

2023-04

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M 2125 et var P 2175 cultivés sur la paille de riz

HABONIMANA, Siméon

UB

<https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/381>

Téléchargé depuis le dépôt institutionnel officiel de l'Université du Burundi

**FACULTE D'AGRONOMIE ET DE BIO-INGENIERIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE DES ALIMENTS
MASTER EN SCIENCES ET TECHNOLOGIE DES ALIMENTS
B.P. 2940 BUJUMBURA - BURUNDI**



**EFFETS DE LA FERMENTATION DES SUBSTRATS SUR LA
QUALITE NUTRITIONNELLE DES PLEUROTES : CAS DE
PLEUROTUS OSTREATUS VAR M2125 ET VAR P2175
CULTIVES SUR LA PAILLE DE RIZ.**

Par

Siméon HABONIMANA

**Mémoire présenté et défendu publiquement pour l'obtention d'un diplôme de
Master en Sciences et Technologie des Aliments.**

Option : Gestion de la qualité des produits Agro-Alimentaires.

Sous la direction de :

Dr. Ir Jonathan NIYUKURI : Directeur.

Ir. Vincent NTEZIRYAYO, MSc. : Co-Directeur.

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

MEMBRES DU JURY

Président du jury: Prof .NZIGAMASABO Aloys;

Secrétaire du jury: Dr.Ir KARIKURUBU Jean Félix(PhD);

Membre du Jury : Dr.Ir NIYUKURI Jonathan.

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

DEDICACES

A nos parents ;

A mon épouse Alphonsine KANYANGE ;

A notre fils Ilyan Précieux Gloire HABONIMANA ;

A la famille du docteur François NDARUGIRIRE ;

A nos frères et sœurs ;

A nos enseignants ;

A toute personne qui nous est chère.

Nous dédions ce mémoire.

REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait pas abouti à terme n'eurent été les efforts conjugués de plusieurs personnes qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué sa réalisation.

Nos sincères remerciements sont particulièrement adressés aux professeurs Jonathan NIYUKURI et Vincent NTEZIRYAYO, promoteurs et encadreurs de ce travail, qui, malgré leurs calendriers chargés, ont accepté de guider nos premiers pas dans la recherche scientifique et Prosper KIYUKU pour la participation dans la conception du sujet. Leurs observations, leurs conseils judicieux, leurs rigueurs scientifiques et leurs remarques pertinentes nous ont été d'une grande utilité. Sans eux, ce travail n'aurait pas vu le jour. Qu'ils trouvent à travers ces quelques lignes le couronnement de leurs efforts.

Nous exprimons notre profonde reconnaissance à tous les éducateurs qui ont contribué à notre formation tant humaine que scientifique depuis l'école primaire jusqu' à l'université du Burundi. Nous saluons spécialement les efforts concentrés par la faculté d'Agronomie et de Bio- Ingénierie (FABI) de l'université du Burundi.

Grand merci à vous nos chers parents qui, en nous envoyant à l'école, avez jeté les premiers jalons de ce travail. Veuillez prendre ce travail comme la récolte des fruits de vos efforts. .

Que soient remerciés du fond de notre cœur nos oncles et tantes, frères et sœurs, cousins et cousines, et spécialement ma femme Alphonsine KANYANGE pour ses efforts et profondément le Dr François NDARUGIRIRE pour ses encouragements. Votre contribution nous a été importante et restera toujours à l'abri de l'oubli.

Enfin, que nos amis et nos camarades étudiants surtout de promotion avec qui nous avons partagé joies et peines durant tout le trajet à l'université du Burundi et aux autres différentes institutions agricoles, n'éprouvent point de peine de se reconnaître.

Siméon HABONIMANA.

RESUME

Le problème de terres cultivables insuffisantes et de la malnutrition se pose avec acuité suite au rythme de l'évolution démographique galopante au Burundi. Cette étude de fermentation des substrats en myciculture a été conduite afin de contribuer à la diminution de contamination des substrats pour combattre la malnutrition et la réduction des prix des substrats spécialement reconnus comme meilleurs à travers la valorisation de la paille de riz en substrats de qualité. Pour réaliser cette étude, une quantité de paille de riz a été fermentée dans la serre de la FABI à l'Université du Burundi (UB). Deux tas T₁ et T₂ ont été constitués à base de paille de riz complétée par de la chaux agricole à 1% et du son de riz à 5%. La température des substrats a été mesurée à l'aide d'un thermomètre tous les deux jours sans leurs retournements et un échantillon a été prélevé afin de suivre l'évolution de l'humidité et du rapport Carbone /azote au cours de la fermentation du substrat . une haute température de 72°C a été observée avec une moyenne journalière de 69, 3°C pour tous les tas avant de revenir progressivement à 30 °C au bout de deux semaines. Les analyses de l'azote total, de carbone, de l'humidité, du rapport C/N du substrat et de la teneur en protéines des champignons ont été faites au laboratoire de chimie. C'est pour cela que notre travail de recherche contribue à faire des essais sur la fermentation de la paille de riz afin de comparer la composition nutritionnelle d'un champignon cultivé sur la paille de riz fermentée et ceux cultivés sur le même substrat non fermenté . Au cours des analyses faites au laboratoire de chimie, les résultats obtenus ont montré que la fermentation a un effet positif sur la désinfection, la durée de croissance mycélienne, le rapport carbone azote ($C/N \geq 50/1$), l'augmentation de la teneur en protéines des champignons soit variante de $13,12 \pm 0,3\%$ à $23,12 \pm 1\%$ pour *P. ostreatus* var P₂₁₇₅ et de $16,833 \pm 0,65\%$ à $30,6 \pm 0,2\%$ pour M₂₁₂₅ et ces mêmes résultats ont montré que les pleurotes poussent sur un substrat dont le rapport $C/N \geq 50/1$ et en dessous du rapport carbone azote de 30/1 ne poussent pas . A la lumière des résultats de ce travail, il faudrait cependant mettre en place un processus de fermentation du substrat, un levier qui pourra aider à contrecarrer la contamination des substrats et aux maladies dues aux carences nutritionnelles suite à l'augmentation remarquable de la teneur en protéines pour les pleurotes cultivés sur les substrats fermentés.

Mots clés : effet, fermentation, substrats, qualité nutritionnelle, pleurotes.

ABSTRACT

The problem of insufficient arable land and malnutrition is acute following the pace of galloping demographic developments in Burundi. This study of fermentation of substrates in myciculture was carried out in order to contribute to the reduction of contamination of substrates to combat malnutrition and the reduction of the prices of substrates specially recognized as better through the valorization of rice straw into quality substrates. To carry out this study, a quantity of rice straw was fermented in the FABI greenhouse at the University of Burundi (UB). Two piles T1 and T2 were made from rice straw supplemented with 1% agricultural lime and 5% rice bran. The temperature of the substrates was measured using a thermometer every two days without turning them and a sample was taken in order to follow the evolution of the humidity and the Carbon / nitrogen ratio during the fermentation of the substrate. a high temperature of 72°C was observed with a daily average of 69.3°C for all piles before gradually returning to 30°C after two weeks. Analyzes of total nitrogen, carbon, humidity, C/N ratio of the substrate and protein content of the mushrooms were carried out in the chemistry laboratory. This is why our research work contributes to carrying out tests on the fermentation of rice straw in order to compare the nutritional composition of a mushroom cultivated on fermented rice straw and those cultivated on the same unfermented substrate. During the analyzes carried out in the chemical laboratory, the results obtained showed that fermentation has a positive effect on disinfection, the duration of mycelial growth, the carbon-nitrogen ratio ($C/N \geq 50/1$), the increase in the protein content of the mushrooms varies from $13.12 \pm 0.3\%$ to $23.12 \pm 1\%$ for *P. ostreatus* var P2175 and from $16.833 \pm 0.65\%$ to $30.6 \pm 0.2\%$ for M2125 and these same results showed that oyster mushrooms grow on a substrate with a C/N ratio $\geq 50/1$ and below the carbon-nitrogen ratio of 30/1 do not grow. In light of the results of this work, it would however be necessary to set up a substrate fermentation process, a lever which could help to counteract the contamination of the substrates and diseases due to nutritional deficiencies following the remarkable increase in the content of proteins for oyster mushrooms grown on fermented substrates.

Key words: effect, fermentation, substrates, nutritional quality, oyster mushrooms.

