

La production de champignons de spécialité en environnement contrôlé



Fiche technique



Depuis sa création en 2013, l'Association pour la commercialisation des produits forestiers non-ligneux (ACPFNL) est l'organisation sectorielle représentant le milieu des produits forestiers non ligneux (PFNL) à l'échelle de la province et compte des membres dans plusieurs régions du Québec. Les filières principales constituant le secteur des PFNL sont : la filière des champignons (champignons de culture et sauvage), plantes sauvages (médicinales et comestibles), les petits fruits (sauvage et cultivés), les noix nordiques, et le tourisme s'associant avec ces filières (par ex. le mycotourisme)

457 Rue Laval, Joliette, QC J6E 5G9

Joliette, Quebec

www.acpfnl.ca



Rédaction : Samir Chaib - MSc. A. - Coordonnateur de l'ACPFNL

Ce projet a été financé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, dans le cadre de l'Appui au développement de l'agriculture et de l'agroalimentaire en région.

**Agriculture, Pêcheries
et Alimentation**

Québec 

Table des matières

Table des matières	3
Mise en contexte	4
Profil économique sommaire du secteur des champignons	6
Produire des champignons de spécialité en environnement contrôlé	9
Choisir un lieu de culture	9
Les étapes et les équipements requis	11
Le choix d'une souche de mycélium	12
Choisir un substrat de croissance	14
Cultiver dans de la paille	16
Cultiver dans de la sciure de bois.	16
La pasteurisation/stérilisation du substrat	18
Pasteurisation	19
La stérilisation	20
Le choix des contenants de culture	22
Les sacs (sur étagère et suspendus)	22
Les chaudières	23
La fructification	24
Le maintien des conditions optimales	25
Paramètres de succès pour l'implantation	26
Les espèces à haut potentiel commercial (rendement et possibilité)	28
Hygiène et prévention des maladies.	34
Plan de construction et design de la champignonnière	37
Le futur de la culture de champignon	42
Bibliographie	43

Mise en contexte

Depuis des milliers d'années que les champignons sont consommés pour leurs usages nutritionnels et médicaux. Bien que des techniques de production existent depuis longtemps, les techniques et les variétés ont grandement progressé depuis les dernières années et il existe maintenant une trentaine de champignons cultivés de par le monde.

Les champignons sont riches en protéines, vitamines et minéraux et contiennent en général peu de calories. Certaines espèces de champignons auraient des effets bénéfiques sur la santé, y compris les propriétés anticancéreuses et antivirales et le potentiel de réduire le cholestérol et le risque de maladie cardiaque¹. Alors que les médecines alternatives deviennent plus largement acceptées², les opportunités pour les aliments santé et les compléments alimentaires devraient continuer à augmenter.

Le marché des champignons de spécialité est en croissance continue depuis plusieurs années. Les champignons étant de plus en plus reconnus pour leur attrait culinaire ainsi que leurs bienfaits nutritionnels et nutraceutiques ainsi que leur intégration dans l'économie circulaire et la gestion des déchets.

Pour toutes ces raisons, la demande en champignons a fortement augmenté ces dernières années et ne montre aucun signe de ralentissement.

¹Beelman RB, Kalaras MD, Richie JPJ. Micronutrients and bioactive compounds in mushrooms: a recipe for healthy aging? *Nutr Today*. 2019;54(1):16–22.
https://www.mushrooms.ca/wp-content/uploads/2020/01/Micronutrients_and_Bioactive_Compounds_in.5.pdf

²Lacoursière, A. (2016). La guerre des médecines : traditionnelle ou douce ? *La Presse*.
<https://www.lapresse.ca/sciences/medecine/201608/26/01-5014215-la-guerre-des-medecines-traditionnelle-ou-douce.php>

Le Québec possède un avantage compétitif pour cette production par la possibilité pour les producteurs agricoles d'avoir accès à une électricité bon marché. Les champignons de spécialité constituent ainsi une opportunité indéniable pour produire un produit recherché, de manière compétitive et participant des objectifs de développement durable dans l'agriculture³.

Il existe au Québec un intérêt grandissant autant par les consommateurs que les décideurs publics, de transiter notre agriculture d'exportation vers une plus grande autonomie alimentaire. Cette démarche demande une diversification de notre production et l'élaboration de techniques de culture et du transfert de connaissance pour des cultures qui sont encore en émergence ici.

Cette fiche a été réalisée afin d'orienter toute personne qui voudrait démarrer un projet de champignonnière en environnement contrôlé pour la production de champignons de spécialité. Il pourra aussi guider des organismes d'aide au développement et des institutions de financement qui voudraient soutenir des projets de production de ce type.

Nous espérons que ce document sera utile aux conseillers agricoles, aux futurs producteurs ainsi qu'à tous ceux s'intéressant à la culture de champignons de spécialité en environnement contrôlé.

³MAPAQ. (2020). *Plan d'agriculture durable 2020–2030*, Gouvernement du Québec. Gouvernement du Québec.

https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/agriculture-pecherie-alimentation/publications-adm/dossier/plan_agriculture_durable/PL_agriculture_durable_MAPAQ.pdf?1603387733

Profil économique sommaire du secteur des champignons⁴

Il est commun de distinguer la production des champignons en deux grandes catégories, cela à cause de la prévalence des produits dans l'assiette des consommateurs ainsi que dans les méthodes et les quantités produites.

Premièrement, il y a la catégorie des champignons de type *Agaricus* qui cumulait 98 % de la production canadienne en 2017 et une autre catégorie qui inclue tous les autres champignons, que nous désignerons du terme de champignons de spécialité et qui occupera principalement la présente fiche.

En 2017, le recensement de l'agriculture canadien montrait que 19 % des producteurs canadiens de champignons étaient des producteurs d'*Agaricus* et donc que le 81 % restant étaient producteurs de champignons de spécialité. Vingt ans avant, c'étaient 96 % des producteurs qui produisaient de l'*Agaricus*. Cette réalité s'explique par les gains de productivité et les économies d'échelle effectués dans l'industrie de l'*Agaricus* qui a concentré la production au sein de quelques grandes entreprises.

Bien qu'il ait eu des changements importants dans les habitudes de consommation des consommateurs canadiens, les champignons de spécialité restent un marché de niche et les entreprises productrices sont pour la plupart de petites tailles.

Pour illustrer cette différence, il est écrit dans le *Profil économique du secteur du champignon au Canada*: “ (...) l'entreprise d'*Agaricus* moyenne, en 2017, vendait

⁴ Sauf indication, la majorité des informations de cette section proviennent de : Statistiques Canada. (2019). *Profil économique du secteur du champignon au Canada*. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/21-004-x/2019001/article/00001-fra.htm>

2,1 millions de kilogrammes de champignons pour 9,6 millions de dollars en valeur de vente, tandis que l'entreprise de champignons de spécialité moyenne vendait 26 milliers de kilogrammes de champignons et enregistrait 297 077 \$ en valeur de vente.” (p.4)

Nous voyons ainsi que les producteurs de champignons de spécialité bien que majoritaires en nombre, sont toutefois minoritaires dans les quantités et les volumes de ventes produits. Les producteurs de champignons de petite échelle étant pour la plupart des petites entreprises qui visent des marchés locaux.

Le Canada se place huitième parmi les pays producteurs de champignons dans le monde, loin derrière la Chine qui avec ses 7,1 milliards de kg produits en 2016 constitue 72,2 % de la production mondiale. Avec son maigre 1,2 %, le Canada est évidemment preneur de prix lorsqu'il s'agit de faire du commerce international. Dans ce dernier cas, 98,4 % des exportations canadiennes sont faites d'*Agaricus* et 99,5 % de l'exportation de champignons se fait en direction des États-Unis.

