, et de quelques peuplements de conifères. Les parcelles sous couvert forestier ont été aménagées dans une petite plantation d'épinette blanche de 0,2 ha d'une vingtaine d'années ayant atteint 7 mètres de hauteur. Il s'agit du seul couvert forestier présent sur la terre qui soit assez dense pour créer une ombre uniforme au sol. Étant située à 300 m des champs, la plantation est relativement peu exposée aux vents. Les parcelles en plein champ ont quant à elles été installées au milieu d'un champ inexploité par la Coopérative. Cet endroit offre une pleine exposition au soleil, au vent et aux précipitations (Figure 5).

<sup>6</sup> Données en provenance de la station météorologique de l'aéroport de Baie-Comeau (Pointe-Lebel), située à 17 km à vol d'oiseau de la Coopérative Gaïa.



**Figure 5. Disposition des aménagements sur la terre de la Coopérative Gaïa**

### **3.4 Organisation, logistique, et mise en place du dispositif expérimental**

#### **3.4.1 Dégagement manuel des sites**

Dans la partie du dispositif sous couvert forestier, trois rangées d'arbres ont été élaguées sur une longueur de 40 m chacune. Toutes les branches situées à moins de 2 m de hauteur ont ainsi été coupées manuellement à l'aide de scies à élaguer, de manière à fournir l'espace nécessaire pour le dispositif, sans toutefois y réduire trop l'ombre. Dans la partie du dispositif située en plein champ, la végétation herbacée et arbustive a été fauchée à environ 15 cm du sol.

#### **3.4.2 Construction de supports**

Des supports destinés à maintenir les billots en position verticale ont été fabriqués à l'aide de planches de 2 x 4 de sapin/épinette non traitées. Sous couvert forestier, les arbres ont servi de pied aux supports; les planches étaient simplement attachées perpendiculairement aux troncs des arbres, à l'aide de corde de nylon, à une hauteur de 75 cm par rapport au sol. En plein champ, les supports ont été entièrement fabriqués en planche de bois.

### 3.4.3 Installation des bâches

Suivant le plan expérimental, 12 des 24 sous-parcelles expérimentales ont été recouvertes de bâches bleues en plastique. Celles-ci ont été tendues en forme de tente, juste au-dessus des billots, sans toutefois entrer en contact avec eux (Figure 6).



**Figure 6. Douze des 24 sous-parcelles expérimentales ont été recouvertes de bâches bleues en plastique**

### 3.4.5 Installation du système d'irrigation

La Coopérative Gaïa disposait déjà d'un système d'irrigation, raccordé à une pompe puisant l'eau d'un puits artésien. Pour les besoins de l'expérimentation, le système d'irrigation a dû être agrandi de manière à alimenter 6 des 12 parcelles principales. Au total, 400 m de tuyau plat de 2 po de diamètre et 160 m de tuyau flexible de 1,5 po de type « corlon » ont été utilisés. Plusieurs valves ont dû être installées de manière à segmenter chacune des sous-parcelles. Des brumisateurs ont été utilisés pour projeter l'eau; ceux-ci propulsent une bruine dans toutes les directions, à une distance d'environ 2 m (Figure 7).



**Figure 7. Système d'irrigation muni de brumisateurs a été installé dans 6 des 12 parcelles principales**

#### 3.4.6 Installation des thermomètres et hygromètres

Dans chacun des environnements (*sous couvert forestier et en champ*), trois sondes hygrométriques et thermométriques « *Oregon scientific THGN123N* » ont été installées : l'une dans une sous-parcelle recouverte d'une bâche sans système d'irrigation, l'une dans une sous-parcelle recouverte d'une bâche avec système d'irrigation, et une autre à l'air libre, éloignée des brumisateurs. Les sondes de chaque environnement ont été reliées à une unité de base « *Oregon Scientific RMS600A* » qui enregistrait les températures maximales et minimales quotidiennes. Pour assurer un bon fonctionnement, les unités de base étaient protégées dans un sac hermétique et ont été installées dans un rayon de moins de 30 m des sondes auxquelles elles étaient reliées.

#### 3.4.7 Obtention des billots

Les billots de bouleau à papier, de peuplier faux-tremble et de sorbier d'Amérique ont été obtenus auprès d'un propriétaire de lot boisé de Pointe-aux-Outardes. Un entrepreneur local a été embauché pour abattre et tronçonner les arbres. Il a été convenu avec l'entrepreneur que les billots devaient provenir d'arbres sains, qu'un effort particulier soit fait pour éviter d'endommager l'écorce, et que le diamètre des billots devait se situer entre 9 et 20 cm, avec une longueur de 121 cm (4 pi) de longueur. Durant la 2<sup>e</sup> semaine de mai 2010, les arbres ont été abattus et tronçonnés en sections d'environ 242 cm (8 pi) à l'aide d'une scie à chaîne, pour ensuite être manipulés et transportés à l'aide d'un petit porteur à grappin. Les billes de 242 cm ont été empilées pendant une semaine en plein champ avant d'être tronçonnées en section d'environ 141 cm (4 pi) et livrées sur la terre de la Coopérative Gaïa. Les billots ont finalement été empilés pendant une semaine sur un site mi-ombragé, avant d'être inoculés.

Les billots de cerisier de Pennsylvanie ont quant à eux été prélevés à même la Forêt d'enseignement et de recherche du Cégep de Baie-Comeau par le personnel du CEDFOB. Durant la 2<sup>e</sup> semaine de mai, des arbres sains ont été coupés et tronçonnés sur place en billots de 90 à 110 cm (3 à 3,5 pi), à l'aide d'une scie à chaîne. Les billots ont alors été manipulés à la main et transportés jusqu'à la terre de la Coopérative en camionnette, pour ensuite être empilés à l'ombre durant 2 semaines avant d'être inoculés.

#### 3.4.8 Obtention de l'inoculum

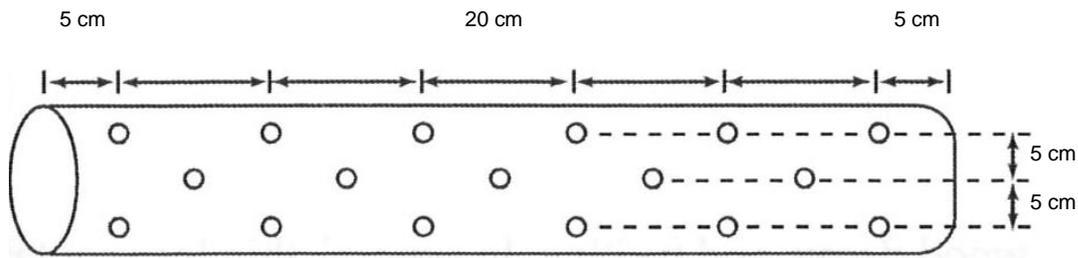
L'inoculum de shiitake a été obtenu de M. David Boyle, microbiologiste sénior et professeur au *Nova Scotia agricultural College*, en Nouvelle-Écosse. Ce dernier produit l'inoculum à partir de mycélium de shiitake qu'il incorpore à un mélange humide incluant du bran de scie, du millet et du sucre (Figure 8). À la lumière des informations qui lui ont été fournies concernant le climat de Pointe-aux-Outardes, M. Boyle a recommandé l'utilisation de la souche « 747 », résistant aux températures allant jusqu'à - 35 °C, et démontrant une bonne productivité dans des régions au climat similaire. Près de 12 kg de cet inoculum ont été commandés de M. Boyle.



**Figure 8. Inoculum de shiitake: un mélange de bran de scie, de millet et de sucre colonisé par le mycélium du champignon**

### 3.4.9 Inoculation des billots

L'inoculation des 288 billots utilisés dans l'expérience s'est déroulée les 4, 5 et 6 juin 2010. D'abord, des trous de 25 mm (1 po) de profondeur et de 12 mm (1/2 po) de diamètre ont été pratiqués dans les billots, à l'aide d'une perceuse à colonne. Les trous ont été disposés suivant le même patron pour tous les billots, soit à intervalle de 20 cm sur le sens de la longueur, avec des rangées espacées de 5 cm, disposées en quinconce (Figure 9).



**Figure 9. Patron de perçage utilisé pour chacun des billots**

Chacun des trous a été rempli d'inoculum à l'aide d'un entonnoir en plastique et d'une gouge en bois stérilisés, en prenant soin de laisser un espace d'environ 3 mm entre la surface de l'inoculum et le rebord du trou. Cet espace a été rempli d'un mélange de cire chaude liquide, composé d'une part de paraffine et d'une part de cire d'abeille pure, afin de bien sceller le trou (Figure 10). Quelques minutes plus tard, le temps de laisser durcir la cire, les billots pouvaient être ré-empilés pour un entreposage temporaire.



**Figure 10. Les différentes étapes de l'inoculation des billots**

a) perçage des trous; b) insertion de l'inoculum; c) scellage du trou avec de la cire; d) vue d'ensemble de la chaîne d'opération; e) matériel d'inoculation incluant eau javellisée pour la stérilisation

#### 3.4.10 Mise en place des billots dans le dispositif expérimental

Un emplacement dans le dispositif a été attribué à chaque billot de manière aléatoire, en respectant la condition que chaque sous-parcelle reçoive trois billots de chacune des espèces. Les billots ont été placés à la verticale, appuyés contre les supports horizontaux, la base reposant directement sur le sol (empilement en « A », tel que présenté dans la section 2.3). Ceux-ci étaient espacés d'une distance d'environ 10 cm (Figure 11). Quatre « billots tampons » ont été placés aux extrémités de chaque sous-parcelle. Ces billots tampons n'ont pas été inoculés et ne servent qu'à limiter l'effet de bordure sur les billots expérimentaux. Ainsi, les billots expérimentaux sont tous cloîtrés entre deux billots (Figure 12).

Il est à noter que la littérature populaire recommande généralement d'autres types de disposition des billots lors de la phase d'incubation (voir Figure 1). Or, ces méthodes ont dû être rejetées puisqu'elles ne permettaient pas de fournir des conditions d'humidité, de ventilation et d'exposition uniformes sur tous les billots, ce qui aurait grandement

augmenté la variabilité des résultats et réduit les chances de déceler l'effet des facteurs expérimentaux.



Figure 11. Vue d'ensemble du dispositif en champ (gauche) et sous couvert forestier (droite)

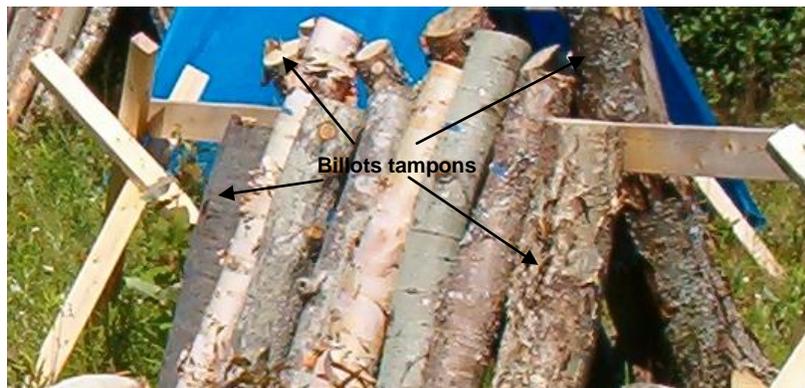


Figure 12. Les extrémités des sections sont bornées par des « billots tampons » non inoculés

### ***3.5 Suivi expérimental et prise de données sur le terrain***

#### **3.5.1 Caractérisation des billots**

Une fois mis en place, les billots ont été identifiés à l'aide d'étiquettes d'aluminium numérotées vissées sur le billot, près de l'extrémité supérieure. Par la suite, l'espèce, le diamètre aux deux bouts, la longueur et le nombre de trous ont été notés pour chaque billot.

### 3.5.2 Relevé quotidien des températures et taux d'humidités maximum et minimum

À partir du début du mois de juillet jusqu'à la mi-novembre, les températures et les taux d'humidité quotidiens minimums et maximums de toutes les sondes ont été relevés.