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

TABLE DES MATIERES

MEMBRES DU JURY	i
DEDICACES	ii
REMERCIEMENTS	iii
RESUME	iv
ABSTRACT	v
TABLE DES MATIERES	vi
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES FIGURES	x
LISTE DES ABREVIATIONS	xi
AVANT-PROPOS	xiii
INTRODUCTION GENERALE	1
I^{ère} PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	4
CHAPITRE I : GENERALITE SUR LA FERMENTATION	5
I.1. Historique.....	5
I.2. Définition de la fermentation (compostage).	5
I. 3. Le processus de fermentation ou compostage du substrat	5
I. 3.1. Phases de la fermentation anaérobique ou de compostage	6
I.3.2. Paramètres influençant la fermentation	8
CHAPITRE II.GENERALITE SUR LES CHAMPIGNONS	10
II.1.Introduction	10
II.2. Définition.....	10
II.3.Historique et classification des champignons.....	10
II.4.Importance des champignons dans l'alimentation africaine.....	11
II.5. Importance nutritionnelle des champignons	12
II.6. Importance économique des champignons comestibles	13
II.7. Contribution des champignons dans la gestion de l'environnement	13

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

II.8. Importance des champignons dans le domaine médical.....	13
II.9. Importance des champignons en Agroalimentaire	14
II.10.Composition chimique et nutritionnelle des champignons comestibles.....	14
II^{ème} PARTIE : EXPERIMENTATION	16
CHAPITRE III: MATERIEL ET METHODES.....	17
III.1. Lieu De Travail	17
III.2. Semences et substrats	17
III. 3. Matériel et consommables.....	17
III .4. Méthodologie	19
III.4.1. Préparation des semences	19
III.4.2 Préparation du substrat	20
III.4.3. Trempage et égouttage du substrat.....	20
III.4.4. Mesure du taux d’humidité du substrat après égouttage	21
III.4.5. Fermentation des substrats	21
III.4.6. Remplissage des sachets.....	23
III.4.7. Stérilisation.....	23
III.4.8. Ensemencement ou inoculation.....	23
III.4.9. Incubation et Suivi de la croissance mycélienne.....	24
III.4 .10. Fructification et récolte	24
III.4.11.Sechage des champignons	25
III.5. Analyse des paramètres physicochimiques du substrat.....	25
III.5. 1 .Teneur en COT (Carbone Organique Total)	25
III.5. 2.Teneur en azote total	26
III.5 .3.Analyse du rapport carbone azote	28
III.6. Analyse de la teneur en protéines (TPr) des pleurotes	28
III.7. Analyse statistique des données	28

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

CHAPITRE IV. PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS	29
IV.1. Evolution de la température au cours de la fermentation.....	29
IV.2. Evolution du taux d'humidité du substrat au cours de la fermentation.....	31
IV.3 .Evaluation du taux de contamination des bottesensemencées	32
IV .4. Suivi de la croissance mycélienne	33
IV .5.Analyse de l'influence du rapport C/N sur la teneur en protéines des pleurotes	34
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	37
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	39
ANNEXES.....	47

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Classification de champignon Pleurotus ostreatus	11
.....	24
Tableau 2 : Taux d'humidité des substrats fermentés et non fermentés	31
Tableau 3 : Taux de contamination du substrat.....	32
Tableau 4 : Comparaison de la durée de colonisation mycélienne et celle de la première récolte des pleurotes (Volé 1).....	33
Tableau 5: Influence du rapport carbone azote sur la teneur en protéines des pleurotes	35

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Courbe théorique d'évolution de la température au cours du compostage (Francou, 2003)..... 7

Figure 2 : Photo montrant la technique d'égoutage du substrat 21

Figure 3: Photo montrant la technique de fermentation du substrat 22

Figure 4 : Photo montrant la prise de la température après une semaine de la fermentation des substrats sans faire le retournement. 22

Figure 5: Photo illustrant la technique d'ensemencement par trous multiples 24

Figure 6 : Photo montrant (a)la technique de gobetage et (b) les champignons prêts à être récoltés 25

Figure 7: Evolution de la température au cours de la fermentation pour le tas perturbé 29

Figure 8: Evolution de la température au cours de la fermentation pour le tas perturbé 29

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

LISTE DES ABREVIATIONS

%	: pourcentage.
AFNOR	: Associations Françaises de Normalisation
ANOVA	: Analysis Of Variance.
B.E	: bottes épuisées.
C/N	: Rapport Carbone Azote.
Ca	: calcium.
COT	: Carbone Organique Total
Cu	: cuivre.
<i>Et al.</i>	: Et ses collaborateurs.
FABI	: Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie.
FAO	: Food and Agriculture Organization.
Fe	: fer.
G	: gramme.
IFDC	: International Fertilizer Development Center
ISO	: International Organization for Standardization.
ISTEEBU	: Institut des Statistiques et d'Etudes Economiques du Burundi.
J	: jour.
K	: Potassium
Kg	: kilogramme.
Km ²	: kilomètre carré
MOT	: Matière Organique Totale
Na	: chlorure de sodium.
NBC	: Nombre de Bottes Contaminées.

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

NBT	: Nombre de Bottes Totales.
NTK	: Azote Total Kjeldahl.
°C	: degré Celsius.
P	: Phosphore .
P1	: prélèvement 1.
PB	: poids brut.
pH	: Potentiel d'Hydrogène.
PN	: poids net.
PT	: Prélèvement témoin.
Se	: sélénium.
SF	: substrat fermenté.
SNF	: substrat non fermenté.
SPSS	:Statistical Product and service solutions.
T	: Temps.
T.H	: Taux d'Humidité.
TPr	: Teneur en Protéines.
UB	: Université du Burundi.
Zn	: zinc.

AVANT-PROPOS

Le présent mémoire entre dans le cadre de l'obtention d'un diplôme de master en Sciences et Technologies des Aliments, option de Gestion de la Qualité des Produits Agro-alimentaires. L'idée de cette étude est venue du fait que le pleurote (champignon comestible) est l'un des aliments riches en protéines qui ne sont pas trop reconnus au Burundi mais qu'il semble y avoir peu ou pas d'informations sur sa composition nutritionnelle.

La présente étude vise à évaluer l'influence de la fermentation anaérobique des substrats sur la composition nutritionnelle des pleurotes (*Pleurotus ostreatus* var M 2125 et *Pleurotus ostreatus* var P2175) et de constituer une base de données utile qui permettra l'amélioration de la qualité nutritionnelle des pleurotes afin que ce dernier soit un aliment de substitution des aliments riches en protéines (protéines animales) capable de contribuer à la lutte contre les maladies liées aux déséquilibres alimentaires qui, actuellement, constituent des problèmes majeurs pour la santé de la population de la zone rurale et dans tout le pays en général.

C'est pourquoi le sujet est intitulé « **Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de *pleurotus ostreatus* var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz** »

Des difficultés n'ont pas manqué au cours de cette étude surtout ceux liés à la contamination des substrats avant de prendre une mesure d'utiliser la paille de riz fermentée, aux moyens financiers qui étaient insuffisants et le manque du matériel de laboratoire spécialisé pour la détermination d'autres éléments tels que les teneurs en lipides, glucides, en vitamines et en éléments minéraux. D'où la présente étude a été effectuée en vue d'évaluer l'effet de la fermentation des substrats sur la contamination, la croissance mycélienne et la détermination de la teneur en protéines seulement car elles sont en abondance chez les pleurotes par rapport aux autres teneurs qui n'ont pas été déterminées.

INTRODUCTION GENERALE

Depuis quelques décennies, le Burundi connaît une situation alimentaire déficitaire tant dans les zones rurales qu'urbaines causée par l'insuffisance des protéines et énergie tout en connaissant que le secteur agricole occupe une place importante, soit plus de 90% de la population (**ISTEEBU, 2006**). Le changement climatique, le nombre de saisons et le nombre de culture par parcelle et aussi la pression démographique extrême (200-400 habitants /Km²) sont les différents obstacles au développement du secteur agricole (**ISTEEBU, 2006**).

Pour résoudre ce problème, hormis les protéines d'origine animale, il y a d'autres sources d'aliments protéiniques sûres parmi lesquels figurent les champignons comestibles(pleurotes) qui sont considérés comme substituts potentiels de la viande et d'autres produits animaux. L'objectif de tout myciculteur est l'obtention des semences (mycélium) de qualité et du cycle court, alors que le consommateur a besoin d'une alimentation saine et riche en éléments nutritifs. La qualité du blanc, la nature du substrat et les conditions de traitement du substrat sont les facteurs fondamentaux pour la réussite en myciculture (**Nteziryayo et al, 2019**). Pour y parvenir, le myciculteur doit suivre le protocole de la culture des champignons en appliquant les mesures strictes d'hygiène tout en créant un environnement indemne de la contamination. Les champignons comestibles par l'Homme, les lichens, les mycorhizes, les champignons parasites des arbres morts, les champignons toxiques, les moisissures, les champignons des maladies des arbres ou des plantes, tous ces champignons sont indispensables à la forêt (**Xiao-Yu et al., 2016**).