Les champignons de spécialité ont quant à eux un profil d'exportation différent. Au Canada, les exportations en champignons de spécialité en 2017 se chiffrent à 601 000 kg vendus pour 8,4 millions de dollars. Selon ces chiffres, à quantité égale, le champignon de spécialité se vend en moyenne 2,6 fois le prix de l'*Agaricus*. De plus, c'est le Japon qui est l'importateur principal de champignon de spécialité canadien avec 83,5 % des quantités produites.

La Colombie-Britannique et l'Ontario produisent la majorité des champignons produits au Canada avec 92 % de la production. En 2017, le Québec produisait 2 % de la production de champignons au Canada avec 2 406 tonnes.

Le marché de la consommation de champignons ainsi que les prix sont assez fluctuants sur les marchés internationaux et locaux. Au Québec par exemple, entre 2018 et 2019

la consommation apparente de champignons frais a chuté de 13,6 % alors que celle des champignons transformés de 5,3 %. ⁵

Les champignons les plus consommés sont ceux du groupe *Agaricus* comme le champignon de Paris ou blanc, le crimini et le portobello. On retrouve aussi de plus en plus en épicerie des champignons de spécialités tels que le pleurote, le shiitake et l'enoki. Les champignons sont généralement consommés frais, en canne ou déshydratés. Malgré un intérêt grandissant, force est de constater que les champignons restent encore un produit peu présent dans le panier du consommateur québécois.

⁵ Gouvernement du Québec. (2018). Profil sectoriel de l'industrie horticole au Québec. p.3

Produire des champignons de spécialité en environnement contrôlé

Choisir un lieu de culture

Bien que l'on puisse produire des champignons sous couvert forestier, sous des bâches, dans des serres non chauffées et des plates-bandes maraîchères; la présente revue de littérature se limite aux champignons des spécialités produits en environnement contrôlé.

Un environnement contrôlé constitue des caractéristiques de culture qui permettent au producteur de pouvoir contrôler des paramètres tels que la lumière, la concentration gazeuse dans l'air (CO²), l'humidité, l'aération et la température.

De telles installations peuvent s'avérer être coûteuses et complexes. Une implantation de dimension industrielle demande nécessairement l'apport d'experts. Toutefois, il est important de considérer que plusieurs types d'établissements ont élaboré des projets-pilotes peu coûteux. Projets desquels les futurs producteurs de champignons québécois peuvent s'inspirer pour trouver des manières innovantes d'abaisser leurs coûts tout en assurant une efficacité maximale de leurs installations.

Pour une question de coût, plusieurs champignonnières vont ainsi choisir d'utiliser des infrastructures existantes pour la production de leurs champignons. Les conteneurs de type utilisé pour les cargos maritimes sont très à la vogue pour permettre des productions à petites échelles. Étant étanches et faits de surfaces lisses, ils constituent des espaces clos où il est facile de contrôler les paramètres tels l'humidité et les taux

de gaz carbonique. L'espace d'un tel conteneur bien que restreint peut devenir modulaire si l'on en connecte plusieurs afin d'ainsi créer différentes salles à usages différents (inoculation, pasteurisation, fructification et manutention). Ce type de structure peut aussi s'avérer difficile à garder à des températures voulues.

Notons au passage que traditionnellement, le champignon de Paris se produisait dans des caves urbaines, permettant ainsi une humidité et une température constantes et favorables aux champignons. Les producteurs actuels peuvent s'inspirer de cette tradition et viser des sous-sol, espaces commerciaux souvent négligés, afin d'économiser sur les coûts de climatisation et de chauffage⁶.

Il est important que l'infrastructure que l'on choisit pour la production soit capable de tolérer de hauts taux d'humidité, il faut donc le plus que possible éviter le bois apparent dans les constructions servant de champignonnière.

Des panneaux de plastiques recouverts de peinture blanche permettant une diffusion uniforme de la lumière et contenant peu de composés organiques volatils (COV) sont souvent utilisés pour recouvrir les murs. Dans tous les cas, il est important que les murs soient faciles à nettoyer à grande eau car des nettoyages en profondeur sont fréquents entre les cycles de fructification.

Pour la salle de fructification, l'idéal est d'avoir un environnement dédié à cette fin pour une seule fructification à la fois. Cela permet d'avoir un contrôle optimal des paramètres de croissance tels que l'humidité et l'échange de gaz. Ce contrôle permet d'avoir une prédictibilité sur les quantités produites et les échéanciers; conditions de réussite pour une production commerciale.

⁶ Cohen, A., E. Duchemin, A. -M. Bernier, C. Huot (2020). Fiche économique : fermes urbaines de production de champignons. Laboratoire sur l'agriculture urbaine/Carrefour de recherche, d'expertise et de transfert en agriculture urbaine. 36 p.

Si le producteur se trouve dans l'impossibilité de produire dans des salles séparées, (que ce soit différentes variétés de champignons ou une même variété à des cycles différents) il serait alors judicieux de diviser l'espace en sections plus petites. Ceci peut se faire à l'aide de panneaux modulaires. Dans tous les cas, il est important d'assurer le maximum d'innocuité et d'hygiène dans les salles et sections de cultures afin de limiter les risques de contaminations qui sont multiples à différentes étapes de la manipulation et de la culture.

Les étapes et les équipements requis

Il existe plusieurs étapes à la production de champignon, un cycle qui dure en moyenne 15 semaines en fonction des espèces. Voici en ordre les étapes de la production sur lesquels nous allons nous pencher :

- Le choix d'une souche de mycélium
- Choisir un substrat de croissance
- La pasteurisation/stérilisation du substrat
- Cultiver dans le substrat choisi
- Le choix des contenants de culture
- La fructification
- Le maintien des conditions optimales

Le choix d'une souche de mycélium⁷

Comme dans la nature, le mycélium se propage dans le substrat en utilisant les substances nutritives qui s'y trouvent. C'est ce qu'on appelle l'envahissement du blanc (*spawning*).

Pour les producteurs débutants, le plus facile est d'acheter un inoculum aussi appelé blanc ou matière inoculatrice (*spawning*). Le blanc réfère ainsi à un substrat entièrement colonisé par le mycélium et qui est utilisé pour l'inoculation du substrat final (celui de fructification). Ce blanc de culture se vend généralement en sac ou bien en pot et permet ensuite l'inoculer final dans le substrat de notre choix. Les options les plus courantes sur le marché sont les blancs produits sur céréales ou bran de scie.

Il est important pour l'acheteur de blanc de culture de s'assurer auprès du fournisseur d'avoir le plus d'informations possible sur celui-ci. Le producteur devrait s'assurer de demander : la date d'inoculation, le succès des autres clients et le temps de livraison. En effet, plus les distances et les délais de transport sont longs plus le blanc a des chances de se détériorer. Il est aussi conseillé d'essayer plusieurs fournisseurs afin de s'assurer d'un approvisionnement qui répond à nos critères.

Le producteur peut aussi décider de produire lui-même son propre blanc de culture. Il y a plusieurs avantages à produire ainsi son blanc de culture, toutefois, cela nécessite un certain équipement spécialisé ainsi qu'un savoir-faire. Déjà que la production et la fructification nécessitent un certain temps et une courbe d'apprentissage abrupte, nous conseillons, ici comme ailleurs, de commencer petit et de maîtriser les étapes d'inoculation et de fructification avant de se lancer dans la production d'inoculum (de blanc).