### 3.5.3 Contrôle de la teneur en eau des billots et irrigation

Une fois par semaine, la teneur en humidité des billots des sous-parcelles irriguées a été mesurée à l'aide d'un hygromètre à bois « *Wagner MMC 220*<sup>7</sup> ». Lorsque l'hygromètre indiquait une teneur en humidité inférieure à 32%<sup>8</sup> pour un ou plusieurs billots à l'intérieur d'une même sous-parcelle, cette section était arrosée à l'aide des brumisateurs pendant une période de 12 h. Le numéro des billots dont la teneur en eau était sous le seuil de 32 % a été noté à chaque fois. En cas de forts vents, l'arrosage était retardé afin d'éviter d'arroser les unités expérimentales voisines. De plus, jamais plus d'un arrosage par semaine n'a été effectué.

Nous avons jugé préférable d'adopter ce protocole adaptatif plutôt que de procéder à un arrosage régulier et systématique, afin d'éviter d'arroser des billots déjà humides (lors de périodes de pluie par exemple), ce qui aurait pu favoriser le développement de moisissures indésirables.

## **3.6 Quantification du mycélium**

### 3.6.1 Développement de la méthode

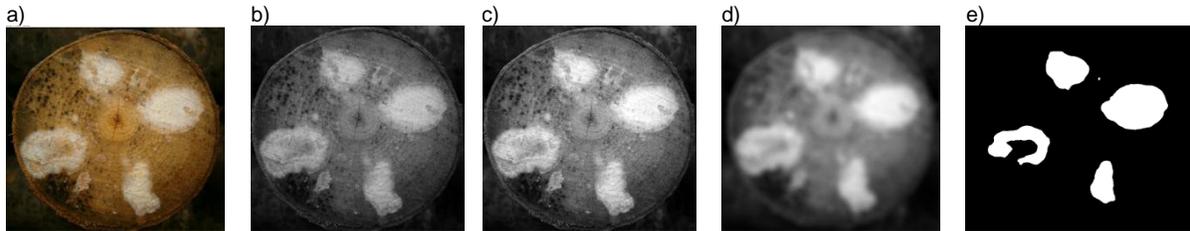
Dans le cadre de cette étude, nous avons supposé que la progression du mycélium à l'intérieur du billot est un bon indicateur du succès de la phase d'incubation, et ultérieurement, de la production future de shiitake. Il a été supposé également que la superficie de bois colonisé par le mycélium de shiitake aux extrémités des billots est bon indicateur de la progression du mycélium à l'intérieur du billot. Pour être en mesure de connaître cette superficie, plusieurs techniques ont été expérimentées afin de déterminer une méthode efficace qui puisse être appliquée uniformément à tous les billots.

En premier lieu, nous avons tenté de faire ressortir les zones de bois colonisées par le mycélium à partir de photographies, à l'aide d'un logiciel de traitement d'image (*ImageJ*). L'image était d'abord convertie en format noir et blanc à 256 niveaux de gris (image 8 bits), et son contraste était ensuite rehaussé en rééchelonnant la valeur de chacun des pixels, de manière à couvrir toute la fourchette de valeur de niveaux de gris (procédure : > *Process* > *Enhance contrast* > *Normalize*). L'image a été ensuite adoucie en remplaçant la valeur de chacun des pixels par la valeur moyenne des pixels environnants (procédure : > *Process* > *Filter* > *Mean*). Finalement, les pixels dont la valeur était comprise à l'intérieur d'une fourchette de valeurs pouvaient être sélectionnés et se voir attribuer une valeur

<sup>7</sup> Selon le fabricant, cet appareil mesure la teneur en eau du bois sur lequel il est posé, dans un volume de bois de 38 mm x 64 mm par 19 mm de profondeur (1 ½ po x 2 ½ x ¾ po).

<sup>8</sup> Le seuil de 32 % a été choisi puisque l'hygromètre ne permettait pas de mesurer une teneur en eau supérieure à cette valeur. La teneur en eau optimale pour la croissance du shiitake est généralement de 35 % (Tokimoto, K. 2005)

de 1, alors que le restant des pixels obtenait une valeur de 0 (procédure : >Image> Adjust> Threshold). Cette procédure donnait lieu à une image binaire faisant ressortir des taches blanches qui correspondent au mycélium. Il était alors aisé, à l'aide du logiciel, de déterminer la superficie de ces taches, en cm<sup>2</sup> (Figure 13).



**Figure 13. Les différentes étapes de traitement d'image faisant ressortir les zones de bois colonisées par le mycélium;**

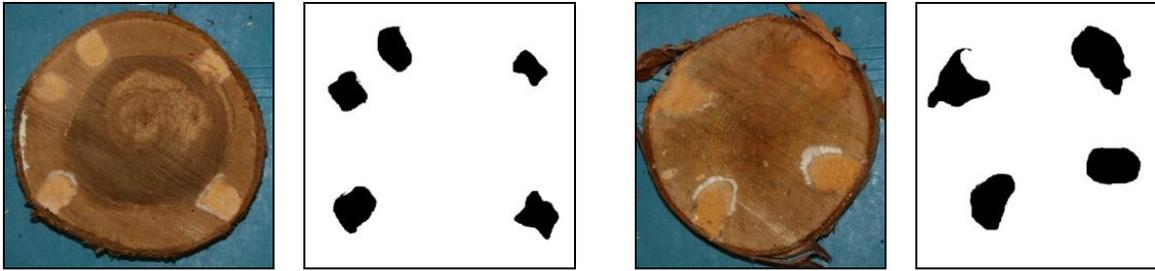
a) image initiale; b) image en noir et blanc; c) image au contraste rehaussé; d) image adoucie à l'aide de filtre; e) image binaire finale.

Bien que le traitement d'image ait donné des résultats satisfaisants pour un bon nombre d'images, il s'est avéré que cette méthode n'a pu être utilisée dans le cadre de l'étude. En effet, les extrémités de plusieurs billots, particulièrement celles reposant sur le sol, étaient infestées de toutes sortes de moisissures qui réduisaient grandement la netteté des marques blanches.

En prélevant une rondelle à l'extrémité des billots, nous avons constaté que les formes blanches visibles sur le côté extérieur sont également visibles sur la face interne de la rondelle, et ce, sans la présence des moisissures (Figure 14). Ainsi, nous avons déterminé qu'il était préférable de mesurer la superficie de bois colonisé par le mycélium sur la face interne des rondelles. Et puisque les marques y sont moins contrastées que sur la face externe, il a été convenu que leur contour allait être tracé à main levée sur chacune des photos numériques, à l'aide de la souris de l'ordinateur (Figure 15).



**Figure 14. Les deux côtés d'une même rondelle affichent sensiblement les mêmes formes de mycélium**



**Figure 15. Exemple de tracé à main levée des zones de bois colonisées par le mycélium**

### 3.6.2 Prélèvement des rondelles

Les 10 et 13 novembre 2010, une rondelle d'environ 2 cm d'épaisseur a été prélevée aux deux extrémités de chacun des 288 billots expérimentaux, à l'aide d'une scie à chaîne (Figure 16). Les billots ont été remis en place tout de suite après le prélèvement. Les rondelles prélevées ont été insérées dans des enveloppes de papier identifiées et ont été entreposées à l'intérieur durant cinq jours, dans des boîtes laissées ouvertes, avant d'être prises en photo les 15 et 18 novembre.



**Figure 16. Prélèvement des rondelles au site expérimental**

### 3.6.3 Prise de photos des rondelles

La face interne de chacune des rondelles a été photographiée dans les locaux du CEDFOB, sous un éclairage contrôlé (aucune fenêtre), à l'aide d'un appareil photo numérique 55 mm à réglage manuel « *Canon EOS DIGITAL REBEL XT<sub>i</sub>* », muni d'un flash. L'appareil a été posé sur un trépied, à une hauteur de 1,3 m, fixant le plancher. Un arrière-fond a été constitué en fixant un carton de couleur foncée sur le plancher (Figure 17). Les rondelles, posées directement sur le carton, ont été photographiées avec un temps exposition réglé à 1/60 seconde et une vitesse ISO de 200 ISO. La distance focale et la mise au point ont été réglées automatiquement par l'appareil à chacune des photos, puisque l'épaisseur des rondelles pouvait varier légèrement.



**Figure 17. Prise de photo des rondelles**

### 3.6.4 Compilation des données

Tel qu'expliqué précédemment, le logiciel de traitement d'image *ImageJ* a été utilisé pour tracer à main levée le contour des zones de bois colonisé par le mycélium de shiitake, sur chacune des images obtenues (section 3.6.1). Ainsi, sur chacun des billots, une valeur de superficie a été déterminée pour l'extrémité supérieure et l'extrémité inférieure. Ces valeurs sont représentées respectivement par les variables  $S_{myc\_sup}$  et  $S_{myc\_inf}$ .

Il est à noter que pour certains échantillons, il a été impossible d'attribuer une valeur à l'une ou l'autre des variables  $S_{myc\_sup}$  et  $S_{myc\_inf}$  en raison du manque de netteté des marques de mycélium. Ceci a créé un certain nombre de données manquantes qui n'ont pas été prises en compte dans les calculs des moyennes des traitements. Par contre, dans d'autres cas, il était clair que le mycélium n'a tout simplement pas colonisé la surface analysée. Il ne s'agit alors pas d'une valeur manquante, mais bien d'une valeur égale à zéro qui a été prise en compte dans les calculs.

Les valeurs qui s'écartent de la moyenne de leur groupe dans une mesure trop importante (plus ou moins 1,5 fois l'espace interquartile) ont été considérées comme valeurs aberrantes. Dans ce cas, l'échantillon correspondant a été mesuré une deuxième fois, et une nouvelle valeur lui a été attribuée au besoin. Toutefois, la plupart du temps, la deuxième mesure a mené à une valeur semblable et la valeur initiale a alors été conservée.

### 3.6.5 Analyse statistique

Des analyses de variance à effets fixes (ANOVA de type I) ont été réalisées afin de déceler l'effet principal de chacun des facteurs et l'effet des interactions entre eux sur les variables *S\_myc\_sup* et *S\_myc\_inf*. Par la suite, l'approche par contraste qualitatif a été appliquée pour comparer les moyennes de *S\_myc\_sup* et *S\_myc\_inf* entre les différentes combinaisons de traitements. Les tests statistiques ont d'abord été effectués à la main, à l'aide du logiciel *Excel*, puis validés à l'aide du logiciel de traitement statistique SPSS.

### 3.6.6 Détermination de la dimension fractale des marques laissées par le mycélium

Un échantillon d'images binaires produites par traitement d'image (tel qu'illustré précédemment à la Figure 13) ont été utilisées pour déterminer la dimension fractale des marques de mycélium. Nous étions intéressés à savoir si la dimension fractale de ces formes pouvait être un indicateur de développement du mycélium. À cette fin, le logiciel de mesure de dimension fractale « *Benoit* » a été utilisé, et la méthode de Minkowski-Boulgand (communément appelée *Box-counting*) a été employée.

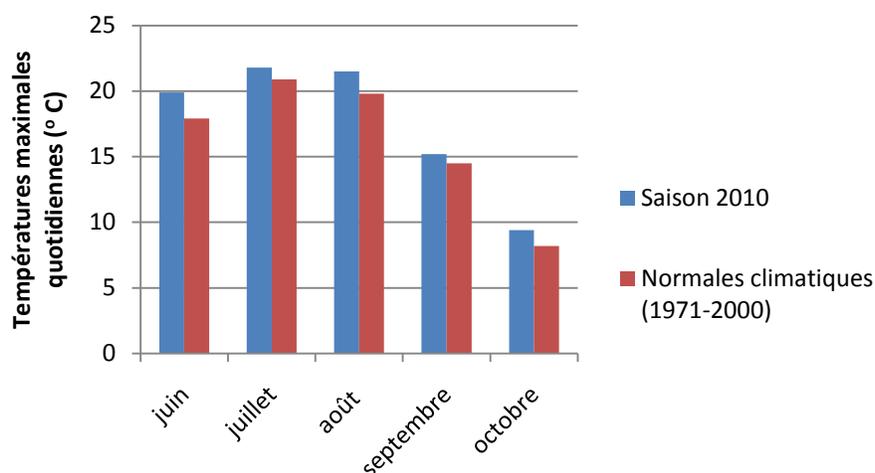
Les images ainsi analysées ont été sélectionnées arbitrairement : seulement dix d'entre elles présentant un bon contraste ont été choisies. Il aurait été impossible de procéder à l'analyse fractale sur la totalité des images, puisque dans la plupart des cas, le contour des zones de bois colonisé par le mycélium n'est pas assez net et contrasté pour pouvoir être traité par le logiciel.