Bien qu'encore peu développée en Afrique, particulièrement au Burundi, la culture des pleurotes présente de nombreux avantages qui pourraient apporter une solution aux nombreux défis auxquels fait face notre pays en particulier (**Degreef et al., 2016**).

En effet, des études faites sur les champignons comestibles (pleurotes) montrent qu'ils constituent un aliment à haute valeur nutritionnelle en raison de leur richesse en protéines, en acides gras insaturés et polyinsaturés, en vitamines, en éléments minéraux majeurs et en oligoéléments et de nombreuses vertus thérapeutiques leur sont également attribuées : réduction de la cholestérolémie, de la glycémie, de la fatigue, renforcement du système immunitaire, capacité d'éliminer de nombreuses toxines métaboliques en raison de la présence de polysaccharides à propriétés antioxydantes (**Kiyuku et al., 2008**).

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

De toutes les façons, il faut relever que les champignons consommés couramment en Afrique particulièrement au Burundi proviennent des cueillettes saisonnières et sporadiques dans les forêts et savanes qui n'assurent qu'un apport dérisoire.

L'espèce de champignon la plus indiquée au Burundi est le pleurote du fait de son adaptation à des conditions éco-climatiques du Burundi et que sa culture y est en voie de vulgarisation (**Kiyuku et al., 2008**). La culture des pleurotes peut par ailleurs jouer un rôle socio-économique important comme source de revenus et de protéines de qualité proche de la viande et accessible aux autochtones paysans (**Demer, 2006**).

En tenant compte des substrats (des déchets agricoles facilement trouvables sur notre territoire) ci-après : les feuilles sèches de bananiers, la paille fraîche de Panicum , les feuilles sèches de maïs et les feuilles sèches de canne à sucre, les brisures des graines de cotons, la paille de riz, etc , nous avons voulu étudier ceux pouvant intervenir comme substrats qui donnent un bon rendement avec un prix abordable.

Le problème d'accessibilité aux brisures de graines de coton reconnues comme meilleur substrat de culture des champignons au Burundi et son prix sans cesse croissant nous a poussé à recourir à l'un des substrats alternatifs ci-haut énumérés en l'occurrence la paille de riz.

Notre travail intitulé « **Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz** » s'inscrit dans le cadre d'une série de travaux de recherches en cours visant l'identification des substrats alternatifs aux brisures de graines de coton et la mise en lumière de l'influence de la nature du substrat et son traitement sur la croissance mycélienne, le rendement et la valeur nutritive des champignons cultivés.

Deux lots de paille ont été constitués à savoir un lot de paille fermentée et un lot de paille non fermentée, afin de mettre en évidence l'impact de la fermentation (1) sur le taux de contamination des bottes fabriquées ; (2) sur la variation du rapport carbone/azote du substrat; (3) sur la croissance mycélienne et (4) sur la valeur nutritive des champignons cultivés, notamment leur teneur en protéines. Comme c'est reconnu que les pleurotes contiennent une grande quantité des protéines (**Kiyuku et al ., 2020**), notre étude sur la teneur en protéine des pleurotes a été choisie pour analyser l'effet de la fermentation des substrats sur son augmentation ou sa diminution.

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

Cette étude servira dans le choix des substrats et additifs localement disponibles et répondra au souci de valoriser certains substrats sans grand intérêt économique à l'occurrence de nombreux résidus cultureux et déchets agricoles facilement trouvés au Burundi.

Pour bien conduire ce travail, nous avons travaillé sur les hypothèses suivantes:

- La fermentation du substrat a des effets sur la qualité nutritionnelle des pleurotes.
- La fermentation du substrat a des effets sur le taux de contamination des bottes fabriquées, le rapport C/N et la croissance des champignons cultivés.

Notre travail a été subdivisé en deux parties :

La première partie est une revue bibliographique et parle de quelques généralités sur les champignons et la fermentation du substrat.

La deuxième partie est expérimentale et relate le matériel et la méthodologie de travail; elle montre et discute des résultats obtenus avant de se boucler par une conclusion et quelques recommandations.

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

I^{ère} PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LA FERMENTATION

I.1. Historique

La fermentation ou le compostage n'est pas une technique récente mais très ancienne pratiquée dès l'Antiquité (**Ngnikam et al., 2017**). Depuis des millénaires, les Chinois ont rassemblé et fermenté toutes les matières organiques du jardin, des champs, de la maison y compris les matières fécales (**Ngom et al., 2017**). Aussi le mot 'compost' vient du latin 'Compositus' qui signifie 'composé de Plusieurs choses'. Les romains appelaient ainsi les préparations de légumes et de fruits avec des adjonctions d'huiles, de sel et d'autres adjuvants. C'est sous ce nom que la Choucroute a été introduite en Europe centrale au XI^{ème} siècle (**Bokobana et al., 2017**).

Des études montrent que la fermentation ou compostage est divisée en deux catégories selon la nature du processus de décomposition : la fermentation (compostage) aérobie et la fermentation (compostage) anaérobie (**Misra et al., 2005**). Le produit ainsi obtenu est appelé compost. Lors du compostage anaérobie, la décomposition se produit quand l'oxygène est absent ou présent en quantité très limitée et aboutit à la production du gaz méthane (**Francou, 2003**).

I.2. Définition de la fermentation (compostage).

La fermentation ou le compostage est une technique qui consiste à transformer les déchets fermentescibles en fertilisants (compost) utilisables pour la production agricole. Cette technique de valorisation des déchets génère directement et indirectement une valeur ajoutée assez importante mais reste cependant très peu développée (**Savado, 2011**).

La fermentation est définie comme un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques d'origine végétale et animale, par une succession de communautés microbiennes évoluant en entraînant une montée de la température qui permet d'éliminer les germes pathogènes et conduisant à l'élaboration d'une matière organique stabilisée (**Misra et al., 2005**).

I. 3. Le processus de fermentation ou compostage du substrat

Plusieurs paramètres (température, pH, air...) présentent des variations au cours du compostage. L'évolution de la température, qui exprime l'activité de la succession de

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

populations microbiennes liées aux modifications du milieu, est la manifestation la plus perceptible de la dynamique du compostage (Inckel et al., 2005; Ndayegamiye et al., 1997).

Le processus de compostage débute par la formation du tas ou de l'andain (Misra et al., 2005). La littérature montre qu'il est important de considérer un certain nombre d'aspects pour bien faire démarrer la phase de fermentation (Inckel et al., 2005).

I. 3.1. Phases de la fermentation anaérobique ou de compostage

La fermentation anaérobique est subdivisée en 4 phases : la phase mésophile, la phase thermophile, la phase de refroidissement et la phase de maturation (Toundou, 2017 ; Francou, 2003).

-La phase mésophile : c'est la phase initiale du compostage qui a une température idéale comprise entre 20°C et 45°C (Toundou, 2016).Des microorganismes mésophiles dont la température de croissance optimale est comprise entre 20 et 45°C se multiplient rapidement grâce aux sucres et acides aminés facilement disponibles dans les tas de compost (Joulin, 2022).

- La phase thermophile : La phase thermophile est caractérisée par une augmentation de la température dans les tas de 45 ° C à environ 70 ° C (Toundou, 2016). Des études faites montrent que quelques champignons ainsi que de nombreuses bactéries thermophiles (dont la température de croissance optimale est comprise entre 50 et 70°C) sont à l'origine de la température du tas à 65°C, voire même plus (Dieng et al., 2019) .

- La phase de refroidissement : La phase de fermentation se transforme progressivement en phase de refroidissement. La décomposition a lieu sans dégagement de chaleur important, si bien que la température du tas de compost baisse lentement (Inckel et al., 2005).

Cette phase quant à elle, est caractérisée par la diminution graduelle de la température du tas de compost jusqu'à environ 30 °C et le début de cette phase est identifiable lorsque le retournement ne provoque plus d'augmentation de la température du mélange (Misra et al . , 2005).

Selon la littérature, cette diminution graduelle de la température est due au ralentissement de l'activité microbienne en raison d'une diminution de la quantité de matière organique

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

facilement dégradable (Ntukamazina , 2006). Au cours de cette phase, des micro-organismes mésophiles colonisent à nouveau le compost (Francou, 2003).

- **la phase de maturation** : La phase de maturation quant à elle constitue la phase finale du processus de fermentation au cours de laquelle la température revient à la température ambiante (Compaoré et al., 2010) .