⁷ Ici, nous n'aborderons pas les techniques de clonage, de multiplication à base de spores ou de culture liquide, qui demandent une expertise plus dans la culture des champignons.

Pour faire leur propre blanc de culture, plusieurs entreprises décident de commencer leur production en achetant des souches de mycélium sous formes liquides. Cela leur permet d'avoir accès à un éventail de différentes souches. Cette diversité est particulièrement importante à explorer au début et une fois plusieurs tests effectués, le producteur pourra alors choisir les souches qui fonctionnent le mieux avec les substrats de son choix.

La qualité du mycélium liquide utilisé pour la production du blanc est importante car cela influe sur le taux, la vitesse et la vigueur de l'inoculation. Plus le mycélium est de qualité et plus il va dominer la compétition avec les moisissures et autres micro-organismes pour la colonisation du substrat. Le producteur doit ainsi s'assurer d'acheter un mycélium de source fiable avec une génétique reconnue par son rendement.

À partir d'une souche liquide, l'inoculation du substrat se fait généralement en deux étapes.

Premièrement, l'inoculation d'un substrat fait le plus souvent majoritairement de grains. Ces grains inoculés ne peuvent en eux-mêmes produire des carpophores. Ils permettent plutôt de passer d'un mycélium liquide à un premier lieu d'expansion.

Ce grain inoculé (le blanc) servira ensuite à ensemer un substrat contenant plus de carbone et qui permettra la fructification finale du champignon. Ce substrat est généralement fait de paille pasteurisée (ou matériau similaire) ou de sciure de bois stérilisée. Le blanc de grain est ainsi inoculé dans le substrat (sciure, paille, etc.) à un taux compris entre 3 et 15 % (masse humide de frais/la masse sèche du substrat).

L'un des avantages de produire son propre blanc de culture c'est qu'il est possible d'augmenter le ratio de blanc sur substrat final sans augmenter les coûts. Ce ratio pluis

élevé de blanc permet d'assurer une meilleure et plus rapide inoculation du substrat final et d'avoir ainsi des cycles de fructifications plus rapides.

Finalement, le producteur peut aussi décider de produire son propre mycélium liquide. Produire ainsi ses propres cultures permet de cultiver des champignons locaux ou méconnus et ainsi trouver une niche spéciale dans le marché. Il est inutile de souligner que si un producteur se lance dans la voie innovatrice de production de nouvelles cultures, qu'il s'assure de multiplier seulement des espèces qui sont connues pour leur comestibilité!

Bien que la production de sa propre culture de mycélium peut grandement réduire les coûts d'opération d'une champignonnière, nous conseillons toutefois aux producteurs de maîtriser les autres étapes du processus de production avant d'entamer celle-ci.

La production du mycélium est une étape spécialisée qui demande une certaine expertise ainsi que du matériel de laboratoire spécialisé. Pour ces raisons nous n'entrerons pas dans les détails de cette étape qui pourra être développée dans une fiche subséquente.

Choisir un substrat de croissance

La majorité des champignons de spécialité cultivés sont des champignons saprophytes, c'est-à-dire des champignons qui se nourrissent en décomposant la matière organique.

Le rapport des concentrations en carbone et en azote (C/N) de cette matière organique est essentiel dans le choix du substrat pour la production de champignons. Un ratio élevé en carbone C/N supérieur à 30/1 est constitue souvent le minimum nécessaire

pour la production des champignons⁸. Un ratio moins grand favoriserait la production de bactéries, moisissures et autres pathogènes; mettant ainsi en péril les souches de champignons visés pour la production. Des matières azotées sont souvent ajoutées aux substrat pour augmenter leur rendement, mais cela vient avec les risques de contamination cités plus haut⁹.

La texture du substrat est aussi à ne pas négliger. Un substrat dont la granularité est trop fine (tel que le marc de café) favorise une fermentation anaérobique ce qui est défavorable à la croissance des champignons. Il est ainsi important si l'on décide de faire des mélanges de substrat que de mélanger les substrats de petite taille avec de plus grossiers (tels que la paille) afin d'assurer l'espacement nécessaire au développement du mycélium.

Le mycélium peut se développer sur plusieurs matières contenant du carbone. Notons par exemple:

- agar
- sciure et copeaux de bois
- granulés de bois francs
- écaillés de graines, céréales et légumineuses (tournesol, sarrasin, soja etc)
- drèche de bière
- marc de café
- paille
- carton

- ...

⁸ <https://violonetchampignon.com/blogs/news/substrat-de-culture-pour-les-champignons>

⁹ CRAAQ. (2018). Fiche de synthèse : Champignons de spécialité cultivés. Collection production en émergence au Québec, p.16

Cultiver dans de la paille

La majorité des entreprises qui se lancent dans la production de champignons vont commencer par produire du pleurote (*Pleurotus* spp.) dans de la paille de céréale agricole. Ceci s'explique par le fait que le pleurote est un champignon agressif et résilient; et que la paille ne demande qu'un traitement de pasteurisation avant d'être inoculé. Ces caractéristiques réduisent ainsi les coûts d'opération ainsi que les risques d'échec.

La paille est un résidu de la production agricole et est facilement accessible sur le marché. Il est toutefois important de savoir que différentes sources de pailles auront un ratio C/N différent. Par exemple, la paille d'orge a un ratio de 72, alors que la paille de riz est à 58. La paille de blé qui est souvent utilisée a un ratio de 104. Ces ratios auront des conséquences importantes sur les taux de conversion biologique et les temps de fructification et seront à considérer par le producteur.

Nous encourageons fortement les producteurs de champignons à se fournir auprès de fournisseurs de paille certifiés biologiques. Qu'ils veuillent ou non se certifier par la norme biologique, cela assurera le producteur de champignons que la paille reçue n'aura pas de traces de pesticides et autres substances chimiques. Les champignons étant des bioaccumulateurs efficaces, la présence de toxines dans le substrat pourrait s'accumuler dans le produit final et empoisonner le consommateur.

Cultiver dans de la sciure de bois.

Si une entreprise désire cultiver plus que du pleurote, elle devra utiliser du bois comme substrat. Ce bois vient le plus souvent sous la forme de granulés, de sciure (bran de scie) ou de copeaux. La sciure de bois a un long historique d'utilisation dans la

production de champignons de spécialité et c'est sur celui-ci que nous allons nous concentrer ici.

Le blanc sur sciure est constitué d'un substrat de sciure de bois stérilisé, inoculé avec du mycélium. Le blanc sur sciure peut être fortifié par des matières azotées pour améliorer les rendements et maximiser les gains de productivité. Les sons de céréales (seigle, blé, soja, avoine, maïs...) sont des candidats idéaux à cette fin.

La sciure est idéalement faite de feuillus. Paul Stamets (1996) conseille de favoriser les espèces peu denses à décomposition rapides (bouleaux, peupliers, aulnes, saules..). Selon lui, les bois plus denses tels que l'érable et le chêne sont utilisés commercialement, mais ont des calendriers de fructifications plus longs, augmentant ainsi les coûts de production. La densité du bois de ces espèces peut toutefois permettre de multiples fructifications. Ici encore, des tests devront être faits par le producteur pour établir les protocoles les plus appropriés à sa situation.

Pour assurer une uniformité de la productivité, il est important que les sources d'approvisionnement de substrat soient constantes et garantissent l'espèce utilisée ainsi qu'une uniformité dans le produit. Le changement d'essence d'arbre peut par exemple grandement changer les taux de productivité et les temps de fructifications et ainsi perturber les calendriers et les quantités cueillies.