## 4. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

### 4.1 Températures quotidiennes observées

#### 4.1.1 Données météorologiques d'Environnement Canada

Selon les données recueillies par la station météorologique d'Environnement Canada située à Baie-Comeau<sup>9</sup>, l'été 2010 a été plus chaud qu'à l'habitude. En juin, la moyenne des températures maximales quotidiennes a été de 19,9 °C, soit 2,0 °C de plus que la normale climatique. Pour les mois de juillet, août, septembre et octobre, l'écart était respectivement de 0,9°C, 1,7°C, 0,7°C et 1,2°C (Figure 18).



Adapté de : Environnement Canada (2011)

**Figure 18. Comparaison des températures moyennes mensuelles de l'été 2010 à Baie-Comeau avec les normales climatiques**

#### 4.1.2 Données provenant des sondes thermométriques et hygrométriques sur le site expérimental

Les températures minimales quotidiennes observées en champ étaient généralement plus basses à l'air libre que dans les parcelles recouvertes d'une bâche, irriguées ou non, et ce, durant tous les mois de l'expérience (Tableau 3). Ceci signifie que la bâche aurait pour effet de retenir la chaleur durant les périodes plus fraîches (c.-à-d. durant la nuit). Par contre, sous couvert forestier, la bâche n'a que très peu affecté la température minimale quotidienne. D'autre part, les températures minimales quotidiennes étaient en moyenne plus élevées en forêt qu'en plein champ. Le couvert forestier aurait donc pour

<sup>9</sup> Située à l'aéroport de Pointe-Lebel, à 17 km à vol d'oiseau de la Coopérative Gaïa

eu effet de retenir la chaleur lors de périodes plus fraîches, mais l'ajout d'une bâche ne semble pas accentuer cet effet de manière prononcée.

Pour ce qui est des températures maximales quotidiennes observées en champ, celles-ci étaient généralement plus élevées à l'air libre que dans les parcelles recouvertes d'une bâche, irriguée ou non, et ce, durant tous les mois de l'expérience (Tableau 3). L'utilisation de la bâche en plein champ aurait donc eu pour effet de maintenir les billots dans un environnement plus frais durant les périodes les plus chaudes. L'utilisation de la bâche sous couvert forestier semble quant à elle avoir un très léger effet, soit d'offrir un peu plus de fraîcheur durant les périodes plus chaudes.

Finalement, mentionnons que les températures maximales quotidiennes étaient en moyenne de 4 à 7 degrés moins élevées sous couvert forestier qu'en plein champ. Le couvert forestier aurait donc pour effet de créer un environnement considérablement plus frais lors des périodes plus chaudes, et l'ajout d'une bâche ne semble pas accentuer cet effet de manière importante.

		Emplacement de la sonde								
		Champs				Couvert forestier				
		air libre	sous une bâche	sous une bâche avec irrigation	moyenne en champ	air libre	sous une bâche	sous une bâche avec irrigation	moyenne sous couvert forestier	
Températures minimales (°C)	juillet	moyenne	12,4	13,5	13,6	13,2	13,8	14,3	14,3	14,1
		minimum absolu	8,7	10,3	9,9		10,9	11,7	11,8	
	août	moyenne	10,8	12,0	12,4	11,7	12,0	12,5	12,8	12,4
		minimum absolu	3,0	5,2	6,3		6,0	7,2	6,8	
	septembre	moyenne	5,7	6,8	6,9	6,4	6,7	7,3	7,5	7,2
		minimum absolu	-3,7	-1,0	-1,2		-1,0	0,3	0,5	
	octobre	moyenne	2,0	3,2	3,2	2,8	2,6	2,8	n.d.*	2,7
		minimum absolu	-6,1	-2,5	-2,9		-1,8	-1,5		
	novembre	moyenne	-2,4	-0,7	-0,6	-1,2	-0,7	-0,5	n.d.*	-0,6
		minimum absolu	-6,6	-2,8	-3,1		-2,9	-2,3		
Températures maximales (°C)	juillet	moyenne	26,0	24,7	23,9	24,8	19,0	18,6	18,5	18,7
		maximum absolu	31,5	30,9	31,4		21,5	24,5	22,3	
	août	moyenne	24,0	22,1	21,4	22,5	17,5	16,9	16,9	17,1
		maximum absolu	29,2	26,9	24,7		19,7	18,9	19,0	
	septembre	moyenne	16,7	14,7	14,1	15,2	10,8	10,5	10,6	10,6
		maximum absolu	28,4	25,3	23,5		19,9	19,5	19,4	
	octobre	moyenne	9,7	7,4	7,0	8,0	5,1	5,0	n.d.*	5,0
		maximum absolu	19,9	17,3	14,8		10,3	9,6		
	novembre	moyenne	3,2	2,4	2,5	2,7	1,9	1,5	n.d.*	1,7
		maximum absolu	10,5	6,0	5,9		3,6	2,3		

\* La sonde située sous bâche avec irrigation couvert forestier a cessé de fonctionner à partir de la mi-octobre

**Tableau 3. Températures minimales et maximales quotidiennes observées dans les différents milieux de culture**

## 4.2 Taux d'humidité quotidiens observés

Les taux d'humidité minimum quotidiens observés en plein champ étaient généralement un peu plus élevés à l'air libre que dans les parcelles recouvertes d'une bâche, irriguées ou non, et ce, durant tous les mois de l'expérience (Tableau 4). La bâche aurait donc eu pour effet d'abaisser davantage le taux d'humidité autour des billots durant les périodes les plus sèches. Ceci est peut-être dû au fait que les bâches bloquent les précipitations et empêchent le sol de se gorger d'eau, diminuant ainsi l'humidité ambiante. Il semble que l'irrigation n'ait pas contré cet effet de manière très marquée. Sous couvert forestier, l'utilisation de la bâche semblait quant à elle n'avoir que peu ou pas d'effet sur les taux d'humidité minimums quotidiens. D'autre part, les taux d'humidité minimums quotidiens sont en moyenne de 10 à 19 % plus élevés sous couvert forestier qu'en plein champ durant les mois de juillet et août. Cet écart disparaît à mesure que l'automne avance et que les taux d'humidité minimum quotidiens en champs atteignent de hauts niveaux. En résumé, le couvert forestier aurait pour effet de maintenir un taux d'humidité relativement élevé durant les périodes sèches.

Finalement, les taux d'humidité maximum quotidiens ne semblent pas être influencés par l'utilisation de bâche, ni par le couvert forestier (Tableau 4). Cela s'explique sans doute par le fait que durant les périodes les plus humides (tombée de la rosée, pluie, etc.), la forte humidité ambiante atteint tous les types d'environnements, même les unités sous bâches.

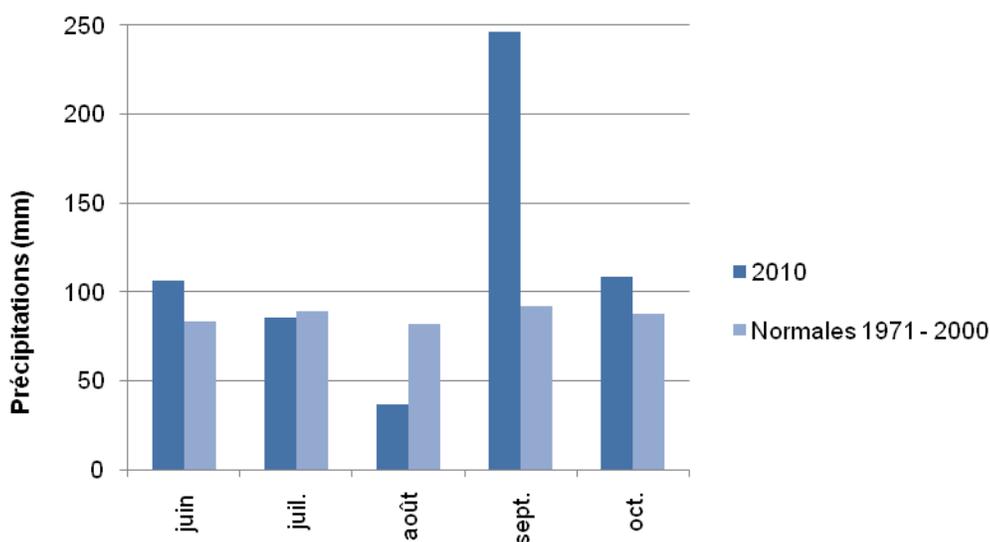
		Emplacement de la sonde								
		Champs				Couvert forestier				
		air libre	sous une bâche	sous une bâche avec irrigation	moyenne en champ	air libre	sous une bâche	sous une bâche avec irrigation	moyenne sous couvert forestier	
Taux d'humidités minimum (%)	juillet	moyenne	71,2	64,7	65,7	<b>67,2</b>	85,1	85,2	86,5	<b>85,6</b>
		minimum absolu	45,0	41,0	39,0		71,0	65,0	70,0	
	août	moyenne	70,7	64,7	66,5	<b>67,3</b>	86,4	84,5	87,6	<b>86,2</b>
		minimum absolu	49,0	41,0	48,0		78,0	72,0	74,0	
	septembre	moyenne	80,8	78,8	80,6	<b>80,1</b>	90,3	89,6	90,2	<b>90,1</b>
		minimum absolu	50,0	52,0	53,0		71,0	65,0	67,0	
	octobre	moyenne	83,5	81,0	83,9	<b>82,8</b>	88,5	85,9	n.d.*	<b>87,2</b>
		minimum absolu	53,0	47,0	47,0		54,0	59,0		
	novembre	moyenne	88,0	79,7	80,2	<b>82,6</b>	89,3	85,5	n.d.*	<b>87,4</b>
		minimum absolu	66,0	60,0	63,0		69,0	68,0		
Taux d'humidités maximum (%)	juillet	moyenne	92,1	95,1	94,9	<b>94,0</b>	92,1	96,1	95,0	<b>94,4</b>
		maximum absolu	98,0	98,0	98,0		97,0	98,0	98,0	
	août	moyenne	91,8	96,0	95,4	<b>94,4</b>	93,9	97,5	97,7	<b>96,3</b>
		maximum absolu	98,0	98,0	98,0		98,0	98,0	98,0	
	septembre	moyenne	94,3	96,8	96,7	<b>95,9</b>	96,2	96,6	96,8	<b>96,5</b>
		maximum absolu	98,0	98,0	98,0		98,0	98,0	98,0	
	octobre	moyenne	92,3	92,1	94,0	<b>92,8</b>	94,1	92,8	n.d.*	<b>93,4</b>
		maximum absolu	98,0	98,0	98,0		98,0	98,0		
	novembre	moyenne	95,0	90,3	93,8	<b>93,1</b>	95,3	94,3	n.d.*	<b>94,8</b>
		maximum absolu	98,0	98,0	98,0		98,0	98,0		

\* La sonde située sous bâche avec irrigation sous couvert forestier a cessé de fonctionner à partir de la mi-octobre

**Tableau 4. Taux d'humidité maximum et minimum quotidiens observés dans les différents milieux de culture**

### 4.3 Précipitations

Selon les données recueillies par la station météorologique d'Environnement Canada située à Baie-Comeau, les mois de juin et juillet ont eu des précipitations comparables aux normales de saison, avec 106 et 85 mm de pluie respectivement. Le mois d'août a quant à lui été plutôt sec, avec moins de la moitié des précipitations comparativement à la normale, tandis que le mois de septembre a été très pluvieux, avec près de 250 mm de pluie. Il est à noter que la majorité de cette pluie est tombée durant la dernière semaine du mois. Finalement, le mois d'octobre a été légèrement plus pluvieux que la normale, avec 109 mm de pluie (Figure 19).