D'autres études ont montré que le processus de fermentation des pailles ou autres déchets des végétaux est scindé en deux grandes phases qui résument les 4 phases (Dieng et al., 2019) :

- ✓ **Il y a la phase oxydative ou phase de fermentation** : Cette première phase appelée phase oxydative ou phase de fermentation est la phase la plus importante du processus qui correspond à la montée progressive de la température allant jusqu'à 77 °C.
- ✓ **et la phase de maturation** où la température diminue progressivement jusqu'à la stabilité favorisant ainsi la formation des éléments précurseurs de l'humus (Rucakumugufi et al., 2021).

L'évolution de température au sein d'un tas dépend de la production interne de chaleur et des échanges avec l'extérieur (Afouda et al., 2012).

En résumé, ces quatre phases établies en fonction de la température sont représentées par la courbe suivante :

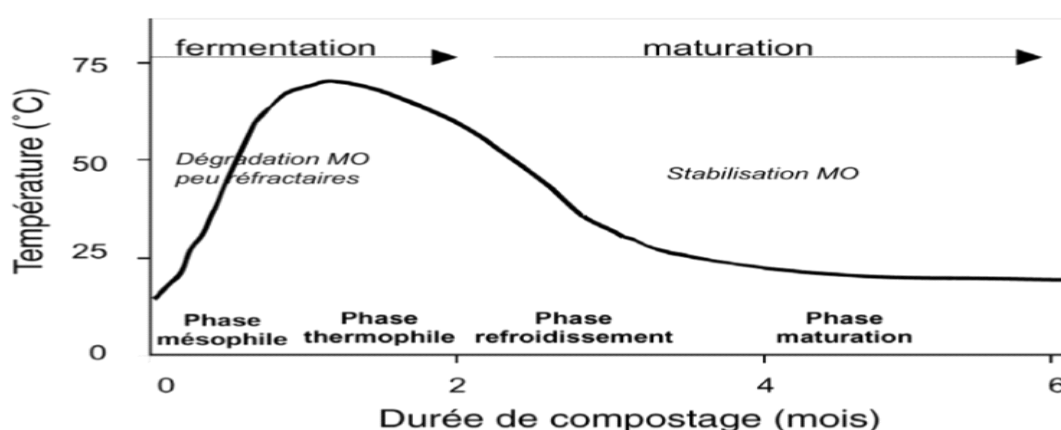


Figure 1. Courbe théorique d'évolution de la température au cours du compostage (Francou, 2003).

I.3.2. Paramètres influençant la fermentation

Selon la littérature, la fermentation des végétaux s'accompagne de modifications des caractéristiques physico-chimiques des matériaux compostés (Chennaoui et al., 2016) . ce point présente les grandes tendances de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques les plus classiquement suivies au cours du compostage. Il s'agit des teneurs en eau, la température, la matière organique, le rapport C/N, ainsi que le pH (IFDC, 2021) .

a. Teneur en eau

Le taux d'humidité de la matrice du compost conditionne les échanges en oxygène et donc l'activité microbienne. L'humidité idéale est celle qui permet un bon compromis entre les deux paramètres importants pour l'activité microbienne, à savoir l'aération du milieu et sa teneur en eau (Francou, 2003).

Des études montrent que le taux d'humidité diminue significativement au cours du temps, environ 70% dans le compost jeune et 10% dans le compost mûr. Cette perte d'eau est attribuée à la lixiviation, à l'évaporation due à l'élévation de la température et au retournement qui entraîne des pertes d'eau sous forme de vapeur (Chennaoui et al., 2016) .

Selon la littérature, le test de la poignée est jugé comme un bon moyen de déterminer rapidement le niveau d'humidité d'un tas de compost. En effet, une poignée de compost prise dans la main doit sembler humide, mais non trempée (IFDC, 2021) .

b. Aération

La présence d'oxygène est indispensable au bon déroulement du compostage pour maintenir les conditions aérobies nécessaires. Lorsque l'approvisionnement en oxygène n'est pas suffisant, la croissance des micro-organismes aérobies se trouve limitée, ce qui ralentit la décomposition (Misra et al., 2005).

c. Matière organique

La minéralisation importante de la matière organique entraîne une diminution des teneurs en matières organiques au cours du compostage. Les composts se caractérisent donc par des teneurs en matière organique inférieures à celles des déchets bruts (Dieng et al., 2019). Ces pertes peuvent atteindre 20 à 60% de la matière organique initiale (Francou, 2003).

d. Rapport carbone sur azote

Les micro-organismes ont besoin de C (carbone), N (azote), P (phosphore) et K (potassium) comme éléments nutritifs principaux (Misra et al. 2005). Le rapport C/N est l'un des paramètres importants qui permettent d'apprécier l'aptitude des ordures au traitement par le compostage et renseigne sur la qualité du compost obtenu (Guermoud et al., 2021). La biodégradabilité d'un déchet organique est dépendante de son rapport C/N (Misra et al. 2005). Ce rapport est influencé d'une part par la composition des intrants, et d'autre part par son degré de maturation (Toundou , 2017). La vitesse du processus de fermentation devient rapide lorsque le rapport C/N des matériaux de compostage est de 30 /1 (Bromblet et .al, 2015). C'est aussi le paramètre le plus communément mesuré pour évaluer la maturité d'un compost (Dabre et al., 2016) .

e. Température

Le compostage ou la fermentation est accompagné de production de chaleur. Il est largement admis depuis longtemps que la chaleur générée au sein du compost est essentiellement d'origine biologique, c'est à dire due à l'activité microbienne (Francou et al., 2003).

pH

Le pH est un indicateur du degré de décomposition biologique et biochimique des déchets à fermenter (Charnay, 2005). En effet, au cours de la dégradation de la matière fermentée (compost), deux phases distinctes caractérisées par des variations de pH se succèdent: une phase acidogène suivie d'une alcalinisation (Toundou, 2017).

g. Emplacement du tas

Le choix de l'emplacement du tas de compost est très important. Il faut prêter attention aux aspects suivants : Climat, si les conditions climatiques sont essentiellement sèches, il est important de protéger le tas de compost du dessèchement (Inckel et al., 2005).

En outre, les littératures montrent qu'il est pratique d'avoir de l'eau à proximité du tas de compost, pour pouvoir l'arroser s'il est trop sec. Dans des conditions climatiques humides, il est important de protéger le tas contre de trop grandes quantités d'eau (Chennaoui et al., 2016) .

CHAPITRE II.GENERALITE SUR LES CHAMPIGNONS

II.1.Introduction

Les champignons, ou plus jostlement les mycètes, regroupent de nombreuses espèces, formant ensemble l'un des cinq règnes du vivant classés. Le règne fongique à part, depuis 1950 avec les avancés en biochimie et en biologie moléculaire, 1,5 million d'espèces de champignons ont été identifiées et de 200 000 à 300 000 espèces ont été répertoriées (**Demer, 2006**).

Bien que longtemps considérés comme des algues, et donc des plantes, ils se distinguent du règne végétal par de nombreuses caractéristiques, notamment par absence de chloroplastes, faisant d'eux des êtres hétérotrophes pour le carbone. D'après la classification phylogénétique, ils sont plus proches des animaux, formant avec eux l'essentiel du super-règne des opisthochontes (**Rapior , 2006**).

Le règne des champignons est subdivisé en deux groupes: il y a le groupe des champignons inférieurs (sans carpophore) et celui des champignons supérieurs (avec carpophore). Ce groupe nous intéresse plus, et il renferme les champignons comestibles dont le pleurote (*pleurotus ostreatus* P2125 et P2175) (**Rapior , 2006**) .

II.2. Définition

La définition d'un champignon diffère d'un auteur à l'autre par exemple selon **Delmas (1989)**, un champignon est un organisme fixé à un substratum dont l'appareil végétal n'a ni feuilles ni tiges ni racines mais est constitué d'un ensemble de filaments très fins ou hyphes formant la halle (**Demer, 2006**).

Le champignon est un végétal cryptogamique dont l'appareil végétatif ou halle est dépourvu des racines, des tiges et des feuilles (**Rapior, 2006**).

II.3.Historique et classification des champignons

II.3. 1.Historique des champignons

Des études faites montrent qu'au Burundi, la culture des champignons reste encore inconnue de beaucoup d'agriculteurs burundais alors que par contre elle est veille en Europe, aux Etats Unis d'Amérique et en Asie .Au Burundi, elle ne date pas de très longtemps. Ce n'est qu'en 1993 qu'un projet belgo-Burundi a initié un programme de recherche sur la culture des champignons comestibles particulièrement les pleurotes (**Kiyuku et al., 2008**).