De plus, les substrats à base de bois, telle la sciure de bois, doivent idéalement provenir de sources non traitées – comme par exemple, de scieries qui produisent de la sciure par la transformation du bois brut. Des sources provenant d'entreprises qui recyclent le bois risquent quant à eux d'être contaminées par d'autres substances utilisées notamment dans l'industrie de la construction. Les bois de construction peuvent inclure : des colles, des traitements de pesticides, des crampons, des clous ou

des résidus d'isolation, ou encore du bois traité¹⁰. Assurez-vous que les résidus que vous utilisez proviennent de la première transformation du bois brut.

La pasteurisation/stérilisation du substrat

Le substrat sur lequel l'inoculation et la fructification des champignons auront lieu doit être pasteurisé ou stérilisé, selon le type de substrat, afin de détruire la compétition bactérienne et fongique. Ceci s'explique par deux raisons principales.

La première est que la chaleur et l'humidité vont rendre le substrat plus digestible pour le mycélium. La deuxième est que la chaleur va diminuer la compétition par d'autres micro-organismes et donner la place et le temps pour le mycélium de se développer.

En effet, plus la température et le temps sont élevés et plus l'on s'assure d'éliminer la compétition en micro-organismes. Mais en corollaire, plus la température et le temps sont élevés et plus l'on décompose la matière, ce qui peut entamer sa structure et mettre à risque la production. Un compromis doit être trouvé entre ces deux extrêmes.

Élément clé de la production permettant l'assurance que le substrat ne contient aucun agent externe avant son inoculation par la souche désirée, le choix entre la pasteurisation et la stérilisation dépend du substrat utilisé et donc des champignons que l'on désire produire. En effet, le type de champignons que l'on désire cultiver va influencer sur la méthode utilisée, ainsi que la méthode disponible va influencer sur les champignons que l'on peut produire,

En règle générale, l'on peut dire que les substrats des champignons préférant les fibres de céréales (tel le pleurote) vont nécessiter une pasteurisation alors que ceux préférant

¹⁰ Nome Biologique canadienne 7.3.2.1

la sciure de bois (tels les shiitake, le maitake, l'hydne, etc.) vont préférer un substrat traité par stérilisation¹¹.

La pasteurisation (chauffer la matière à 71 °C sans aucune pression) contient plusieurs avantages sur la stérilisation (chauffer la matière à 121 °C à pression). Le plus important de ces avantages est que la pasteurisation réduit les coûts en énergie et en matériel.

En gros, la pasteurisation consiste à chauffer un bain d'eau dans laquelle la matière est immergée, alors que la stérilisation implique l'utilisation d'un autoclave pour dépasser le point d'ébullition de l'eau.

La stérilisation quant à elle se fait sous pression, permettant ainsi à l'eau de dépasser son point d'ébullition (100°C) et permettre ainsi d'éliminer l'ensemble des micro-organismes présents.

Bien que la pasteurisation va laisser certaines bactéries thermophiles; ces dernières sont rarement dangereuses pour la colonisation par le mycélium et peuvent même constituer une protection contre la contamination par d'autres bactéries plus compétitives.

Regardons plus en détail ces deux techniques.

Pasteurisation

La pasteurisation par immersion est un moyen économique et efficace de rendre le substrat prêt pour l'inoculation. Pour ce type de pasteurisation, il suffit d'immerger le

¹¹ Des traitements chimiques existent (peroxyde, chaux), mais ne sont pas recommandés dans la présente revue de littérature.

substrat dans une eau à une température entre 74 et 80 °C pour une durée variant entre une et trois heures. Une fois que la matière est cuite dans l'eau, il faut la laisser refroidir (38 °C) avant de l'inoculer. Une manière rapide de diminuer la température du substrat est d'étaler le substrat sur une table qui a été préalablement stérilisée par de l'alcool.

Il est recommandé de chauffer l'eau à 82 °C avant d'y mettre le substrat afin que lorsque la matière froide entre en contact avec l'eau, cette dernière ne descende pas en bas de 74 °C.

L'utilisation de poulies, manuelles ou électriques, peut grandement aider à cette tâche. Il n'est pas recommandé d'utiliser plus de deux fois de suite la même eau.

La pasteurisation par vapeur (aussi appelé super-pasteurisation) est utilisée par certaines entreprises qui peuvent ainsi se construire une salle de pasteurisation par vapeur. Ces installations sont plus coûteuses, mais ont l'avantage que le substrat n'a pas à être drainé et refroidi dans un délai plus court; réduisant ainsi les risques de contamination au refroidissement.

La stérilisation

La stérilisation se fait par vapeur sous pression ce qui permet de dépasser la température d'ébullition de l'eau et ainsi s'assurer d'une mort quasi totale des micro-organismes pouvant être présents préalablement dans le substrat. Les entreprises qui veulent diversifier leurs cultures, avoir une production substantielle et avoir des gains d'efficacité voudront se doter d'autoclaves industriels. Ces derniers sont très efficaces, mais impliquent des coûts importants à l'achat et sont énergétiquement à

opérer. Il est toutefois important de ne pas improviser avec des autoclaves qui ne sont pas certifiés pour des usages commerciaux, tels les autoclaves de cuisine.

Lorsque la stérilisation est utilisée, une attention particulière devra être donnée à la contamination de l'air et toutes les pièces devront être munies de filtres HEPA.

Il n'est pas conseillé de stériliser le substrat en gros, mais plutôt de le placer dans des sacs de fructification avant l'étape de stérilisation. Cela permet de réduire les manipulations du substrat et la contamination possible après la stérilisation.

Il est extrêmement important qu'une fois que le substrat est placé dans les contenants de fructifications qu'il soit immédiatement placé dans les autoclaves pour stérilisation. La plupart des substrats de brin de scies étant agrémentés de céréales, la concentration en azote de ce substrat (mix bran de scie et céréale par exemple) accélère la décomposition du substrat et peut rapidement le rendre inapte à l'inoculation.

Pour le temps de stérilisation, cela varie avec le ratio d'azote, la quantité de substrat stérilisé, le placement et la proximité des sacs dans l'autoclave ainsi que d'autres facteurs. Il est important de garder en tête que plus le niveau d'azote du substrat est élevé, plus il est nécessaire de faire une stérilisation longue et complète. Des tests concernant la pression, le temps et la densité de substrat devront être faits avant de trouver un protocole gagnant.

Les coûts d'une autoclave peuvent être prohibitifs, un autoclave industriel coûtant plus de 100 000 \$. Il peut s'avérer judicieux pour une entreprise débutante de maîtriser les techniques avec des investissements technologiques de petite échelle, avant de se lancer dans l'achat d'un autoclave industriel.

Les autoclaves industriels provenant de l'industrie du cannage sont des avenues à explorer. Des considérations importantes quant à leur design et leur emplacement devront toutefois être prises en compte dans l'établissement de la champignonnière.

Le choix des contenants de culture

Les contenants de culture peuvent être faits de plusieurs matériaux et ont chacun des avantages comme des inconvénients. Les chaudières, les sacs (suspendus ou non) et les blocs sur étagères sont les techniques les plus répandues pour la production de champignons de spécialités. Certaines champignonnières se spécialisent aussi dans la production de trousseaux de cultures que le consommateur fera ensuite fructifier à la maison. Le présent rapport ne fait pas état de cette dernière technique.