Adapté de : Environnement Canada (2011)

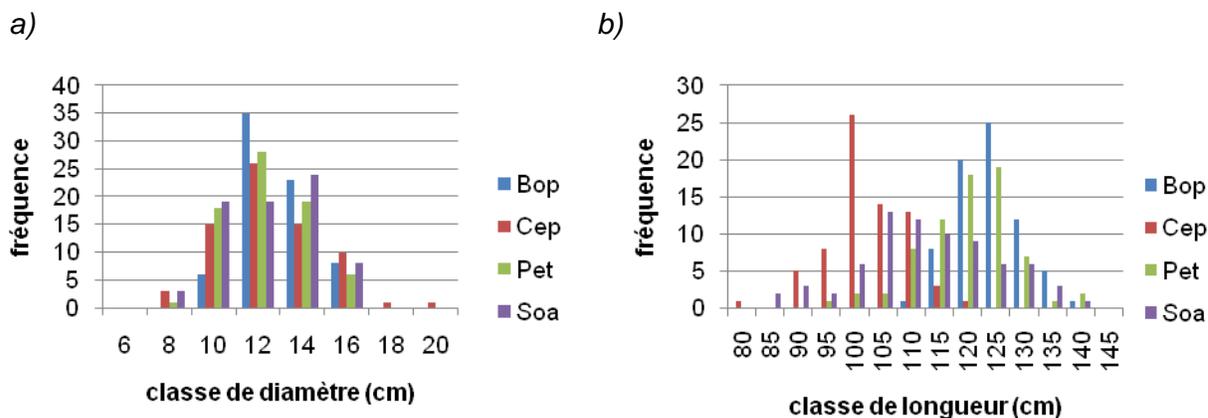
**Figure 19. Précipitations de pluie (mm) pour les mois de juin à octobre 2010 et comparaison avec les normales historiques.**

### 4.4 Dimension des billots

Le nombre de billots expérimentaux dans chaque classe de diamètre est sensiblement le même d'une espèce à l'autre. Pour toutes les espèces, la majorité des billots se trouvent dans les classes de diamètre de 12 et 14 cm. (Figure 20 a) Les diamètres moyens des quatre espèces sont relativement semblables, variant entre 12,2 et 12,8 cm.

Pour ce qui est de la longueur des billots expérimentaux, celle-ci varie d'une espèce à l'autre. La majorité des billots de Cerisiers de Pennsylvanie ont une longueur située entre 95 et 110 cm avec une moyenne de 102,0 cm, alors que la majorité des peupliers faux-tremble et des bouleaux à papier ont une longueur située entre 120 et 125 cm avec des moyennes respectives de 120,0 et 123,8 cm. Les billots de sorbier d'Amérique ont quant

à eux des longueurs situées dans une fourchette plus grande que toutes les autres espèces, avec une valeur moyenne de 117,6 cm (Figure 20 b).



Bop = Bouleau à papier; Cep = Cerisier de Pennsylvanie; Pet = Peuplier faux-tremble; Soa = Sorbier d'Amérique

**Figure 20. Fréquence des diamètres (a) et des longueurs (b) mesurées sur les billots expérimentaux**

Il aurait été préférable que les billots aient tous eu le même diamètre et la même longueur, puisque l'homogénéité du matériel expérimental permet généralement de mieux cerner l'effet des traitements (Collin 2006). Toutefois, pour obtenir des billots ayant tous le même diamètre, l'entrepreneur forestier aurait dû procéder à une coupe très sélective, ce qui était irréaliste compte tenu des capacités de sa machinerie et du budget disponible. Du moins, le fait d'avoir utilisé les billots tels qu'ils nous ont été livrés reflète la réalité opérationnelle de la coopérative Gaïa, qui inocule des billots aux dimensions relativement variables.

#### 4.5 Teneur en eau des billots et irrigation

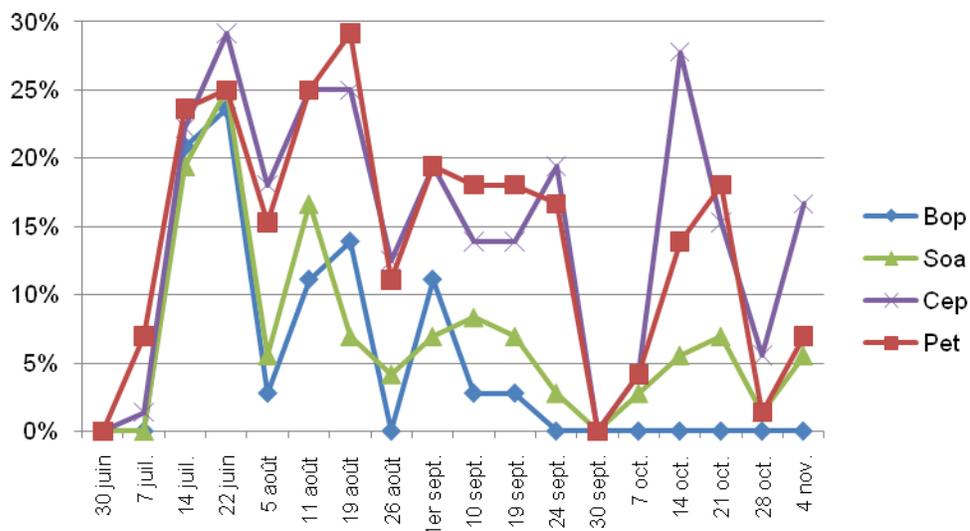
Comme établi dans le protocole de départ, les sous-parcelles soumises au traitement *irrigation* ont été arrosées hebdomadairement, à condition qu'au moins un de leurs billots ait une teneur en eau inférieure au seuil de 32 %. Suivant cette condition, presque toutes les sous-parcelles situées en champs et soumises au traitement *irrigation* ont été arrosées à chaque semaine du 7 juillet au 24 septembre (Tableau 5). Après cette date, le système d'irrigation a dû être mis hors service en raison des risques de gel. Pour ce qui est des sous-parcelles situées sous couvert forestier et soumises au traitement *irrigation*, elles ont dû être arrosées seulement quelques fois durant l'été (Tableau 5).

Date	Champs						Forêt					
	Bâche			Sans bâche			Bâche			Sans bâche		
	bloc 1	bloc 2	bloc 3	bloc 1	bloc 2	bloc 3	bloc 1	bloc 2	bloc 3	bloc 1	bloc 2	bloc 3
30 juin 2010												
7 juillet 2010	●	●	●							●	●	●
14 juillet 2010	●	●	●	●	●	●				●	●	●
22 juillet 2010	●	●	●	●	●	●				●	●	●
5 août 2010	●	●	●	●	●	●						
11 août 2010	●	●	●	●	●	●						
19 août 2010	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
26 août 2010	●	●	●									
1 septembre 2010	●	●	●		●	●		●				
10 septembre 2010	●		●	●	●	●						
19 septembre 2010	●	●	●	●	●	●						
24 septembre 2010	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	

Note : Le symbole de la goutte d'eau signifie que l'unité expérimentale en question a été irriguée

**Tableau 5. Fréquence d'arrosage des différentes unités expérimentales soumises au traitement d'irrigation**

L'observation de la teneur en eau des billots chaque semaine a permis de constater que certaines espèces tendaient à contenir moins bien leur humidité. En effet, le pourcentage de billots ayant une teneur en eau en deçà du seuil de 32 % était généralement plus élevé chez le cerisier de Pennsylvanie et le peuplier faux-tremble. Le bouleau à papier et le sorbier d'Amérique, quant à eux, étaient plus rarement en deçà de ce seuil (Figure 21). De plus, la teneur en eau des billots semble être reliée aux précipitations. Par exemple, plusieurs jours consécutifs de pluie à la fin du mois de septembre ont fait en sorte que tous les billots sont passés au-delà du seuil de 32 % de teneur en eau (Figure 21).



Bop = Bouleau à papier; Cep = Cerisier de Pennsylvanie; Pet = Peuplier faux-tremble; Soa = Sorbier d'Amérique

**Figure 21. Pourcentage des billots en deçà du seuil de 32 % de teneur en eau, à chaque semaine**

#### 4.6 Effet des différents traitements sur la colonisation du mycélium

Cette section présente et interprète de manière abrégée les résultats découlant des analyses statistiques. Pour plus de précision, consulter les résultats détaillés, les tableaux des analyses de variance et les comparaisons par contraste (Annexe I et II).

##### 4.6.1 Données manquantes

Il a été possible de mesurer la valeur  $S_{myc\_inf}^{10}$  sur 263 des 288 billots. Quant à la valeur  $S_{myc\_sup}$ , elle a pu être mesurée sur 270 billots. Les valeurs manquantes sont principalement attribuables au peuplier faux-tremble, avec un nombre d'observations de 55 pour la variable  $S_{myc\_inf}$  et de 59 pour la variable  $S_{myc\_sup}$ , sur une possibilité de 72 billots (Tableau 6). Cela s'explique par le fait que le mycélium de shiitake contrastait beaucoup moins sur les rondelles de peuplier que sur celles des autres espèces, notamment en raison de la teinte du bois.

<sup>10</sup> Rappel :

$S_{myc\_inf}$  = Superficie de bois colonisé par le mycélium de shiitake, à l'extrémité inférieure;

$S_{myc\_sup}$  = Superficie de bois colonisé par le mycélium de shiitake, à l'extrémité supérieure.

Espèce	Nombre d'observations (n)		Nombre de billots
	extrémité inférieure	extrémité supérieure	
Bouleau à papier	72	71	72
Sorbier d'Amérique	71	72	72
Cerisier de Pennsylvanie	65	68	72
Peuplier faux-tremble	55	59	72
Total	263	270	288

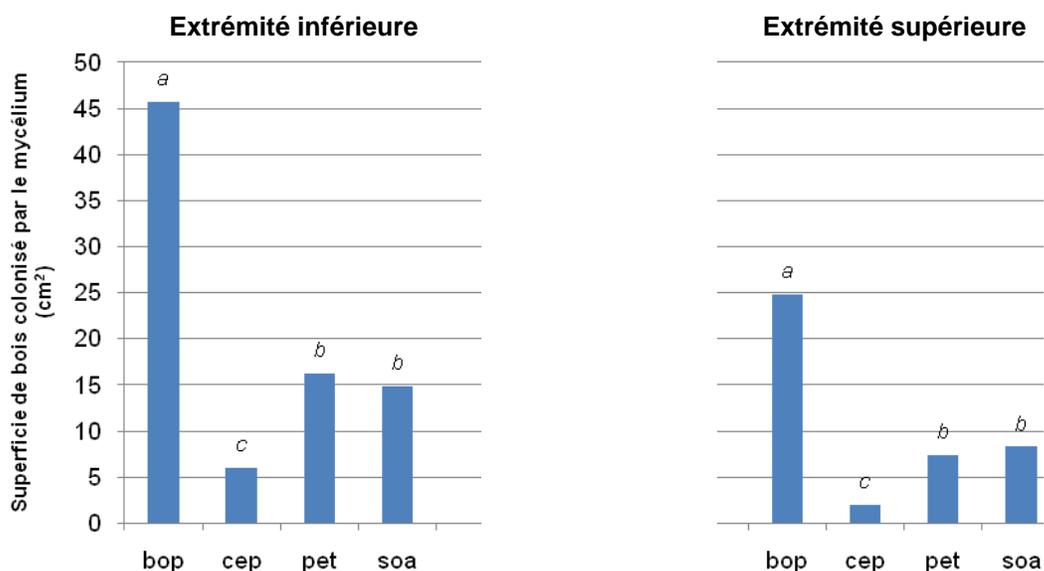
**Tableau 6. Nombre d'observations aux deux extrémités des billots, réparties selon l'espèce**

#### 4.6.2 Facteur espèce

Les analyses de variance indiquent que l'espèce a un effet très significatif ( $p < 0,00001$ ) sur la superficie de bois colonisé par le mycélium, et ce, que ce soit sur l'extrémité supérieure du billot ou sur l'extrémité inférieure. Dans les deux cas, le bouleau à papier se démarque avec des valeurs respectives de 24,8 et 45,7 cm<sup>2</sup> (Figure 22). Ces valeurs sont significativement plus élevées que celles de toutes les autres espèces ( $p < 0,00001$ ).