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

Les champignons ont presque toujours intrigué les hommes, mais c'est en 1795 qu'un botaniste nommé Jean-Jacques Paulet (1740-1826) définit la science du champignon comme étant la mycologie. A cette époque les champignons étaient considérés comme des plantes dépourvues de chlorophylle (**Degreef et al., 2016**).

II.3.2. Ancienne classification des champignons

Une des classifications les plus répandues est celle d'Ainsworth et Bisby dans leur "Dictionary of Fungi" (1971), bien qu'elle soit aujourd'hui profondément remaniée (9e édition en 2001) on trouve encore des anciennes versions de cette classification dans certains ouvrages (**Demer, 2006**). Ils sont, malgré tout, toujours étudiés par les mycologues et relèvent donc toujours de la mycologie au sens large (**Abdullah et al., 2013**).

Tableau 1: Classification de champignon Pleurotus ostreatus

Règne	Fungi
Division	Basidiomycota
Classe	Agaricomycetes
Ordre	Agaricales
Famille	Pleurotaceae
Genre	pleurotus
Espèce	P. ostreatus

Source : (**Rapior, 2006**).

II.4.Importance des champignons dans l'alimentation africaine

Des études montrent que dans la plupart des régions d'Afrique où vivent les populations bantoues, Les champignons sont préférentiellement récoltés par les femmes et leurs enfants (**Fetima, 2014**).

Mais chez les Pygmées d'Afrique centrale , les hommes participent également à leur récolte (**Toukara et al., 2017**). Au Zimbabwe, un ménage consomme jusqu'à 20 kg de champignons frais par an et cette valeur avoisine 160 kg au Mozambique, où la consommation moyenne annuelle du seul *Termitomyces schimperi* peut atteindre 30 à 35 kg par famille (**Eyi Ndong et al., 2014**).

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

En région zambézienne et en Afrique de l'Est, où dominant les forêts claires de type miombo, la vente des champignons constitue également une véritable activité commerciale qui génère d'importants revenus (**Joseph et al., 2013**). Les prix demandés varieront du simple au quintuple en fonction de la distance parcourue par le récolteur pour mettre en vente ses sporophores et de la saison, et par conséquent de la disponibilité des espèces comestibles C'est notamment le cas au Burundi (**Nieuwenhijzen, 2005 ; kiyuku et al., 2008**).

En Afrique centrale forestière, les Pygmées consomment généralement sans délai la totalité de leurs récoltes. Les champignons constituent néanmoins un produit apprécié dans les activités de troc chez les Bofi de République Centrafricaine. Tout comme au Bénin, cette activité commerciale n'est toutefois pratiquée que de manière occasionnelle (**Nzigidahera et al., 2016**).

II.5. Importance nutritionnelle des champignons

Autrefois considérés comme des aliments à faible valeur nutritive, les champignons comestibles revêtent aujourd'hui un intérêt particulier. Les champignons constituent un apport nutritif important pendant les périodes de soudure et peuvent donc jouer un rôle important dans la fortification des aliments pour enfants (**Degreef et al., 2016**).

En effet, il a été rapporté que les champignons contribuent fortement à la subsistance des populations africaines, surtout au sud du Sahara, grâce à leurs valeurs nutritionnelles non négligeables (**Fuchs, 2009**). Les champignons comestibles contiennent une quantité raisonnable de protéines, de glucides, de minéraux, de fibres et de vitamines (**Mondo, 2016**).

Tous les acides aminés indispensables à l'homme sont présents dans ce champignon. Il est ainsi plus riche en acides aminés que les légumes (chou, salades, pommes de terre) mais moins riche que le lait, le pain ou le riz, soit 2,5 à 3,5 g pour 100 g (**Shah, 2016**).

L'importance alimentaire des champignons est reconnue au sein de certaines civilisations qui ont intégré la consommation régulière des champignons dans leurs habitudes alimentaires (**Nieuwenhijzen, 2005**).

En effet, pour 100 g de matière sèche, la valeur énergétique des champignons varie de 250 à 400 kcal et pour 100 g de matière fraîche, elle est d'environ 25 kcal de part leur faible valeur calorique, ils peuvent rééquilibrer ou compléter les menus trop riches en lipides ou s'intégrer dans les régimes diététiques hypocaloriques (**Adewusi et al., 2006**).

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

D'autre part, les champignons participent efficacement à la couverture des besoins vitaminiques, notamment en vitamines du groupe B (B1, B2, B6 et B12), du groupe D et C (connu sous le nom d'acide ascorbique). Aussi, ils contiennent des éléments minéraux (Fe, Se, Cu, Zn, Ca, P) et des fibres alimentaires facilitant la digestion (**Kiyuku et al., 2020**).

II.6. Importance économique des champignons comestibles

En Afrique tropicale, la cueillette des champignons sauvages représente une activité de grande valeur commerciale et implique des milliers de femmes rurales (**Kiyuku et al., 2008**).

Les champignons constituent une source d'aliments, de médicaments et de revenus pour les populations rurales (**Degreef et al., 2016**). Il en va de même des populations rurales africaines et béninoises chez lesquelles la consommation des champignons est une tradition ancestrale, quand bien même cette habitude s'érode de génération en génération (**Guisso et al., 2005**).

En dehors de leur valeur marchande, Les champignons sont recherchés pour leur valeur nutritionnelle et leur saveur inégalable (**Buyck, 1994**). La vente des champignons sauvages comestibles sur le marché local est une source importante de revenus pour de nombreuses populations rurales. Ils sont parfois vendus après conservation dans de la saumure (**Mesfek , 2014**).

II.7. Contribution des champignons dans la gestion de l'environnement

Les rejets agro-industriels, dont la production augmente constamment - causent de graves problèmes environnementaux. L'industrie cherche donc des moyens de recycler ces rejets. Les champignons peuvent être utilisés comme moyen de lutte biologique contre les parasites de plantes au lieu des pesticides aux conséquences parfois dangereuses. Puis facilitent le recyclage des déchets organiques des plantes et animaux morts (**Profocus, 2015**).

En effet, sous l'action des champignons, des substances ligneuses et cellulosiques, comme la paille ou les écorces, peuvent se transformer suffisamment pour être utilisées directement dans l'alimentation animale. Les champignons ont aussi une importante et efficace voie de valorisation des déchets biodégradables consiste à les utiliser dans la culture et la production des champignons comestibles (**Sánchez, 2010**).

II.8. Importance des champignons dans le domaine médical

Plusieurs études prospectives et épidémiologiques ont démontré qu'une consommation élevée de fruits et légumes diminuait les risques de maladies cardiovasculaires, de certains cancers et

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

d'autres maladies chroniques. Quelques mécanismes d'actions ont été proposés pour expliquer cet effet protecteur. Des recherches scientifiques montrent que les pleurotes ont le pouvoir antioxydant, et ont un impact positif sur la diminution significative du taux de cholestérol **(Kiyuku et al, 2020)**.

En effet, selon les travaux de Guissou et al. (2014), les champignons locaux sont utilisés dans le domaine de l'alimentation et pour la fabrication d'antibiotiques et d'autres médicaments.

Les champignons sont reconnus pour leurs propriétés biologiques ; anticancéreux, Hypocholestérolémiants, immunostimulants, antioxydants **(Ferreira et al., 2007)**. Ainsi, la population locale considère les champignons comestibles comme un aliment « santé » et n'hésite pas à les inclure dans une diète visant une bonne santé cardiovasculaire **(Pedneault, 2007)**.

II.9. Importance des champignons en Agroalimentaire

Les champignons comestibles renferment 20 – 40 % de protéines dont la composition en acides aminés essentiels se rapproche de celle des animaux. Cent cinquante grammes de champignons par personne et par jour correspondent à 40 % des besoins protéiques quotidiens. Ils sont riches en vitamines surtout les vitamines du groupe B, vitamine D et C. En outre, ils sont riches en éléments minéraux comme K, P, Fe **(Xiao-Yu et al., 2016)**. Ils Constituent des produits d'accompagnement important des repas et d'appoint pour l'alimentation humaine, principalement en zone rurale et apportent une excellente valeur nutritive **(Pedneault, 2007)** .

II.10. Composition chimique et nutritionnelle des champignons comestibles

Le champignon est composé à 80-90% d'eau ce qui lui confère une valeur calorifique très basse. Riche en fibres soluble, il permet d'avoir un meilleur transit intestinal.

Ils sont en effet déficitaires en certains acides aminés indispensables (en particulier en tryptophane). Ils sont considérés comme des sources de nutriments importants y compris les fibres alimentaires, les minéraux et les vitamines, notamment la vitamine D **(Abdullah et al., 2013)**. L'analyse de la composition chimique des champignons montre qu'ils sont très riches en minéraux indispensables dans la nutrition humaine (**Toukara et al., 2017**) .