Les sacs (sur étagère et suspendus)

Les blocs de mycéliums consistent en l'utilisation de sacs de plastique qui sont placés sur des étagères. Des sacs spécialisés pour la fructification de champignons sont disponibles dans des magasins spécialisés. Ces sacs ont l'avantage que l'on peut mettre un substrat pas encore stérilisé dans le contenant pour ensuite le mettre dans un autoclave. Assurez-vous que les plastiques sont marqués du sigle 5 PP (et chiffres au dessus de 5) afin de vous assurer qu'ils résistent à la chaleur de la stérilisation (le polypropylène est le plus souvent utilisé à cette fin). D'autres sacs en polyéthylène de grade alimentaire sont vendus pour la fructification des champignons ne nécessitant pas de résister aux hautes températures de la stérilisation.

Le substrat stérilisé/pasteurisé peut ensuite être inoculé dans ses sacs spécialisés à partir d'une seringue de mycélium liquide. Ces sacs sont munis d'une petite ouverture

munie d'un microfiltre qui permet une inoculation quasi sans risques de contamination. Au moment de la fructification, ce type de sacs sont le plus souvent ouverts par le haut pour faire la récolte des champignons.

Il est conseillé d'utiliser des sacs transparents. Ce type de sac permet de pouvoir monitorer facilement les stades de colonisation ainsi que la présence de pathogènes. La transparence permet aussi de bien suivre l'évolution du mycélium et percer les trous de manière à contrôler le rendement.

Le fait d'utiliser des sacs suspendus a quant à lui l'avantage de permettre au producteur de pouvoir se déplacer tout autour des sacs de fructifications et ainsi monitorer plus facilement sa production.

Les sacs suspendus ou bien sur étagères sont difficilement nettoyables d'une manière qui assure complètement l'absence de contamination après la fructification. Ils doivent être ainsi remplacés à chaque cycle.

Les chaudières

Les chaudières consistent en des seaux de plastique munis d'anse et ayant généralement un volume de 20 litres. L'on y place le substrat inoculé et puis on les empile l'une sur l'autre de manière à gagner de l'espace. Des trous de petite taille sont préalablement faits afin de faire sortir les carpophores.

Les chaudières ont l'avantage d'être réutilisables et facilitent la rapidité du processus de récolte ainsi que la régularité de la grosseur des bouquets par la présence de petits trous. Toutefois, le temps de nettoyage des chaudières peut être long et ne pas garantir

l'absence totale de contaminants. L'opacité des chaudières ne permet pas, comme pour les sacs ,de suivre l'évolution du mycélium et d'observer la présence de pathogènes.

La fructification

Voici les facteurs clés permettant l'apparition des fructifications de manière optimale:

- température,
- taux d'humidité,
- substance nutritive et ph
- concentration de CO 2 et oxygène
- lumière,
- choc physique.

Il est important de noter que les conditions qui sont optimales à la fructification sont en grande partie opposées à celles de la croissance végétative. Il faut introduire les conditions clés de la fructification une fois seulement que la croissance végétative du mycélium est complète dans le substrat. En d'autres mots, ce sont les conditions les moins favorables à la croissance du mycélium qui vont "stresser" ce dernier et le pousser à fructifier.

Il n'est pas nécessaire pour les employés de porter des équipements de protection personnelle tels que des masques en permanence lors de l'ensemble des opérations de production de champignons. Il est conseillé de les utiliser aux moments où il est important de protéger les voies respiratoires :

- Lors de l'inoculation des substrats pour éviter les risques de contaminations

- Lorsqu'advient des problèmes dans la fructification (sporulation ou la contamination)
- Lors de l'épandage de pesticides si utilisés.

À des concentrations élevées, l'exposition aux spores de champignons peut provoquer des rhinites, de l'asthme, des mycoses broncho-pulmonaires allergiques, des sinusites fongiques allergiques et des pneumopathies d'hypersensibilité¹². Certaines personnes peuvent être allergiques ou particulièrement sensibles aux spores de champignons. Il est important que le producteur sache quoi faire dans le cas d'une attaque allergique et mette en place des protocoles à cette fin.

Le maintien des conditions optimales

La ventilation est un système essentiel de toutes infrastructures recevant la production de champignons. Des filtres HEPA et une ventilation en pression positive au niveau des entrées et sorties de la champignonnière limitent les risques que les contaminants extérieurs pénètrent dans le lieu de production.

¹² <https://sciencing.com/happen-exposed-mushroom-spores-12053065.html>

Paramètres de succès pour l'implantation

Voici quelques questions qui peuvent guider le futur producteur dans l'établissement de son plan d'affaire :

- Est-ce que je comprends bien le cycle de vie des champignons et les spécificités propres aux espèces qui m'intéressent?
- Quel marché veux-je desservir et quelle est la demande pour ce type de produits?
- Quel champignon je souhaite cultiver?
- Comment vais-je me procurer le blanc (matière inoculatrice) de la variété que je souhaite cultiver?
- Quels sont les matériaux carbonés qui sont actuellement disponibles dans ma région?
- Quel traitement a besoin le substrat avant d'être inoculé?
- Combien est-ce que l'équipement va coûter?
- Quel est le niveau d'expertise demandée pour la production de ce champignon?
- Quels types d'installations sont disponibles, devrais-je en construire d'autres?

La production de champignons comme toute production agricole est à la fois un art et une science. Un art, car il demande une attention particulière de la part du producteur et une intuition que seules l'expérience et une observation attentive peuvent donner. Une science, car elle se base sur un corpus de connaissances scientifiques importantes et demande une méthodologie scientifique et une hygiène digne d'un laboratoire.

Il est important que le producteur connaisse finement les étapes du cycle de vie des champignons qui ne ressemblent que vaguement à ceux des plantes et des animaux dont nous sommes normalement habitués en agriculture.

Connaître ainsi les étapes de développement du champignon, permettra de connaître les besoins individuels de chaque stade et les besoins spécialisés pour chaque espèce de champignons choisis; permettant ainsi de développer des stratégies adéquates à la production. Il est judicieux de commencer et maîtriser la production avec un champignon plus facile à produire tel le pleurote. Une fois que les principes premiers de la croissance du champignon sont bien compris et maîtrisés, l'on peut appliquer ses principes à des champignons plus fragiles et expérimentaux.

Il est ensuite important de connaître les caractéristiques spécifiques requises pour chaque espèce de champignons. Nous en donnons quelques exemples dans la section plus bas : *les espèces à haut potentiel commercial (rendement et possibilité)*.

Avant de se lancer dans la production de grande échelle et automatisée, il est fortement recommandé de commencer les bases de la culture de champignons dans des infrastructures simples. Comme expliqué plus haut, la culture de champignons est à la fois un art et une science et demande des savoir-faire complexes et diversifiés qui ne sont pas nécessairement coulés dans le béton. Des minis-essais qui permettent de contrôler les paramètres finement faciliteront la mise à l'échelle par la suite.

Les espèces à haut potentiel commercial (rendement et possibilité)

L'une des étapes les plus importantes pour l'établissement d'une champignonnière est de choisir les espèces et variétés que l'on désire cultiver. Parmi les caractéristiques qui peuvent mener aux choix des espèces notons :

- Réaliste selon les connaissances et les moyens à disposition
- Capables de produire sur les substrats disponibles
- Avoir un cycle de production court et rentable

Plusieurs autres considérations sont importantes lorsque l'on fait le choix d'une espèce pour la production de champignons. En premier lieu viennent la facilité de production et la demande pour le produit.