Le cerisier de Pennsylvanie, quant à lui, obtient des résultats significativement plus bas que ceux des autres espèces ( $p < 0,00001$ ) avec des valeurs respectives de 2,0 et 6,0 cm<sup>2</sup> à l'extrémité supérieure et inférieure (Figure 22). Il faut toutefois interpréter ce résultat avec prudence, puisque les billots de cerisiers de Pennsylvanie utilisés dans l'expérience n'ont pas la même provenance que les billots des autres espèces. Ayant été récoltés deux semaines plus tôt, ceux-ci ont pu perdre davantage de leur humidité durant l'entreposage. De plus, les billots de cette espèce étaient en moyenne de 15 à 20 cm plus courts que ceux des autres espèces, ce qui a pu favoriser un assèchement du bois, et par le fait même, engendré des conditions moins favorables au développement du mycélium de shiitake. D'ailleurs, la teneur en eau observée chez les billots du cerisier tout au long de l'expérience était généralement assez faible comparativement aux autres espèces (voir section 4.5). Pour ces raisons, le cerisier de Pennsylvanie ne devrait pas être écarté, mais devrait plutôt faire l'objet d'essais ultérieurs.

Il est à noter que les extrémités inférieures sont presque deux fois plus colonisées par le mycélium de shiitake que les extrémités supérieures, et ce, chez toutes les espèces. Cela est probablement attribuable à l'humidité du sol qui a favorisé la rétention d'humidité dans la partie inférieure du billot, directement en contact avec le sol.



Bop = Bouleau à papier; Cep = Cerisier de Pennsylvanie; Pet = Peuplier faux-tremble; Soa = Sorbier d'Amérique

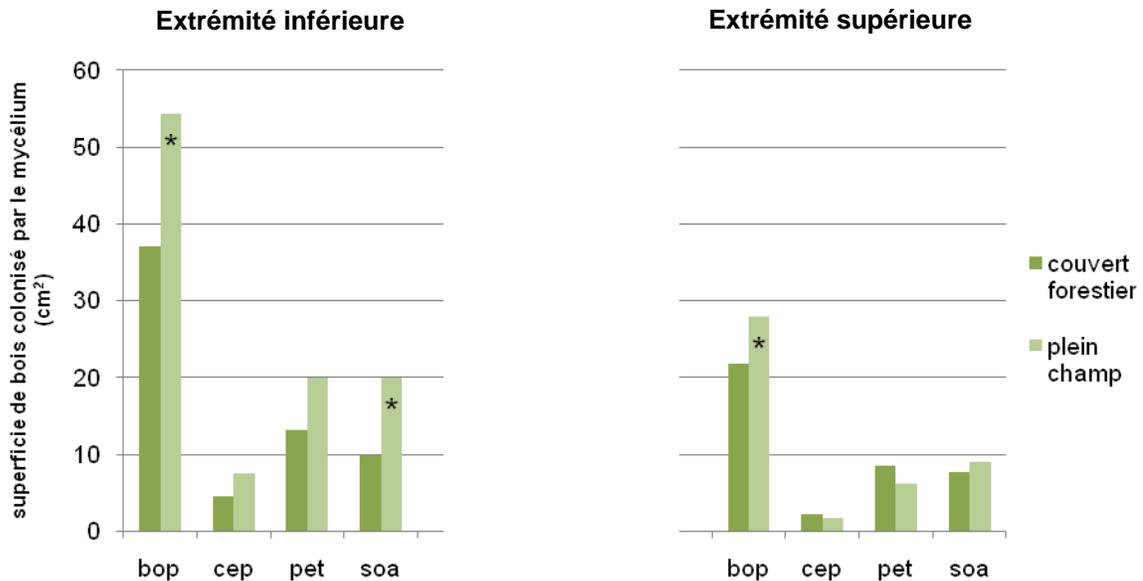
\* Les groupes qui partagent une même lettre n'ont pas d'écart statistiquement significatif entre eux

**Figure 22. Superficie de bois colonisé par le mycélium de shiitake selon l'espèce**

#### 4.6.3 Facteur *environnement*

Durant l'expérience, l'environnement a eu un effet très significatif ( $p < 0,001$ ) sur la croissance du mycélium de shiitake à l'extrémité inférieure des billots. En effet, l'extrémité inférieure de toutes les espèces a été davantage colonisée par le mycélium de shiitake dans les parcelles situées en plein champ que dans les parcelles sous couvert forestier (Figure 23). Il faut toutefois préciser que cet écart n'est statistiquement significatif que chez le bouleau à papier et le sorbier d'Amérique ( $p < 0,01$ ). Pour ce qui est de la croissance du mycélium sur l'extrémité supérieure des billots, il semble que l'environnement a eu un effet significatif ( $p < 0,0001$ ) uniquement sur le bouleau à papier (Figure 23). Les écarts observés chez les autres espèces ne sont pas significatifs, comme le confirment les comparaisons statistiques par contrastes.

À première vue, ces résultats peuvent sembler contradictoires avec les ouvrages populaires qui recommandent généralement de cultiver le shiitake à l'abri du soleil direct afin de limiter l'assèchement des billots. Or, même si l'environnement *en plein champ* est indéniablement plus sec que l'environnement *sous couvert forestier*, il atteint également des températures considérablement plus élevées (voir section 4.1.2). Ainsi, puisque les extrémités inférieures des billots reposaient sur le sol, elles ont pu bénéficier de son humidité tout en profitant des températures plus chaudes qui prévalaient en plein champ. C'est cet ensemble de conditions qui auraient été favorables à la croissance du mycélium de shiitake.



Bop = Bouleau à papier; Cep = Cerisier de Pennsylvanie; Pet = Peuplier faux-tremble; Soa = Sorbier d'Amérique

\* Les bandes marquées d'un astérisque sont significativement plus élevées que la bande qui leur est appariée

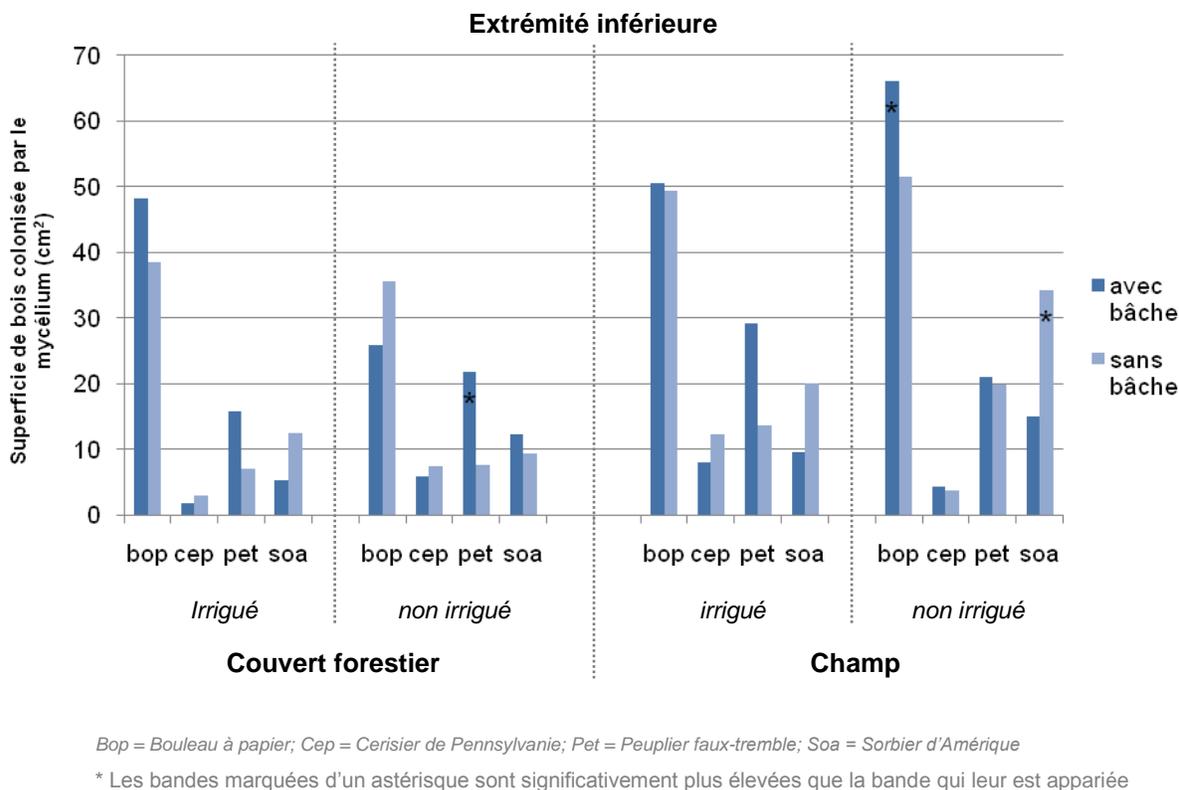
**Figure 23. Superficie de bois colonisé par le mycélium selon l'environnement et l'espèce**

À l'opposé, la face supérieure des billots ne bénéficiait pas du contact direct avec le sol et de l'apport en humidité, ce qui aurait limité l'effet bénéfique de la chaleur. Dans ce cas, si le bouleau à papier est le seul à avoir bénéficié de l'environnement en plein champ, c'est peut-être dû à une meilleure capacité de conserver son humidité, vraisemblablement grâce à son écorce épaisse et robuste. D'ailleurs, la teneur en eau observée chez les billots de bouleau à papier tout au long de l'expérience était généralement élevée comparativement aux autres espèces (voir section 4.5).

#### 4.6.4 Facteur *recouvrement*

Le fait de recouvrir ou non les billots avec une bâche semble avoir eu un effet sur le développement du mycélium exclusivement dans certaines conditions. Les extrémités inférieures des billots ont été significativement plus colonisées par le mycélium de shiitake avec l'utilisation d'une bâche, et ce, uniquement 1) chez le bouleau à papier non-irrigué et situé en champs ( $p=0,01$ ) et 2) chez le peuplier faux-tremble non-irrigué situé en forêt ( $p=0,02$ ). Il semble aussi que le peuplier faux-tremble tire avantage de l'utilisation de la bâche dans les autres situations, mais ces différences ne sont pas significatives. À l'inverse, l'utilisation de la bâche a nui à la colonisation du shiitake de l'extrémité inférieure des billots chez le sorbier d'Amérique non-irrigué situé en champ (Figure 24). Dans tous les autres cas, les différences ne sont pas significatives.

Pour ce qui est de la croissance de mycélium à l'extrémité supérieure des billots, l'utilisation de bâche apparait n'avoir eu aucun effet sur la croissance du mycélium et ce, peu importe la combinaison de traitement.



**Figure 24. Superficie de bois colonisé par le mycélium selon le recouvrement et l'espèce**

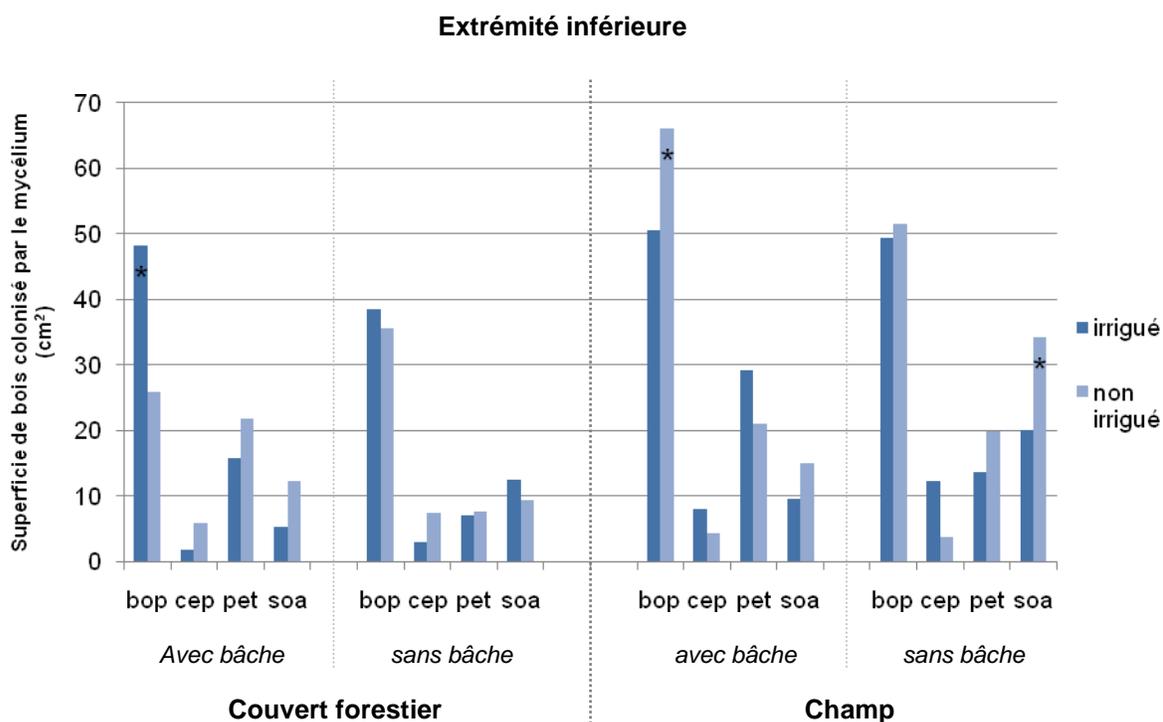
Certaines hypothèses peuvent être émises pour expliquer ces résultats. Par exemple, en champ, nous savons que la température sous une bâche non irriguée est généralement de 1° C plus élevée qu'à l'air libre durant la nuit (voir section 4.1.2). Aussi, nous savons que l'air ambiant y est considérablement plus sec qu'à l'air libre durant les mois les plus chauds (voir section 4.2), d'autant plus qu'il n'y tombe aucune précipitation. Ainsi, il se pourrait que le mycélium de shiitake croissant sur le bouleau à papier ait tiré avantage de cette température nocturne plus élevée, sans être affecté par l'air plus sec ou le manque de précipitation, puisqu'il semble que le bouleau a une bonne capacité à retenir son humidité interne. Si, dans ces mêmes conditions, le sorbier d'Amérique s'est comporté de manière inverse, c'est peut-être parce qu'il ne pouvait y maintenir une teneur en eau convenable. Ainsi, la bâche utilisée en plein champ ne serait favorable que pour les espèces ayant une bonne capacité à retenir leur humidité.