La fructification du champignon *P. ostreatus* est une bonne source de protéines. Ce corps est également riche en glucides (fibres alimentaires), à faible teneur en matières grasses contenues les fructifications de cette huître, le champignon peut être consommé régulièrement comme

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

protéine supplémentaire. La teneur élevée en fibres avec une haute fraction des propriétés physiologiques et fonctionnelles pourrait être un nutriment potentiellement bénéfique pour la santé, particulièrement bénéfique contre certains métabolismes des maladies métaboliques comme le diabète (**Kiyuku et al., 2020; Philippe, 2005**).

Sur le plan nutritionnel, *P. ostreatus* est connu pour être un excellent fournisseur de protéines de haute valeur biologique, de fibres alimentaires et oligo-éléments, mais il est aussi connu pour sa faible teneur en matières grasses (**Xiao-Yu et al., 2016**). Dans cet égard, une étude récente révèle que ces champignons ont été considérés comme fonctionnels aliments (**Adebayo, 2017**). Cependant, certaines études indiquent que les substrats utilisés pour la culture des champignons peuvent altérer les caractéristiques biochimique, fonctionnelles et microbiologiques des fructifications, ainsi que leurs propriétés sensorielles (**Zhang et al., 2019**)

II.11. Valorisation des champignons comestibles

Les champignons sont utilisés en tant qu'agents thérapeutiques dans la médecine traditionnelle notamment celle en Chine. Les champignons constituent un apport nutritif important pendant les périodes de soudure et peuvent donc jouer un rôle important dans la fortification des aliments pour enfants (**Eyi Ndong et al., 2014**).

En effet, il a été rapporté que les champignons contribuent fortement à la subsistance des populations africaines, surtout au sud du Sahara, grâce à leurs valeurs nutritionnelles non négligeables. Les champignons comestibles contiennent une quantité raisonnable de protéines, de glucides, de minéraux, de fibres et de vitamines. C'est aussi une source de revenus pour les ménages qui exploitent la culture des champignons comestibles (**Xiao-Yu et al., 2016**).

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

II^{ème} PARTIE : EXPERIMENTATION

CHAPITRE III: MATERIEL ET METHODES

III.1. Lieu De Travail

Notre travail a été effectué au sein de la Faculté d’Agronomie et de Bio-Ingénierie (FABI) de l’Université du Burundi sis à Bujumbura, campus Mutanga.

La préparation des substrats (trempage, égouttage, ensachage) et la fructification des champignons ont été réalisées dans la serre de la FABI. La stérilisation, l’ensemencement, l’incubation et le suivi de la croissance mycélienne ont été effectués dans la cave de la FABI.

III.2. Semences et substrats

Pour cette étude, deux souches de pleurotes ont été utilisées à savoir *Pleurotus ostreatus* var M 2125 et *Pleurotus ostreatus* var P2175. Les pleurotes sont les champignons les plus adaptés au Burundi et qui donnent un bon rendement si les conditions de culture sont favorables (**Kiyuku et al., 2008**).

Concernant le substrat, les pailles de riz ont été utilisées. Le riz est une céréale de la famille des poacées, cultivée au Burundi comme dans les autres pays africains et qui produit une grande biomasse de pailles après la récolte. Leur valorisation comme substrats de culture des champignons s’avère donc intéressante en tant que déchets agricoles disponibles en grande quantité et durant toute l’année dans plusieurs régions du Burundi et particulièrement dans la région de l’Imbo où notre travail a été réalisé.

III. 3. Matériel et consommables

- Un treillis métallique pour l’égouttage du substrat après son trempage ;
- Des sacs en polypropylène pour le transport et le trempage du substrat ;
- Une machette pour le découpage du substrat ;
- Une fourche ou une pelle pour le mélange des différents ingrédients du substrat ;
- Des bidons et des arrosoirs pour la collecte de l’eau et l’arrosage ;
- Des sachets autoclavables pour le conditionnement du substrat en bottes ;
- Une paire de ciseaux ;
- Du savon pour le nettoyage du matériel ;
- Des marqueurs à encre indélébile pour l’étiquetage des sacs de culture ;
- cordelettes élastiques : pour boucher les sachets ;
- Balance : pour mesurer la quantité du substrat ;

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

- Autoclave : pour stériliser les bottes ;
- Alcool : pour nettoyer la paillasse, désinfecter les mains et les matériels d'ensemencement ;
- Scotch : pour fermer les trous sur lesquels on met les semences ;
- Aiguilles : pour faire les trous d, aération ;
- Etagères : sur lesquels on dépose les bottes ;
- Bâches : pour la fermentation des substrats
- Registre : pour l'enregistrement des données et des observations ;
- Une source de chaleur, généralement du bois de chauffe ou du charbon de bois, pour le traitement thermique du substrat en vue de sa désinfection s'il Ya l'absence du courant électrique ;
- De la semence, aussi appelée blanc de semis, généralement produite sur grains de céréales notamment les grains de sorghos ;
- De l'eau potable pour le trempage, la pasteurisation et l'arrosage du substrat ;
- De la chaux agricole pour la réduction de l'acidité du substrat
- Balance analytique dont la sensibilité est de 1 mg pour mesurer les échantillons ;
- Étuve à 104 °C ± 1 °C : pour le séchage de l'échantillon ;
- Ballon Kjeldahl 500ml ;
- Hotte ;
- Jaugés de 250,1000 et 2000 ml ;
- entonnoirs ;
- Pipettes ;
- appareillage de distillation par entraînement à la vapeur ;
- billettes ;
- agitateurs et bâton magnétique ;
- Tous les réactifs commerciaux utilisés sont de qualité ACS, à moins d'indication contraire :
- ✓ L'eau utilisée pour la préparation des réactifs est de l'eau distillée ou déminéralisée ;
- ✓ Acide sulfurique, H₂SO₄ (CAS no 7664-93-9);
- ✓ Acide phosphorique, H₃PO₄ (CAS no 7664-38-2) ;
- ✓ Bichromate de potassium, K₂Cr₂O₇ (CAS no 7778-50-9) ;
- ✓ Sulfate ferreux, FeSO₄ • 7 H₂O (CAS no 7782-63-0) ;

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

- ✓ 1, 10 – phénanthroline monohydraté, C₁₂H₈N₂ • H₂O (CAS no 5144-89-8) ;
- ✓ Bichromate de potassium 1 N ;
- ✓ Cu₂SO₄ ;
- ✓ K₂SO₄ ;
- ✓ FeSO₄ ;
- ✓ Sélénium ;
- ✓ NaOH ;
- ✓ phénolphtaléine ;
- ✓ Na₂CO₃ ;
- ✓ vert de bromocrésol ;
- ✓ H₃BO₃ ;
- ✓ rouge de méthyl et parafilm.

III .4. Méthodologie

III.4.1. Préparation des semences

Plusieurs types de graines végétales sont utilisés comme substrat pour la production du Blanc. Lors de notre travail, le substrat choisi étaient les grains de sorgho .Le mode de préparation est le suivant :

- Trempage des grains de sorgho : une certaine quantité de grains de sorgho blanc a été trempée dans de l'eau potable pendant 12 heures ;
- Semi-cuisson des grains de sorgho : les grains ont été bouillis au feu pendant 30 minutes ;
- Egouttage des grains de sorgho : Après, les grains ont été d'abord lavés puis égouttés et étalés sur un séchoir pendant deux heures pour éliminer l'eau résiduelle qu'ils contiennent ;
- Remplissage des flacons : les grains égouttés ont été répartis dans des flacons à raison de 250g par flacon. Ils ont été fermés par un couvercle muni d'un trou d'environ 1 cm² bouché par un tampon d'ouate pour assurer les échanges gazeux avec l'extérieur tout en bloquant l'entrée des microbes à l'intérieur ;
- La stérilisation : les flacons remplis des grains de sorgho ont été stérilisés à l'autoclave à 121 °C pendant 30 minutes ;
- Ensemencement des flacons: Après stérilisation et refroidissement à l'air ambiant, les flacons ont été ensemencés en déposant un morceau de semence primaire au-dessus du

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

sorgho. Cette opération s'est effectuée sous hôte à flux laminaire pour garantir les conditions aseptiques d'ensemencement.

III.4.2 Préparation du substrat

Les pailles de riz découpées en petits morceaux ont été complémentées par de la chaux agricole et du son de riz.