Beaucoup d'entreprises choisissent de commencer avec la pleurote comme première production (*Pleurotus* spp.) cela parce qu'elle est relativement facile à produire et qu'il existe déjà un marché pour ce champignon. Cette facilité relative de production s'explique par le fait que la pleurote est un champignon saprophyte qui est agressif et généraliste dans l'utilisation d'enzymes pour décomposer une grande variété de matières organiques. D'autres espèces de champignons ont une capacité limitée de décomposition de substances spécifiques pour leur utilisation métabolique ce qui réduit leur capacité de colonisation et de fructification dans des substrats variés.

Le maitake par exemple (*Grifola frondosa*) demande un certain type de bois (le chêne) et même certaines espèces de chênes à des densités spécifiques. Le pleurote quant à elle peut s'adapter à une variété de substrats ce qui élargit les possibilités pour le producteur et en fait une production plus résiliente et plus facile d'accès.

Il est aussi à noter qu'il existe déjà un marché présent pour le pleurote. Cela est en partie dû au fait que les producteurs de champignons de Paris (*Agaricus bisporus*) ont avec les années diversifié leur production; privilégiant le pleurote comme champignon de spécialité et le mettant ainsi accessible aux consommateurs.

En termes du choix du champignon à cultiver, il est important de considérer les ratios de conversion biologiques (ou efficacité biologique) qui sont différents pour chacune des espèces. Le taux de conversion biologique permet de savoir l'efficacité d'un champignon à convertir un substrat et se calcule par le poids de champignons obtenus pour le poids de substrat sec utilisé.

Ainsi un champignon qui aura un taux de conversion biologique de 100 % produira 100 kg de champignons frais pour 100 kg de substrat utilisé. Parmi les paramètres qui peuvent augmenter le taux de conversion biologique notons :. le choix de la souche, l'ajout de supplémentation dans le substrat, la quantité de mycélium utilisée pour l'inoculation et le nombre de récoltes pour un même substrat.

Nous avons ici reproduit de Stamets (1996) les paramètres de cultures de plusieurs champignons populaires à cultiver. Nous avons décrit les conditions nécessaires (température, humidité, concentration en CO², aération et lumière) selon chaque étape : de l'incubation du mycélium à la fructification en passant par l'émergence des premiers primordias. Chacune de ces étapes demande des conditions particulières que nous décrivons ici bas :

Pleurotus ostreatus - Pleurôte en huitre

	Incubation	Primordias	Fructification
Température	24 °C	10-15, 6 °C	18-24 °C
Humidité	85-94 %	95-100 %	80-85 %
Co ²	5,000-20,000 ppm CO ₂	< 1,000 ppm CO ₂	< 1,000 ppm CO ₂
Aération	1/hr	4-8/hr	4-8/hr
Lumière	0	1,000-1,500 lx	1,000-1,500 lx

Pleurotus eryngii - Pleurote de Panicaut

	Incubation	Primordias	Fructification
Température	24 °C	10-15 °C	15-21 °C
Humidité	90-95 %	95-100 %	90-95 %
Co ²	5,000-20,000 ppm CO ₂	500-1,000 ppm CO ₂	< 2,000 ppm CO ₂
Aération	1/hr	4-8/hr	4-5/hr
Lumière	0	500-1,000 lx	500-1,000 lx

Pleurotus djamor - Pleurote rose

	Incubation	Primordias	Fructification
Température	24-30 °C	18-25 °C	20-30 °C
Humidité	95-100 %	95-100 %	85-90 %
Co ²	5,000 ppm CO ₂	500-1,000 ppm CO ₂	500-1,000 ppm CO ₂
Aération	0-1/hr	5-8/hr	5-8/hr
Lumière	0	750-1,500 lx	750-1,500 lx

Pleurotus citrinopileatus

	Incubation	Primordias	Fructification
Température	24-29 °C	21-27 °C	21-29 °C
Humidité	90-100 %	98-100 %	90-95 %
Co ²	5,000-20,000 ppm CO ₂	< 1,000 ppm CO ₂	< 1,000 ppm CO ₂
Aération	1-2/hr	4-8/hr	4-8/hr
Lumière	0	500-1,000 lx	500-1,000 lx

Lentinula edodes - Shiitake

	Incubation	Primordias	Fructification
Température	21-27 °C	10-16 °C/16-21 °C	16-18 °C/21-27 °C
Humidité	95-100%r.F.	95-100%r.F.	60-80%r.F.
Co ²	> 10,000 ppm CO ₂	< 1,000 ppm CO ₂	< 1,000 ppm CO ₂
Aération	0-1/hr	4-7/hr	4-8/hr
Lumière	50-100 lx	500-2,000 lx	500-2,000 lx

Hericium erinaceus - Hydne Hérissou

	Incubation	Primordias	Fructification
Température	21-24 °C	10-15, 6 °C	18-24 °C
Humidité	95-100 %	95-100 %	90-95 %
Co ²	> 5,000-40,000 ppm CO ₂	500-700 ppm CO ₂	500-700 ppm CO ₂
Aération	0-1/hr	5-8/hr	5-8/hr
Lumière	0	500-1,000 lx	500-1,000 lx

Grifola frondosa - Maitake

	Incubation	Primordias	Fructification
Température	21-24 °C	10-15, 6C	13-16 °C
Humidité	95-100 %	95 %	75-85 %
Co ²	20,000-40,000 ppm CO ₂	2,000-5,000 ppm CO ₂	< 1,000 ppm CO ₂
Aération	0-1/hr	4-8/hr	4-8/hr
Lumière	0	100-500 lx	100-500 lx

Pholiota nameko -

	Incubation	Primordias	Fructification
Température	24-29 °C	10-15, 6 °C	13-18 °C
Humidité	95-100 %	98-100 %	90-95 %
Co ²	> 5,000 ppm CO ₂	500-1,000 ppm CO ₂	800-1,200 ppm CO ₂
Aération	0-1/hr	4-8/hr	4-8/hr
Lumière	0	500-1,000 lx	500-1,000 lx

Flammulina velutipes -

	Incubation	Primordias	Fructification
Température	21-24 °C	4-10 °C	10-16 °C
Humidité	95-100 %	95-100 %	90-95 %
Co ²	> 5,000 ppm CO ₂	2,000-4,000 ppm CO ₂	2,000-4,000 ppm CO ₂
Aération	0-1/hr	2-4/hr	2-4/hr
Lumière	0	20-50 lx	20-50 lx

Hygiène et prévention des maladies.

Il n'est pas rare pour les producteurs d'encourir des pertes dues à la contamination par des agents extérieurs. Le contrôle des paramètres d'hygiène à l'intérieur des infrastructures de production de champignon est fondamental et demande une formation adéquate des employés et travailleurs.

Les risques de contaminations doivent être pris en compte dès l'étape de planification des infrastructures et de la disposition des salles de la champignonnière. L'objectif est de minimiser les distances parcourues par les employés entre les étapes de la production. Le producteur doit réfléchir à sa production comme une chaîne d'assemblage et organiser l'équipement et les pièces de manière afin d'optimiser les manipulations et les mouvements des ressources humaines et matérielles. Bref, il est important de planifier sa champignonnière de manière à minimiser les risques de contaminations tout en maximisant l'utilisation de l'espace.

Des mesures préventives de contrôle des maladies sont particulièrement importantes à la production en champignonnière. Ces mesures sont respectées par la mise en place de systèmes et de pratiques.

Les systèmes sont des caractéristiques physiques de la champignonnière qui réduisent les risques de contamination (moustiquaires, doubles portes, lavabo, bain de pied, etc.) alors que les pratiques sont des actions que les employés suivent pour ces risques (sens des déplacements, hygiène personnelle, protocoles de manipulation, etc.).