Sous couvert forestier, nous savons que l'utilisation d'une bâche sans irrigation n'a que très peu d'effet sur la température ou sur le taux d'humidité de l'air ambiant (voir section 4.1.2). Par contre, il est clair que l'utilisation de la bâche bloque la pluie, et c'est peut-être

ce qui a favorisé la croissance du mycélium chez le peuplier faux-tremble. En effet, puisque cette espèce semble plus vulnérable aux moisissures présentes dans la nature (voir section 4.6.1), il est probable que l'absence de contact avec l'eau ait réduit leur prolifération, ce qui aurait réduit la compétition pour le shiitake et favorisé sa croissance.

#### 4.6.5 Facteur irrigation

L'irrigation des billots semble avoir eu un effet exclusivement dans certaines conditions. Les billots soumis à l'irrigation ont vu leur extrémité inférieure davantage marquée par le mycélium de shiitake, et ce, uniquement chez le bouleau à papier sous une bâche et situé sous couvert forestier. À l'inverse, l'irrigation semble avoir nui à la croissance du shiitake sur l'extrémité inférieure des billots 1) chez le bouleau à papier sous une bâche situé en champ et 2) chez le sorbier d'Amérique sans bâche situé en champ (Figure 25). Dans tous les autres cas, les écarts liés à l'effet des traitements n'ont pu être distingués des écarts dus au hasard, comme le témoignent les comparaisons statistiques par contrastes. Parallèlement, l'irrigation apparaît n'avoir eu aucun effet sur la colonisation du mycélium à l'extrémité supérieure des billots, et ce, peu importe la combinaison de traitements.



Bop = Bouleau à papier; Cep = Cerisier de Pennsylvanie; Pet = Peuplier faux-tremble; Soa = Sorbier d'Amérique

\* Les bandes marquées d'un astérisque sont significativement plus élevées que la bande qui leur est appariée

**Figure 25. Superficie de bois colonisé par le mycélium selon l'irrigation, l'environnement et l'espèce**

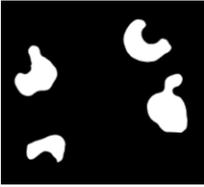
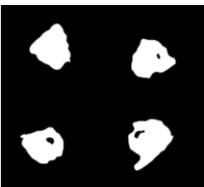
En champ, il est surprenant que l'irrigation ait eu un effet négatif sur la croissance du shiitake, que ce soit chez le sorbier d'Amérique sans bâche ou le bouleau à papier avec bâche. Dans un tel environnement, sec de surcroît, il aurait semblé plus logique que le mycélium de shiitake bénéficie d'un apport en eau et croisse davantage. Peut-être que l'irrigation a tout simplement favorisé la croissance de l'herbe située sous les parcelles en question, ce qui aurait créé un microclimat plus frais autour de l'extrémité inférieure des billots. Toutefois, aucune attention n'a été portée à l'herbe entourant les parcelles, et cette hypothèse n'a pas été vérifiée sur le terrain.

En forêt, il semble logique que l'irrigation ait eu un effet positif sur la croissance du shiitake chez le bouleau à papier situé sous une bâche. Dans cette situation, le mycélium de shiitake contenu dans les billots tire avantage de l'irrigation, puisque les précipitations naturelles sont bloquées.

#### **4.7 Analyse fractale**

Bien que l'analyse fractale s'avère pertinente pour quantifier la croissance du mycélium en laboratoire, elle ne semble pas adaptée à la culture sur billot. En effet, contrairement à la culture *in vitro*, la culture sur billot ne permet pas de distinguer clairement les hyphes primaires, secondaires et tertiaires, ce qui diminue grandement la dimension fractale du mycélium et la pertinence de la démarche.

Néanmoins, les quelques images sélectionnées ont été analysées et une dimension fractale a été calculée pour chacune d'elles à l'aide du logiciel. À titre indicatif, quelques une des images et leur dimension fractale sont présentées ici (Tableau 7). Vu le faible nombre d'images traitées, il est difficile d'établir une relation entre la dimension fractale et l'un ou l'autre des traitements expérimentaux. Il pourrait tout de même être intéressant de vérifier si un lien existe entre la dimension fractale et la quantité de champignons produits lors des phases ultérieures du projet.

Image analysée	Dimension fractale	Espèce	Environnement	Recouvrement	Bâche
	1.65929	Bouleau à papier	Forêt	Avec bâche	Non irrigué
	1.63881	Bouleau à papier	Forêt	Avec bâche	Non irrigué
	1.68921	Bouleau à papier	Forêt	Avec bâche	Irrigué
	1.78289	Bouleau à papier	Forêt	Sans bâche	Non irrigué
	1.72330	Bouleau à papier	Forêt	Sans bâche	Non irriguée
	1.78201	Bouleau à papier	Forêt	Sans bâche	Non irrigué
	1.75063	Bouleau à papier	Forêt	Avec bâche	Irrigué

**Tableau 7. Dimensions fractales des formes irrégulières causées par le mycélium de shiitake à l'extrémité des billots**

## **4.8 Discussion générale et recommandations**

### 4.8.1 Portée des résultats

Il est important de souligner que cette expérience s'est déroulée durant la première saison suivant l'inoculation des billots. Ainsi, les résultats ne concernent que la phase d'incubation et il demeure difficile de prévoir la production future de champignons à partir des données concernant la croissance du mycélium. Il est possible, par exemple, qu'un billot très colonisé par le mycélium de shiitake après la première année produise des champignons plus rapidement qu'un autre billot moins colonisé, sans pour autant avoir une production totale supérieure. De même, les traitements ayant favorisé la croissance du mycélium durant la phase d'incubation ne favoriseront peut-être pas la fructification (production de champignons) durant les années subséquentes. Par exemple, même si l'environnement *en plein champ* a favorisé la croissance du mycélium durant la première année, il est fort probable que les billots finiraient par s'y assécher, empêchant ainsi toute fructification lors des années subséquentes. La poursuite de l'expérience ces deux prochaines années permettra d'établir un lien entre la croissance du mycélium et la production de champignons et de connaître les traitements qui favorisent spécifiquement la production de champignons.

Également, il est à noter que l'été 2010 fut généralement bénéfique pour l'agriculture, avec des températures relativement chaudes, des précipitations suffisantes et un bon ensoleillement. Dans d'autres conditions, il est possible que les résultats de l'expérience eussent été différents. Par exemple, si les billots avaient été placés en plein champ durant un été de sécheresse, cela aurait pu nuire au développement du mycélium. D'autre part, un été frais et pluvieux aurait peut-être eu pour effet de réduire l'écart de conditions climatiques entre le couvert forestier et le champ. Il serait donc pertinent d'inoculer de nouveaux billots durant les phases ultérieures du projet afin de mesurer la variabilité occasionnée par les particularités météorologiques de chaque saison.

Dans un autre ordre d'idée, il est fort probable que l'Estuaire du Saint-Laurent et son action tempérante influence la croissance du shiitake à la Coopérative Gaïa. Lors de l'expérience, les billots étaient situés à une distance de 300 à 500 m de l'Estuaire. Une telle proximité avec cette importante masse d'eau rafraîchit considérablement les journées d'été, ce qui peut nuire à l'incubation du mycélium qui préfère croître à une température relativement chaude (voir section 2.3). Par exemple, ceci pourrait expliquer pourquoi le mycélium s'est développé davantage en plein champ que sous couvert forestier lors de l'expérience. À quelques kilomètres de la côte, le mycélium se serait peut-être comporté différemment.

Finalement, rappelons que cette étude n'a été menée qu'avec une seule souche de shiitake. Il est possible que d'autres souches réagissent différemment aux traitements, et pour cela, il serait intéressant d'en faire l'essai lors de phases ultérieures.

#### 4.8.2 Sources de variabilité non contrôlées

L'absence d'effet évident des facteurs *irrigation* et *recouvrement* ne signifie pas nécessairement que ceux-ci ont peu d'effet dans la réalité. En fait, il est possible que l'expérience à ce stade n'ait pas réussi à bien isoler l'effet de ces facteurs, en raison de certaines sources de variabilité non contrôlées. Premièrement, une assez grande disparité dans la dimension et la provenance des billots a certainement augmenté la variabilité des résultats, réduisant ainsi la possibilité de déceler l'effet des traitements. Deuxièmement, il est probable que les conditions n'aient pas été uniformes à l'intérieur de l'un ou l'autre des environnements. Par exemple, certaines sous-parcelles situées sous couvert forestier se trouvaient à seulement quelques mètres de la bordure de la plantation, et étaient ainsi un peu plus exposées aux courants d'air, au soleil et aux intempéries. Aussi, la surface du sol dans la plantation était bosselée, créant des dépressions plus humides et des buttes plus sèches, ce qui peut avoir un impact sur la teneur en eau des billots. En plein champ, les parcelles situées au milieu du dispositif étaient moins exposées aux vents que celles situées en périphérie. En bref, il aurait pu être possible de mieux cerner l'effet des traitements *irrigation* et *recouvrement* si les sources de variations avaient été mieux contrôlées.

#### 4.8.3 Recommandations

Malgré la portée limitée de l'expérience et les sources de variations non contrôlées, certains résultats retiennent l'attention et justifient que d'autres essais soient réalisés en forêt boréale, notamment lors des phases ultérieures du projet. Voici quelques recommandations à cet effet :

- 1) Privilégier l'utilisation du bouleau à papier comme substrat de croissance pour le shiitake, notamment en raison de sa performance lors de la phase d'incubation, mais également parce que le mycélium visible aux extrémités est facile à distinguer et à mesurer;
- 2) Favoriser un type d'empilement où les billots se trouvent le plus près possible du sol, de manière à tirer profit de l'humidité durant la phase d'incubation. En effet, les résultats ont montré que la croissance du mycélium de shiitake était beaucoup plus importante sur l'extrémité touchant au sol que sur l'extrémité supérieure. Cette recommandation pourra être mise à l'essai lors de la phase II du projet, si de nouveaux billots sont inoculés;
- 3) Les résultats laissent présager que la faible température qui prévaut sous couvert forestier limite considérablement la croissance du mycélium à l'intérieur des billots. Ainsi, même si un milieu ouvert aura tendance à assécher les billots, il pourrait être envisageable d'y installer les billots durant la première année suivant leur inoculation. Par la suite, pour éviter une dessiccation trop importante, les billots pourraient être transférés vers un site ombragé et plus tempéré, comme un couvert forestier. Par mesure de précaution, cette recommandation ne devrait être appliquée que pour les

espèces ayant une bonne capacité à retenir leur humidité, et dans des régions au climat frais et tempéré par le fleuve, comme celui de Pointe-aux-Outardes.