Des études faites par beaucoup de chercheurs, montrent que de nombreux déchets agricoles tels que des copeaux ou de la sciure de bois, de la bagasse de canne à sucre et différents types de paille comme les feuilles sèches de bananiers, la paille fraîche de Panicum, les feuilles sèches de maïs et les feuilles sèches de canne à sucre, les brisures des graines de cotons, la paille de riz, etc. peuvent servir de matériaux de base du substrat pour cultiver le Pleurote (**Mwinyi Waziri et al., 2018**). C'est dans le cadre de la recherche sur la fermentation du substrat sur lequel nous avons fait la culture des champignons comestibles sauvage au laboratoire de la FABI que nous avons choisi la paille de riz en vue de diminuer la contamination du substrat, améliorer la production des champignons et valoriser les déchets, s'inscrit notre travail de recherche pour comparer la composition nutritionnelle de deux souches de pleurotes en l'occurrence Pleurotus ostreatus var **M₂₁₂₅** et Pleurotus ostreatus var **P₂₁₇₅**, voir l'impact de la fermentation sur la désinfection du substrat, évaluer le rapport carbone-azote que comprend le substrat avant la fermentation jusqu'au dernier jour de fermentation, comparer la teneur en protéines des champignons récoltés sur les substrats fermentés avec celle des champignons récoltés sur les substrats non fermentés et étudier s'il y a une influence de temps de fermentation sur la croissance mycélienne et le rapport C/N.

III.4.3. Trempage et égouttage du substrat

Le rôle du trempage est d'imbiber le substrat pour permettre un bon envahissement du mycélium. Il a également pour but d'éliminer, par lessivage, les sucres facilement assimilables susceptibles d'attirer les microorganismes (bactéries, levures, moisissures) qui empêchent le bon développement du mycélium (**Kiyuku et al., 2020**).

Le trempage a été effectué en faisant les opérations suivantes:

- Les substrats ont été chargés dans un sac en polypropylène de 50-100 kg;
- les sacs ont été trempés dans un fût rempli à moitié d'eau et attendre qu'ils soient complètement imbibés ;
- le substrat a été laissé égoutter dans le sac à température ambiante pendant 24 heures

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

- un test d'essorage a été effectué pour se rassurer que le substrat a été bien égoutté : une poignée de substrat a été pressée fort entre les mains afin de s'assurer que de l'eau ne s'en échappe plus. Si l'égouttage n'est pas bien fait, l'eau résiduelle peut entraîner la pourriture des substrats au lieu de la fermentation (**Kiyuku et al, 2020**).



Figure 2 : Photo montrant la technique d'égouttage du substrat

III.4.4. Mesure du taux d'humidité du substrat après égouttage

Après l'égouttage 100 g de substrat égoutté ont été séchés à l'étuve à 105°C pendant 24 heures pour éliminer toute l'eau qu'il contient. Le substrat séché a été ensuite pesé. C'est la différence de masse avant et après séchage qui représente le taux d'humidité du substrat.

Taux d'humidité = Masse du substrat avant séchage (100g) - Masse du substrat après séchage.

Le taux d'humidité est exprimé en pourcent (%).

III.4.5. Fermentation des substrats

La fermentation est qualifiée biologiquement par l'intervention des micro-organismes dans la dégradation de la matière organique contenue dans les déchets et d'hygiénique par la montée en température détruisant les germes pathogènes et les virus (**Savado, 2011**).

Nous avons mesuré la température durant les trois grandes parties de la journée pour voir réellement si la température ne peut pas être la même durant toute la journée.

L'évolution de la température des tas au cours de la fermentation a été suivie par la prise de la température tous les 2 jours à l'aide d'un thermomètre à mercure enfoncé au cœur du tas de

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

substrat (Figure 5). La première prise de la température a été faite avant de fermenter le substrat, tout juste après son égouttage (0 jours de fermentation). Le suivi de la température des tas a été arrêté au 14^{ème} jour en constatant qu'elle est revenue et s'est stabilisée à la température ambiante



Tas 1(T1) avant la fermentation



Tas 2 (T2) avant la fermentation



T



T 2

Figure 3: Photo montrant la technique de fermentation du substrat



Figure 4 : Photo montrant la prise de la température après une semaine de la fermentation des substrats sans faire le retournement.

III.4.6. Remplissage des sachets

Les pailles de riz bien égouttées ont été remplies dans les sachets autoclavables. Les sachets bien remplis du substrat (bottes) ont été fermés à l'aide d'un tampon d'ouate et resserrés par des cordelettes élastiques.

III.4.7. Stérilisation

Les bottes fabriquées ont été conduites dans la cave de la FABI pour être stérilisées à l'autoclave à une température de 121°C.

III.4.8. Ensemencement ou inoculation

Après refroidissement à la température ambiante, les bottes ont étéensemencées en utilisant la technique des trous multiples (Figure 6) telle que décrite par **Nteziryayo et al. (2019)** et **Kiyuku et al. (2020)**. En effet, cette technique utilise peu de blanc de semis, protège mieux le substrat contre d'éventuelles contaminations et permet au mycélium de se développer à partir de plusieurs points d'inoculation **Kiyuku et al. (2020)**. Ainsi, chaque botte portait 3 trous dans lesquels la semence secondaire a été inoculée à raison d'une cuillère à soupe par trou. Les trous des bottesensemencées ont été immédiatement fermés à l'aide d'un papier scotch. A la fin de l'ensemencement, chaque botte a été étiquetée en marquant le nom de la souche cultivée (M₂₁₂₅ ou P₂₁₇₅), le type de substrat (paille de riz fermentée ou non fermentée) et la date d'ensemencement. Après, les lots de bottes lardés ont été rangés sur les étagères de la cave de la FABI. La paillasse et les mains ont été préalablement lavées à l'eau et au savon et désinfectées à l'alcool tandis que le matériel métallique a été stérilisé à la flamme du bec Bunsen et désinfecté à l'alcool chaque fois que de besoin afin de prévenir les contaminations au cours de la phase d'incubation.

Pour effectuer ce travail nous avons procédé de cette manière :

- nous avons percé un trou à l'aide d'un pieu métallique sur une des faces à chaque extrémité du sachet de substrat;
- l'équivalent d'une cuillère à café de mycélium a été mis dans chaque trou ;
- les orifices des sachets ont été fermés hermétiquement avec du papier scotch
- Sur l'autre face du sachet, percer un trou au centre et ensemenecer de la même manière puis fermer hermétiquement l'orifice avec du papier scotch ;

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

- à l'aide d'un marqueur indélébile les sachets ont été marqués en mentionnant la date de semis et la souche de champignon cultivée ou y fixer une étiquette à l'aide de papier collant.



Figure 5: Photo illustrant la technique d'ensemencement par trous multiples

III.4.9. Incubation et Suivi de la croissance mycélienne

L'incubation est l'étape au cours de laquelle le mycélium envahit le substrat en se nourrissant de ses éléments nutritifs. Elle se fait préférentiellement dans une pièce peu éclairée ou à l'obscurité car le mycélium n'a pas besoin de lumière pour croître (**Kiyuku et al., 2020**).

Après l'ensemencement, les bottes ont été rangées sur les étagères dans la cave d'incubation de la FABI et ont été espacées d'environ 10 cm. Pendant la phase, nous avons passé une fois par jour dans la salle d'incubation pour vérifier l'évolution de la colonisation mycélienne, s'assurer des bonnes conditions d'aération et détecter la présence d'éventuelles contaminations. Les bottes contaminées, c'est-à-dire présentant des taches vertes, jaunes, orange, noires ou des larves d'insectes ont été évacuées rapidement et enfouies pour éviter la contamination des bottes saines.

III.4 .10. Fructification et récolte

Deux techniques de fructification sont connues à savoir la fructification sur étagères et la fructification par gobetage (**Nteziryayo et al., 2019 ; Kiyuku et al., 2020**). Pour notre travail, nous avons utilisé la fructification par gobetage qui est reconnue comme celle procurant de bons rendements en champignons.

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

A l'aide d'une lame de rasoir, nous avons coupé le dessus des sachets envahis par le mycélium et nous les avons enfoui verticalement les uns collés aux autres et ils ont été couverts le tout avec une couche de terre d'environ 2 à 3 cm d'épaisseur. Après ce travail, l'arrosage a été fait avec un peu d'eau 1 à 2 fois par jour afin de maintenir le sol humide et faire la récolte des champignons en ne les arrachant pas mais en tordant doucement la base du pied afin de ne pas endommager le mycélium. La technique de fructification par gobetage peut aussi être conduite dans la champignonnière ou, à grande échelle, dans un hangar équipé de bacs de culture.

Gobétage des bottes



Champignons à maturité



Figure 6 : Photo montrant (a) la technique de gobetage et (b) les champignons prêts à être récoltés

III.4.11. Séchage des champignons

Les champignons (pleurotes) récoltés ont été séchés au froid dans un frigo (freeze drying) afin de les préparer pour les analyses ultérieures.