Assurez-vous de bien connaître les exigences d'hygiène et de salubrité dans le domaine alimentaire. Le cours offert par le MAPAQ intitulé : *Gestionnaire d'établissement alimentaire* peut vous être utile et vous donner des indications précieuses sur les pratiques et les systèmes à mettre en place dans la champignonnière.

Paul Stamets (1996) note six vecteurs principaux de contamination, qui sont :

- Les personnes
- Les contaminants mobiles (insectes et autres animaux)
- L'air
- Le substrat
- L'inoculum
- Les outils

Les personnes constituent les vecteurs de contaminations principaux et devraient suivre un protocole d'hygiène stricte. Suivant le protocole décrit dans la section *Plan de construction et design de la champignonnière*, les personnes devraient se déplacer des salles les plus propres aux salles les plus sales. Cela veut dire que par exemple qu'un

producteur devra commencer sa journée de travail par le laboratoire avant d'aller dans la salle de culture puis ensuite dans celle d'entreposage.

Les matières contaminées devraient être gérées en dernier lieu et à la fin de la journée. Si une personne travaillant dans la salle de culture doit interagir avec un substrat contaminé, il doit être considéré comme contaminé lui-même et ne peut plus continuer sa tâche à moins d'un nettoyage complet de sa personne et de ses vêtements. Les souches de champignons infectés doivent être brûlées ou éliminées d'une manière qui protège la production ainsi que l'environnement.

Une attention particulière devrait être donnée aux souliers, étant un vecteur majeur de contamination. Des bains de désinfectants pour des souliers imperméables peuvent être utilisés avant d'entrer dans la champignonnière ou afin de passer d'une salle à une autre. Il est bien sûr important de changer ces bains de manière quotidienne.

Les champignons sont produits dans un environnement protégé, ce qui diminue l'usage potentiel des pesticides. Si jamais des produits pesticides doivent être utilisés, assurez-vous de suivre les indications du fabricant et assurez-vous que la salle a été convenablement ventilée avant d'y entrer travailler.

Plan de construction et design de la champignonnière

Avant d'établir le plan de construction de sa champignonnière, il est important de connaître toutes les étapes de la production.

Le choix du site accueillant une champignonnière devra tenir compte des facteurs suivants :

- distance au marché
- disponibilité de matériau de substrat de qualité
- disponibilité de main-d'œuvre (si nécessaire)
- transport du produit et du matériau de substrat
- accès direct à de l'eau propre
- Polluants ambiants (liquides, atmosphériques, etc.)
- Les règlements municipaux

Les différents espaces qui devront être pris en compte lors de l'élaboration des plans sont les suivants :

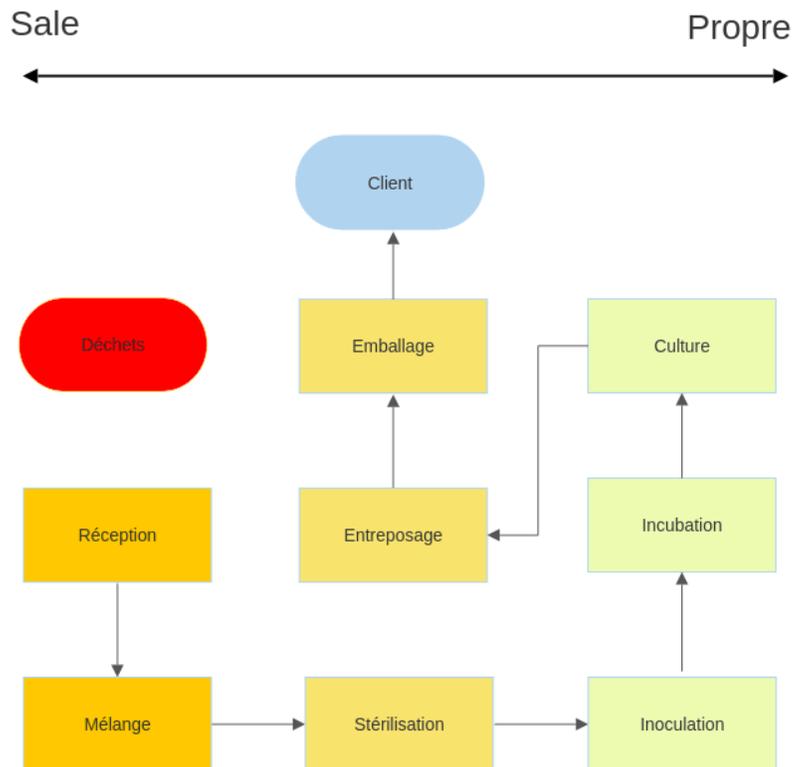
- Espace de réception des substrats et autres commandes
- Espace d'entreposage
- Espace de mélange des substrats
- Espace de stérilisation
- Espace de refroidissement après stérilisation
- Espace d'inoculation
- Espace de colonisation

- Espace de fructification
- Espace de refroidissement
- espace d’emballage
- Espace d’entreposage des récoltes
- Espace de disposition des déchets

Plusieurs infrastructures préexistantes peuvent être modifiées pour faire une champignonnière. Bien sûr, le mieux est de construire une infrastructure qui répond exactement à nos besoins. Les infrastructures demandées pour l’établissement d’une champignonnière peuvent varier selon les étapes accomplies par le producteur. Si par exemple il décide de lui-même reproduire ses souches de mycélium, alors il devra avoir des infrastructures de laboratoires spécialisés

Dans tous les cas, un design qui inclut des protocoles de mouvements et de manipulation devrait être scrupuleusement observé. Les risques de contaminations étant multiples; voici quelques principes qui peuvent aider à la disposition de l’espace et le mouvement du personnel et des matériaux dans la champignonnière :

Les matériaux vont transiter d’une salle à une autre, mais il est important de pouvoir séparer les processus selon leur niveau d’hygiène. Chaque étape ayant ses propres exigences en termes d’hygiène. De manière schématique, cela peut-être représenté de la manière suivante



Source : <https://improvemushroomcultivation.com/mushroom-farm-design-guide/>

Il est important de réduire les déplacements de matériaux et des personnes pour des questions de coûts et de contamination. Ainsi les salles (ou sections de salles) devraient suivre la logique des flèches ici haut.

Nous pouvons voir que le transit des matériaux se fait généralement du plus sale (réception du substrat) vers le plus propre (Inoculation...culture). Les employés eux devraient le plus souvent possible se déplacer dans le sens inverse des matériaux donc du plus propre au plus sale.

Pour réitérer : les matériaux vont du plus sale au plus propre et les personnes du plus propre au plus sale Les outils utilisés dans une pièce ne devraient pas être transités

vers une autre. Se doter d'un code de couleur peut ainsi aider à l'identification adéquate des outils et de leur emplacement.

Lors du processus de planification de la champignonnière, assurez-vous de mettre en plan l'ensemble des besoins ainsi que la taille relative des équipements et les zones de déplacements. Assurez-vous aussi de prendre en compte les expansions futures afin d'éviter des réorganisations trop importantes dans la possibilité d'agrandir l'échelle de production.

La salle de fructification demandant des lavages en profondeur de manière ponctuelle, il n'est pas une mauvaise idée que d'avoir plus d'espaces que nécessaire de manière à bouger les étagères et pouvoir laver l'ensemble des surfaces sans que la production cesse complètement.

Bien sûr, les exigences du code de construction des bâtiments agricoles sont à suivre à la lettre. Des mesures particulières devront toutefois être données aux risques d'incendie ainsi qu'aux concentrations de gaz carbonique. Vous devrez pour cette dernière exigence vous assurer entre autres que les employés connaissent les horaires de concentration en CO² dans la salle de fructification.