Cette recommandation pourra être mise à l'essai lors de la phase II, en transférant une partie des billots situés en plein champ vers le couvert forestier.

- 4) Éviter d'inoculer des billots de moins de 122 cm (4 pi), puisque les billots plus courts semblent s'assécher plus rapidement. Cette recommandation pourra être mise à l'essai lors de la phase II du projet, si de nouveaux billots sont inoculés.



## **5. RETOMBÉES**

### ***5.1 Sur la Coopérative de Solidarité Gaïa***

Les résultats de cette première phase donnent de bonnes pistes à la Coopérative de Solidarité Gaïa pour la poursuite de ses activités de culture de shiitake. D'autre part, la participation de la Coopérative à ce projet de recherche crée un effet de levier en favorisant l'implication d'organismes externes dans le développement de la filière shiitake dans l'entreprise. Par exemple, ce projet d'étude a suscité beaucoup d'intérêt auprès des membres de la coopérative, des partenaires, et de la population, encourageant ainsi le développement de produits novateurs et la diversification, en plus de leur permettre de développer une expertise. D'ailleurs, la Coopérative élabore présentement un plan de mise en marché du shiitake frais et transformé.

### ***5.2 Sur l'enseignement et la formation***

Ce projet a bénéficié de la participation de M. Oscar Gagné, professeur en biostatistiques au département de mathématiques du Cégep de Baie-Comeau. En dirigeant la confection du plan expérimental, le traitement des données et les analyses statistiques, M. Gagné a été poussé à approfondir ses connaissances et à se perfectionner dans son domaine.

### ***5.3 Sur le CEDFOB***

Ce projet de culture de champignons sur billots a d'abord permis au CEDFOB de consolider son expertise dans le domaine des produits forestiers non ligneux, de la culture sous couvert forestier et de l'utilisation du bois à des fins non conventionnelles. De plus, en s'alliant à un professeur de biostatistiques, les chercheurs du CEDFOB ont considérablement amélioré leurs compétences dans la planification d'expériences factorielles et dans le traitement statistique de données expérimentales. M. Gagné a su expliquer et vulgariser toutes les analyses effectuées et transférer ses connaissances auprès des chercheurs du CEDFOB, qui ont reçu l'équivalent d'une solide formation en biostatistiques. Finalement, le CEDFOB a eu l'occasion d'établir un partenariat avec une entreprise agroforestière locale, ouvrant la porte à d'autres projets éventuels.

### ***5.4 Sur le développement du milieu socio-économique***

La culture du shiitake sur billot permet de diversifier les revenus que peut nous apporter la forêt boréale en permettant de mettre en valeur certaines espèces d'arbres souvent sous-utilisées. Mais pour y arriver, la poursuite de la recherche appliquée sur la culture du shiitake sur billot est primordiale. Elle permettra à d'éventuels producteurs d'estimer les rendements, et d'optimiser la production.

Nous espérons que les résultats de la première phase de ce projet sauront encourager de nouvelles initiatives dans différentes régions du Québec. Ceux-ci seront diffusés gratuitement par le CEDFOB, notamment sur son site internet ou lors de conférences.



## 6. CONCLUSION

La réalisation de la première phase de ce projet a permis de vérifier la plupart des hypothèses de départ. D'abord, il a été démontré que le bouleau à papier présente un bon substrat de croissance pour le shiitake, comparativement au peuplier faux-tremble et au sorbier d'Amérique. Quant au cerisier de Pennsylvanie, les résultats ont été considérés comme étant biaisés et nous recommandons que cette espèce fasse l'objet d'essais ultérieurs. Les résultats démontrent également une plus grande croissance du mycélium de shiitake à l'intérieur des billots situés en plein champ que ceux situés sous couvert forestier. Cet écart considérable est notamment dû à une différence de température importante entre les deux milieux. Il est à prévoir que les billots maintenus une deuxième année en plein champ s'assècheront, ce qui nuira éventuellement à la croissance du shiitake. L'effet de l'irrigation et du recouvrement par une bâche semble présent uniquement lorsqu'ils sont combinés à certains traitements, mais les résultats sont parfois contradictoires, ce qui rend l'interprétation difficile. D'autres essais devraient être réalisés afin de tester l'effet de ces facteurs, notamment en tentant de réduire les sources de variabilités externes, comme la dimension des billots.

Ce projet devrait se poursuivre au moins durant les deux prochaines années afin d'établir le lien entre la croissance du mycélium et la production de champignons, et de connaître les traitements qui favorisent la production de champignons.



## RÉFÉRENCES

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2007. N. De Baets, S. Gariépy et A. Vézina. Le portrait de l'agroforesterie au Québec. Bersion électronique disponible à : [http://www4.agr.gc.ca/resources/prod/doc/terr/pdf/som\\_portrait\\_qc\\_final\\_f.pdf](http://www4.agr.gc.ca/resources/prod/doc/terr/pdf/som_portrait_qc_final_f.pdf)

Alabama Cooperative Extension System – University of Alabama. *Shiitake mushroom production on logs*.

ASHRAFUZZAMAN<sup>1,2\*</sup>, A. K. M. Kamruzzaman<sup>1</sup>, M. Razi Ismail<sup>2</sup>, S. M. 2009. *Substrate affects growth and yield of shiitake mushroom*. Afr. J. Biotechnol. Vol. / (13), pp. 2999-3006.

BRAUER, D., T. Kimmons, M. Phillips. 2002 *Effects of management on the yield and high molecular weight polysaccharide content of shiitake mushrooms*. J. Agric Food Chem. 50:5333-5337.

CARDOSO QUEIROZ, E., Helena Marino, R., Ferreira da Eira, A. 2004. *Mineral supplementation and productivity of the shiitake mushroom on eucalyptus logs*. Sci. Agric. V.61, n.3, p.260-265.

CHANG ST, Miles, PG. 2004. *Mushrooms : Cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact*, 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, FL.

COLLIN, J. 2006. *Dispositifs expérimentaux. Notes du cours de 2<sup>e</sup> cycle « Dispositifs expérimentaux BVG-60678 »*. Université Laval.

Conférence régionale des élus de la Gaspésie-Iles de La Madeleine. 2008. *Culture de champignons sur billots et souches – Guide technique*.

Environnement Canada. [page Web visitée le 29 novembre 2010]. Normales climatiques au Canada 1971-2000. Adresse URL :

[http://www.climat.meteo.gc.ca/climate\\_normals/results\\_f.html?Province=ALL&StationName=baie-comeau&SearchType=BeginsWith&LocateBy=Province&Proximity=25&ProximityFrom=City&StationNumber=&IDType=MSC&CityName=&ParkName=&LatitudeDegrees=&LatitudeMinutes=&LongitudeDegrees=&LongitudeMinutes=&NormalsClasses=A&SelNormals=&StnId=5662&&autofwd=1](http://www.climat.meteo.gc.ca/climate_normals/results_f.html?Province=ALL&StationName=baie-comeau&SearchType=BeginsWith&LocateBy=Province&Proximity=25&ProximityFrom=City&StationNumber=&IDType=MSC&CityName=&ParkName=&LatitudeDegrees=&LatitudeMinutes=&LongitudeDegrees=&LongitudeMinutes=&NormalsClasses=A&SelNormals=&StnId=5662&&autofwd=1)

Environnement Canada. [page Web visitée le 16 janvier 2011]. Rapport de données quotidiennes. Adresse URL :

[http://www.climat.meteo.gc.ca/climateData/dailydata\\_f.html?Prov=XX&timeframe=2&StationID=30173&Day=1&Month=11&Year=2010&cmdB1=Allez](http://www.climat.meteo.gc.ca/climateData/dailydata_f.html?Prov=XX&timeframe=2&StationID=30173&Day=1&Month=11&Year=2010&cmdB1=Allez)

GRODZINSKAYA AA, Infante HD, Piven NM. 2003. *Cultivation of edible mushrooms using agricultural and industrial wastes*. Agronomia-Tropical-Maracay, 52(4): 427-447.

HARRIS B. 1986. *Growing shiitake commercially*. Science Technology, Madison, WI.

Institut des nutraceutiques et des aliments fonctionnels. Passeport Santé.net. Shiitake. Profil santé. [Page Internet consultée le 17 février 2010].

[http://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/EncyclopedieAliments/Fiche.aspx?doc=shiitake\\_nu#P105\\_15004](http://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/EncyclopedieAliments/Fiche.aspx?doc=shiitake_nu#P105_15004)

IVAN HR, Antonio CM, Jose OM, Jose CB. 2003. *Supplementation of sugarcane bagasse with rice bran and sugarcane molasses for shiitake (Lentinula edodes) spawn production*. Brazil J. Microbiol., 34: 61-65.

KAWAKAMI, S., K. Minato., K. Tokimo., N. Fujita, M., Mizuno. 2004. *Changes of lentinan contents and glucanase activity in lentinus edodes*. Singerstored under controlled atmosphere. Intern. J. Med. Mushrooms 6:57-62.

LETHIELLEUX-JUGE, C. 2008. *Étude morphologique de l'architecture fine du mycelium de champignons mychoriziens arbusculaires du genre Glomus*. Thèse de doctorat. Département des sciences du bois et de la forêt. Faculté de foresterie et de géomatique. Université Laval. Québec.

MIZUNO, T.1995. Shiitake, Lentinus edodes : functional properties for medicinal and food purposes. Food Rev. Int. 11(1): 111-128.

Mycoflor. 2010. [site Internet visité le 23 février 2010]. Adresse URL : [www.mycoflor.ca](http://www.mycoflor.ca)

North Carolina Cooperative Extension service - North Carolina State University. College of agriculture and life science. Jeanine Davis. *Producing shiitake mushrooms – A guide for small-scale outdoor cultivation on logs*.

TENNANT D., A., 1975. *A test of a modified line intersect method of estimating root length*. J. Ecol., 603: 995-1001.

TOKIMOTO, K. 2005. The Tottori Mycological Institute. *Shiitake log cultivation*. Mushroom Grower's handbook 2 (chapter 3). Édité par MushWorld.

TRICOT, C. 1999. *Courbes et dimension fractale*. Deuxième édition. Éditions Springer.

Université de Moncton. *Culture de champignons sur billes en sous-bois*. Guide technique - Pour diversifier les produits en forêt et ses revenus. Juillet 2008.

WASSER SP. 2002. *Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides*. Appl. Microbiol. Biotechnol. 60:258-274

ZHANXI, Lin. Juanco Research Institute, Fujian Agriculture and Forestry University. *Shiitake log cultivation*. Mushroom Grower's handbook 2 (chapter 4). Édité par MushWorld.