Les coûts de démarrage peuvent grandement varier d'une production à une autre. Ainsi sur les 24 champignonnières de spécialité enregistrées au MAPAQ la superficie des entreprises varie de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres carrés¹³.

Dans une étude sur des champignonnières urbaines publiée en 2019, le CRÉTAU soulignait que les revenus agricoles des productions analysées variaient de 70 000 \$ à 630 000 \$, soit d'environ 3 300 \$ à 4 300 \$ par tonne de substrat humide utilisé.¹⁴ Parmi

¹³ CRAAQ. (2018). *Op. Cit.*

¹⁴ Cohen, A., E. Duchemin, A. -M. Bernier, C. Huot (2020). *op. cit.*

les facteurs qui influencent les revenus issus de la production de champignons, il y a entre autres : les types de champignons produits, le volume de production, le prix du marché, la filière de distribution, le produit vendu (frais, transformé, trousse de cultures...) ainsi que la productivité de la champignonnière qui peut varier¹⁵.

Plusieurs conclusions de cette étude sont généralisables pour l'ensemble des productions en démarrage de champignons de spécialité :

- Les champignonnières prennent un certain temps à établir une activité rentable et doivent s'assurer d'importants capitaux de départ pour assurer leurs succès.
- La vente des champignons de spécialité se concentre sur la vente directe et la distribution des marchés haut de gamme comme la restauration et les épiceries bio
- Les champignonnières doivent concentrer leurs efforts sur l'approvisionnement d'un produit de qualité, la production à l'année, la vente de proximité et le lien direct avec le client.
- L'optimisation des espaces de production est un élément clé d'optimisation des frais d'exploitation. Pour ce faire, l'on peut utiliser des espaces commerciaux négligés comme les sous-sols et optimiser la division de l'espace.
- Plusieurs entreprises ont d'autres sources de revenus que la vente de champignons. Subventions, visites, services-conseils et ventes de kit de fructification sont souvent partis des revenus des entreprises.

¹⁵ *Ibid.*

Le futur de la culture de champignon

Il existe plusieurs opportunités dans le secteur des champignonnières de spécialité. Une fois les premières barrières de mise à l'échelle de la production dépassées, plusieurs filières émergentes s'ouvrent alors pour les producteurs. Nous en nommons ici quelques-unes :

- Suppléments alimentaires
- Mycotextiles et autres mycoproduits
- Mycoremédiation et restauration écologique
- Santé mentale

Ces marchés émergents ont un potentiel énorme dans plusieurs secteurs de l'économie et encore beaucoup de recherche est à faire. Nous espérons que ce guide pourra aider les entrepreneurs à continuer à mener la recherche et le développement dans ce secteur d'avenir qu'est la production des champignons.

Bibliographie

Archer Mushroom. (2020). *The Three Different Brands Of Mushroom Grow Bags - Archer's Mushrooms*. Archer's Mushrooms.

<https://archersmushrooms.co.uk/the-three-different-brands-of-mushroom-grow-bags/>

Beelman RB, Kalaras MD, Richie JPJ. Micronutrients and bioactive compounds in mushrooms: a recipe for healthy aging? *Nutr Today*. 2019;54(1):16–22.

https://www.mushrooms.ca/wp-content/uploads/2020/01/Micronutrients_and_Bioactive_Compounds_in.5.pdf

Beetz, A. Greer, L. (1999). *Mushroom Cultivation and Marketing Horticulture production Guide, appropriate technology transfer for Rural Areas*, Fayetteville, 24p.

Bierend, D. (2022). *Specialty Mushrooms*. Cornell Small Farms.

<https://smallfarms.cornell.edu/projects/mushrooms/>

Chang, S. T. and P. G. Miles. 2004. *Mushrooms: Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect, and Environmental Impact* (Second Edition).CRC Press.Boca Raton, 451pp.

Cohen, A., E. Duchemin, A. -M. Bernier, C. Huot (2020). Fiche économique : fermes urbaines de production de champignons. Laboratoire sur l'agriculture urbaine/Carrefour de recherche, d'expertise et de transfert en agriculture urbaine. 36 p

Cooner, Deanna. (2001). Mushroom Farming. AgVentures. June-July p. 14–15.

Cornell Small Farms. (2022). *Indoor Production*.

<https://smallfarms.cornell.edu/projects/mushrooms/indoor-production/>

Cotter, T. (2015). *Organic Mushroom Farming and Mycoremediation : Simple to Advanced and Experimental Techniques for Indoor and Outdoor Cultivation*. Chelsea Green Publishing.

CRAAQ. (2018). Fiche de synthèse : Champignons de spécialité cultivés. Collection production en émergence au Québec.

La culture des champignons. (2019). Gret.

<https://www.gret.org/publication/la-culture-des-champignons/>

Fungi Ally. (2017). *How To Grow Mushrooms*.

<https://www.fungially.com/pages/how-to-grow-mushrooms>

Growing Blog. (2020). FreshCap Mushrooms. <https://learn.freshcap.com/growing/>

Gouvernement Canadien (2019). *Conseils de salubrité pour les champignons - Canada.ca*. Santé Canada.

<https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/salubrite-legumes-et-fruits/champignons.html>

Hina, P.R. (2008). Training Manual on Mushroom Cultivation Technology.

Lacoursière, A. (2016). La guerre des médecines : traditionnelle ou douce ? *La Presse*.
<https://www.lapresse.ca/sciences/medecine/201608/26/01-5014215-la-guerre-des-medecines-traditionnelle-ou-douce.php>

MAPAQ. (2020). *Plan d'agriculture durable 2020–2030*, Gouvernement du Québec.
Gouvernement du Québec.

https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/agriculture-pecheries-alimentation/publications-adm/dossier/plan_agriculture_durable/PL_agriculture_durable_MAPAQ.pdf?1603387733

The Mushroom Growers' Newsletter. (s. d.).

<https://www.mushroomcompany.com/resources/index.shtml>

Mushrooms Profile. (2022). Agricultural Marketing Resource Center.

<https://www.agmrc.org/commodities-products/specialty-crops/mushrooms-profile>

Mushrooms | *Alternative Farming Systems Information Center* | NAL | USDA. (s. d.).

<https://www.nal.usda.gov/legacy/afsic/mushrooms>

Oei. P. (2005). *Agrodok-40-La culture des champignons*. Fondation Agromisa et CTA.

Rouven. (2022). *Improve Mushroom Cultivation | The Science & Art of Mushroom Cultivation*. <https://improvemushroomcultivation.com/>

Rowsan, K. (2021). *Mushroom Cultivation for Beginners : 21 Step-by-Step Methods to Master Your Mushroom Growing Skills in as Little as 4 Weeks*. Kris Rowsan Publishing.

Safety Training. (s. d.). American mushroom institute.

<https://www.americanmushroom.org/grower/safety-training/>

Stamets, P., & Chilton, J. S. (1983). *The Mushroom Cultivator : A Practical Guide to Growing Mushrooms at Home* (1st éd.). Agarikon Press.

Stamets, P. (2000). *Growing Gourmet and Medicinal Mushrooms* (3rd Revised éd.). Ten Speed Press.

Statistiques Canada. (2019). *Profil économique du secteur du champignon au Canada*. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/21-004-x/2019001/article/00001-fra.htm>

University of Idaho (2000). *CIS1077 Growing Mushrooms Commercially - Risks and Opportunities*. University of Idaho Extension Publications and Multimedia.
<https://www.extension.uidaho.edu/publishing/html/CIS1077-Growing-Mushrooms-Commercially.aspx>