**ANNEXE I**

**TABLEAUX DES ANALYSES DE VARIANCE**



Variable réponse: *S\_myc\_inf*

Facteur	Abréviation
Lieu	L
Irrigation	I
Recouvrement	R
Espèce	E

---

**ANOVA (TYPE I)**

---

Source	DI	SC	CM	F	Prob
<b>Modèle</b>	95	93 704,4786	986,3629		
<b>Parcelles principales</b>	11	9 531,7460	866,5224	3,6765	
Lieu	1	6 831,3269	6 831,3269	28,9839	0,000659
Irrigation	1	154,1631	154,1631	0,6541	0,442043
L*I	1	660,7023	660,7023	2,8032	0,132609
Erreur a)	8	1 862,3951	232,7994		
<b>Sous-Parcelles</b>	12	12 409,4768	1 034,1231	3,0360	
Recouvrement	1	32,9518	32,9518	0,0967	0,763727
R * L	1	14,7319	14,7319	0,0433	0,840451
R * I	1	12,8754	12,8754	0,0378	0,850692
R* L * I	1	34,6025	34,6025	0,1016	0,758096
Erreur b)	8	2 724,9646	340,6206		
<b>Sous-Sous-Parcelles</b>	72	93 704,4786	1 301,4511	6,8558	
Espèce	3	62 510,9837	20 836,9946	109,7656	0,000000
E * L	3	1 958,6224	652,8741	3,4392	0,023970
E * I	3	690,6421	230,2140	1,2127	0,315242
E * R	3	2 640,4566	880,1522	4,6365	0,006310
E * L * I	3	2 055,1212	685,0404	3,6087	0,019781
E * L * R	3	1 186,1954	395,3985	2,0829	0,114858
E * I * R	3	104,2704	34,7568	0,1831	0,907374
E * L * I * R	3	1 996,9090	665,6363	3,5065	0,022209
Erreur c)	48	9 111,9264	189,8318		
<b>Erreur échantillonnale</b>	167	29 808,9303			
<b>Total</b>	262	123 513,4088			

---

Variable réponse: S\_myc\_sup

<b>Facteur</b>	<b>Abréviation</b>
Lieu	L
Irrigation	I
Recouvrement	R
Espèce	E

---

**ANOVA (TYPE I)**

---

<b>Source</b>	<b>DI</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>Prob</b>
<b>Modèle</b>	95	25 669,6388	270,2067		
<b>Parcelles principales</b>	11	999,0383	90,8217	0,8265	
Lieu	1	107,4506	107,4506	0,9778	0,351707
Irrigation	1	12,3615	12,3615	0,1125	0,745955
L*I	1	0,0906	0,0906	0,0008	0,977791
Erreur a)	8	878,5956	109,8244		
<b>Sous-Parcelles</b>	12	1 663,9262	138,6605	2,2266	
Recouvrement	1	16,7171	16,7171	0,2684	0,618396
R * L	1	19,3273	19,3273	0,3104	0,592698
R * I	1	83,4103	83,4103	1,3394	0,280521
R* L * I	1	49,4212	49,4212	0,7936	0,399008
Erreur b)	8	498,1880	62,2735		
<b>Sous-Sous-Parcelles</b>	72	25 669,6388	356,5228	10,4138	
Espèce	3	20 330,1739	6 776,7246	197,9446	0,000000
E * L	3	679,3028	226,4343	6,6140	0,000787
E * I	3	66,4118	22,1373	0,6466	0,588910
E * R	3	321,9653	107,3218	3,1348	0,033931
E * L * I	3	323,1403	107,7134	3,1463	0,033489
E * L * R	3	116,7856	38,9285	1,1371	0,343582
E * I * R	3	194,9402	64,9801	1,8980	0,142520
E * L * I * R	3	277,4734	92,4911	2,7016	0,055903
Erreur c)	48	1 643,3024	34,2355		
<b>Erreur échantillonnale</b>	167	6 546,3319			
<b>Total</b>	262	32 215,9707			

---

## **ANNEXE II**

### **COMPARAISONS PAR CONTRASTES QUALITATIFS**



Variable réponse: *S\_myc\_inf*

**Contrastes espèce**

traitement	bop	cep	pet	soa
moyenne	45,74	6,00	16,25	14,91
n	72	65	55	71

Comparaisons	Coefficients				Q	S c <sub>ij</sub> <sup>2</sup> /n <sub>ij</sub>	F	Prob
Bop Vs Cep-Pet-Soa	-3	1	1	1	-100,053779	0,17265094	305,442229	1,9035E-22
Cep Vs Bob-Pet-Soa	1	-3	1	1	58,8903951	0,18461675	98,957534	3,006E-13

**CME** 189,83

Variable réponse: *S\_myc\_inf*

**Contrastes lieu\*espèce**

identifiant	1	2	3	4	5	6	7	8
traitement	bop	bop	cep	cep	pet	pet	soa	soa
	foret	champ	forêt	champ	forêt	champ	foret	champ
moyenne	37,06	54,42	4,61	7,53	13,21	19,91	9,92	20,04
n	36	36	34	31	30	25	36	35

Comparaisons	Coefficients								Q	S c <sub>ij</sub> <sup>2</sup> /n <sub>ij</sub>	F	Prob
1 Vs 2	-1	1	0	0	0	0	0	0	17,3545	0,05555556	28,5579975	2,4753E-06
3 Vs 4	0	0	-1	1	0	0	0	0	2,91156736	0,06166983	0,72412239	0,39902027
5 Vs 6	0	0	0	0	-1	1	0	0	6,70074667	0,07333333	3,22534374	0,07880223
7 Vs 8	0	0	0	0	0	0	-1	1	10,1143746	0,05634921	9,56359773	0,00330291

**CME** 189,83

Variable réponse: *S\_myc\_inf*

**Contrastes recouvrement \* espèce**

identifiant	1	2	3	4	5	6	7	8
traitement	bop	bop	cep	cep	pet	pet	soa	soa
	bâche	sans bâche						
moyenne	47,70	43,78	5,09	6,89	21,11	12,20	10,59	18,88
n	36	36	32	33	25	30	34	37

Comparaisons	Coefficients								Q	S c <sub>ij</sub> <sup>2</sup> /n <sub>ij</sub>	F	Prob
1 Vs 2	-1	1	0	0	0	0	0	0	-3,92483333	0,05555556	1,46064938	0,23274707
3 Vs 4	0	0	-1	1	0	0	0	0	1,80306913	0,06155303	0,27823154	0,60029249
5 Vs 6	0	0	0	0	-1	1	0	0	-8,91299333	0,07333333	5,70659133	0,02088072
7 Vs 8	0	0	0	0	0	0	-1	1	8,28580127	0,05643879	6,40799779	0,01469046

**CME** 189,83



Variable réponse: *S\_myc\_inf*

**Contrastes espèce\*irrigation\*recouvrement\*lieu**

identifiant	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
traitement	Bop forêt irrigué	Bop forêt irrigué	Bop forêt non irrigué	Bop forêt non irrigué	Bop champ irrigué	Bop champ irrigué	Bop champ non irrigué	Bop champ non irrigué	cep forêt irrigué	cep forêt irrigué	cep forêt non irrigué	cep forêt non irrigué	cep champ irrigué	cep champ irrigué	cep champ non irrigué	cep champ non irrigué	pet forêt irrigué	pet forêt irrigué	pet forêt non irrigué	pet forêt non irrigué	pet champ irrigué	pet champ irrigué	pet champ non irrigué	pet champ non irrigué	soa forêt irrigué	soa forêt irrigué	soa forêt non irrigué	soa forêt non irrigué	soa champ irrigué	soa champ irrigué	soa champ non irrigué	soa champ non irrigué	
moyenne	48,27	38,60	25,82	35,56	50,63	49,45	66,08	51,50	1,91	3,00	5,80	7,38	7,96	12,27	4,35	3,68	15,73	7,16	21,89	7,61	29,22	13,71	20,96	19,89	5,40	12,50	12,32	9,45	9,62	20,01	15,11	34,26	
n	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7	9	9	9	9	5	8	7	7	8	8	4	7	6	8	9	10	8	9	8	9	9	9	9

Comparaisons	Coefficients																																Q	$S c_i^2/n_i$	F	Prob
1 vs 2	1	-1																																	9,67766667	
3 Vs 4			1	-1																															-9,74444444	
5 Vs 6					1	-1																													1,18655556	
7 Vs 8							1	-1																											14,5795556	
9 Vs 10								1	-1																										-1,09285714	
11 Vs 12										1	-1																								-1,57755556	
15 vs 16												1	-1																						0,663775	
17 Vs 18														1	-1																				8,573	
19Vs20																	1	-1																	14,281125	
21 Vs 22																		1	-1																15,5072857	
23 Vs 24																				1	-1														1,07258333	
25 Vs 26																						1	-1												-7,10284444	
27 vs 28																								1	-1										2,87452778	
29 Vs 30																										1	-1								-10,3891944	
31 Vs 32																												1	-1						-19,1496667	
1 Vs 3	1		-1																																22,4562222	
2 Vs 4		1		-1																															3,03411111	
5 Vs 7					1																														-15,4523333	
6 Vs 8						1																													-2,05933333	
9 Vs 11							1																												-3,891	
10 Vs 12								1																											-4,37569841	
13 Vs 15													1																						3,61048889	
14 Vs 16														1																					8,58870833	
17 Vs 19																	1																		-6,156375	
18 Vs 20																		1																	-0,44825	
21 Vs 23																						1													8,26116667	
22 Vs 24																							1												-6,17353571	
25 Vs 27																									1										-6,92719444	
26 Vs 28																										1									3,05017778	
29 Vs 31																											1								-5,49019444	
30 Vs 32																													1						-14,2506667	

CME 189,83

Variable réponse: *S\_myc\_sup*

**Contrastes espèce**

traitement	bop	cep	pet	soa
moyenne	45,74	6,00	16,25	14,91
n	72	65	55	71

Comparaisons	Coefficients				Q	$S c_{ij}^2/n_{ij}$	F	Prob
bop Vs cep-pet-soa	-3	1	1	1	-56,7245801	0,17230449	545,468591	7,3258E-28
cep Vs bob-pet-soa	1	-3	1	1	34,5150495	0,17727549	196,287238	1,3952E-18
cep Vs pet	0	0	1	-1	-0,8692533	0,03083804	0,71569776	0,40175657

**CME** 34,24

Variable réponse: *S\_myc\_sup*

**Contrastes lieu\*espèce**

identifiant	1	2	3	4	5	6	7	8
traitement	bop	bop	cep	cep	pet	pet	soa	soa
	forêt	champ	forêt	champ	forêt	champ	forêt	champ
moyenne	37,06	54,42	4,61	7,53	13,21	19,91	9,92	20,04
n	36	36	34	31	30	25	36	35

Comparaisons	Coefficients								Q	$S c_{ij}^2/n_{ij}$	F	Prob
1 Vs 2	-1	1	0	0	0	0	0	0	6,23569048	0,05634921	20,1560326	4,4726E-05
3 Vs 4	0	0	-1	1	0	0	0	0	-0,46561991	0,05887446	0,10756226	0,74436305
5 Vs 6	0	0	0	0	-1	1	0	0	-2,32484447	0,06797235	2,32262597	0,13406666
7 Vs 8	0	0	0	0	0	0	-1	1	1,37363707	0,05559846	0,99129983	0,32441777

**CME** 34,235

Variable réponse: *S\_myc\_sup*

**Contrastes recouvrement \* espèce**

identifiant	1	2	3	4	5	6	7	8
traitement	bop	bop	cep	cep	pet	pet	soa	soa
	bâche	sans bâche						
moyenne	47,70	43,78	5,09	6,89	21,11	12,20	10,59	18,88
n	36	36	32	33	25	30	34	37

Comparaisons	Coefficients								Q	$S c_{ij}^2/n_{ij}$	F	Prob
1 Vs 2	-1	1	0	0	0	0	0	0	-0,96123571	0,05634921	0,47895614	0,4922299
3 Vs 4	0	0	-1	1	0	0	0	0	2,16018095	0,05887446	2,31513911	0,13468086
5 Vs 6	0	0	0	0	-1	1	0	0	-2,11901282	0,06876457	1,90733159	0,17365623
7 Vs 8	0	0	0	0	0	0	-1	1	3,25983333	0,05555556	5,58710784	0,02218903

**CME** 34,24

Variable réponse: *S\_myc\_sup*

**Contrastes espèce\*irrigation\*lieu**

identifiant	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
traitement	bop foret irrigué	bop foret sec	bop champ irrigué	bop champ sec	cep foret irrigué	cep foret sec	cep champ irrigué	cep champ sec	pet foret irrigué	pet foret sec	pet champ irrigué	pet champ sec	soa foret irrigué	soa foret sec	soa champ irrigué	soa champ sec
moyenne	43,43	30,69	50,04	58,79	2,39	6,59	10,12	3,94	11,45	14,75	19,35	20,34	9,13	10,80	15,12	24,68
n	18	18	18	18	16	18	18	13	14	16	11	14	19	17	17	18

Comparaisons	Coefficients																Q	$S c_{ij}^2/n_{ij}$	F	Prob
1 vs 2	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,28555556	0,11111111	1,3732507	0,24703802
3 Vs 4	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4,81174837	0,11437908	5,91266064	0,01881452
5 Vs 6	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,27425556	0,12222222	0,38804907	0,5362753
7 Vs 8	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	1,941	0,11437908	0,96211771	0,33157214
9 Vs 10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	-3,6296125	0,12916667	2,97916	0,09077559
11 Vs 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	-0,6820359	0,14358974	0,09462694	0,75970618
13 Vs 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	-0,86996784	0,10818713	0,20434054	0,65327608
15 vs 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	1,03808824	0,11437908	0,27519826	0,60228034