III.5. Analyse des paramètres physicochimiques du substrat

III.5.1. Teneur en COT (Carbone Organique Total)

Elle est déterminée par la méthode d'oxydation ou méthode Walkley-Black (Tchicama et al., 2018).

✓ Principe

Le carbone organique total dans les solides peut être déterminé par titrage. Pour ce faire, une solution de bichromate de potassium a été ajoutée à un échantillon en présence d'acide

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

sulfurique. Après la réaction, le dosage de la quantité de bichromate qui n'a pas réagi avec l'échantillon permet d'établir la concentration de carbone organique total.

✓ **Mode opératoire**

Environ 0,25 g du substrat dans une fiole conique de 250ml ont été pesé et 10ml de bichromate de potassium 1N et 20 ml d'acide sulfurique concentré ont été y ajouté et un verre de montre a été placé sur la fiole conique. La solution a été agitée vigoureusement pendant une minute et laissé reposer pendant 30minutes. Le rinçage du verre de montre et l'ajout de 150 ml d'eau déminéralisée, 10 ml d'acide phosphorique concentrée et 12 gouttes de la solution indicatrice de ferroïne ont été fait.

L'excès de bichromate de potassium a été titré avec la solution de sulfate ferreux 0,5N, lors de l'apparition de la coloration turquoise le titrage a été fait lentement jusqu'à la coloration finale brune et volume utilisé a été noté. Le témoin suivant a été réalisé de la même procédure sans l'échantillon.

En considérant les concentrations de sulfate ferreux et du bichromate de potassium, chaque ml de bichromate de potassium qui réagit correspond à 3 mg de Carbone. Sachant que l'oxydation carbone organique par le bichromate de potassium est à 77%, le facteur correctif est déterminé par la relation suivante : $0,003 \times 10077 = 0,004$. Le pourcentage de carbone dans l'échantillon exprimé en % C est déterminé comme suit :

$$\text{COT} = (A - B) \times 10 \times 0,004 \times 100P$$

$$\text{Donc, } C = \frac{(A - B) \times 10 \times 0,004 \times 100}{P \times A}$$

Où : C : Concentration de carbone organique total (% C) ; A : Volume de sulfate ferreux utilisé pour le témoin (ml) ; B : Volume de sulfate ferreux utilisé pour l'échantillon (ml) ; 10 : Volume de bichromate ajouté initialement ; 0,004 : Nombre de g de Carbone par ml de bichromate ; P : poids de l'échantillon titré exprimé sur base sèche (g) ; 100 : Facteur pour obtenir un pourcentage.

III.5. 2.Teneur en azote total

Elle a été mesurée par la méthode Kjeldahl selon la norme AFNOR ISO 11261 sur des échantillons séchés à 105°C puis finement broyés et tamisés à 800 µm de mailles (Charnay, 2005)

✓ **Principe de la méthode Kjeldahl**

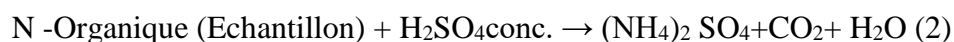
Le principe consiste à détruire la matière organique par l'action de l'acide sulfurique concentré à chaud en présence d'un catalyseur chimique. L'azote organique est alors converti en azote minéral sous forme de sulfate d'ammonium. Cette minéralisation serait due à une oxydation et réduction simultanées des substances. La solution sulfurique est rendue fortement alcaline puis l'ammoniac est déplacé par un excès de soude caustique par entraînement à la vapeur. L'ammoniac (NH₃) distillé est recueilli dans l'acide borique additionné d'indicateurs et puis titré soit directement soit en retour par l'acide sulfurique de normalité et de facteur de correction donné.

✓ **Mode opératoire**

Le dosage de l'azote total par la méthode Kjeldahl comporte 3 phases à savoir : la minéralisation, la distillation et le titrage.

1° Digestion ou minéralisation par attaque d'acide

Pour la minéralisation par attaque d'acides, environ 1g de poudre fine de l'échantillon a été introduite dans un ballon Kjeldahl de 500 ml et 25 ml d'acide sulfurique concentré et une cuillère d'un mélange catalyseur chimique (CuSO₄, K₂SO₄, FeSO₄) ont été ajoutés. Ensuite le rinçage des parois du ballon au moyen d'un jet de pissette et le chauffage sous hotte ont été fait jusqu'à l'apparition d'une coloration bleue-verte de la solution et à la réduction au minimum de cette précédente. Cette étape se résume par la réaction chimique ci-après :

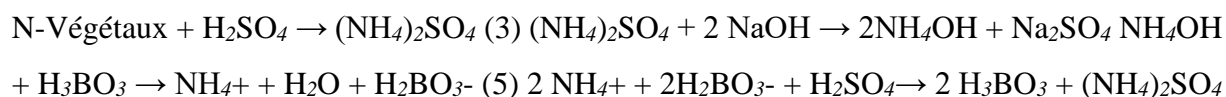


2° Neutralisation et distillation

Après refroidissement et dilution avec au moins 300 ml d'eau distillée, la solution obtenue 1g de thiosulfate de sodium a été ajoutée. Ensuite, l'appareillage de distillation par entraînement à la vapeur a été apprêté puis en inclinant le ballon et un excès de NaOH 50% (au minimum 75 ml) a été ajouté jusqu'à l'obtention du milieu basique. Le ballon a été connecté à l'appareil de distillation tel que l'extrémité du réfrigérant plongé dans une solution de 50 ml d'acide borique 2% à laquelle quelques gouttes d'indicateurs (méthyl rouge et vert de bromocrésol) ont été additionnées. La distillation se fait en chauffant modérément et régulièrement. L'entraînement de l'ammoniac se produit assez rapidement et il faut continuer la distillation jusqu'à ce que le volume de la solution borate atteigne au moins 150 ml.

Les réactions mises en jeu dans cette phase sont :

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz



$$(6) \text{NTK}(\%) = \frac{1}{P} \cdot 8 \times (Y - Bl) \times N \times fk \times v_1 \times v_2$$

$$\text{Donc, } N(\%) = \frac{1.4008 \cdot (Y - Blm) \cdot N \cdot fk \cdot \frac{v_1}{v_2}}{P}$$

Où v_1 est le volume (ml) du jaugé (en général 250ml) ; v_2 est le volume (ml) de prise pour analyse (en général 25ml) ; Y est le volume (ml) d'une solution titrée par H_2SO_4 0,05 N ; fk est le facteur correctif de H_2SO_4 0,05 N ; Blm est le volume moyen de H_2SO_4 0,05 N nécessaire pour titrer les blancs ; P est le poids de l'échantillon (en g) ; N est la normalité de l'acide utilisé.

3° Calcul du facteur de correction (fk) :

Pour calculer le facteur de correction, un prélèvement de 3ml de la solution Na_2CO_3 et un titrage par H_2SO_4 de normalité N en présence de phénolphthaléine ont été réalisés jusqu'à virage du rouge à l'incolore. Soit V le volume de H_2SO_4 ajouté, le facteur correctif fk est donné par la relation : $fk = 3 \cdot 0,05 \cdot N$

Le calcul de ce facteur de correction a montré que $fk = 1$.

III.5 .3. Analyse du rapport carbone azote

Les résultats du rapport carbone azote ont été obtenus en divisant la teneur organique totale du substrat par sa teneur en azote total (C/N).

III.6. Analyse de la teneur en protéines (TPr) des pleurotes

Les protéines ont été déterminées à partir du dosage de l'azote total, selon la méthode de Kjeldahl comme décrite par **Obadina et al.(2006)**. Les résultats ont été obtenus en multipliant l'azote total par 6,25 (coefficient de conversion de l'azote en protéines) c'est-à-dire $N \times 6,25$ et ont été exprimés en % de protéines par 100g d'échantillon (% de protéines/100g) comme c'est aussi décrite par **Kouadio et al.(2020)**.

III.7. Analyse statistique des données

Les analyses statistiques des résultats obtenus ont été effectuées à l'aide de la statistique 20 d'IBM SPSS. Une analyse de variance (ANOVA) a été effectuée, pour calculer les différences significatives au niveau des données au seuil $\alpha = 0,05$. L'ANOVA a été complétée par le test de comparaison multiple de Duncan, pour déceler les niveaux de différence et les résultats ont été exprimés sous forme de valeurs moyennes \pm erreur standard (SE).

CHAPITRE IV. PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

IV.1. Evolution de la température au cours de la fermentation

Les figures 8 et 9 montrent les résultats de la variation de températures mesurées en moyenne pour le tas un (T1) et le tas deux (T2) au cours de fermentation tandis que les résultats bruts sont dans l'annexe 1.

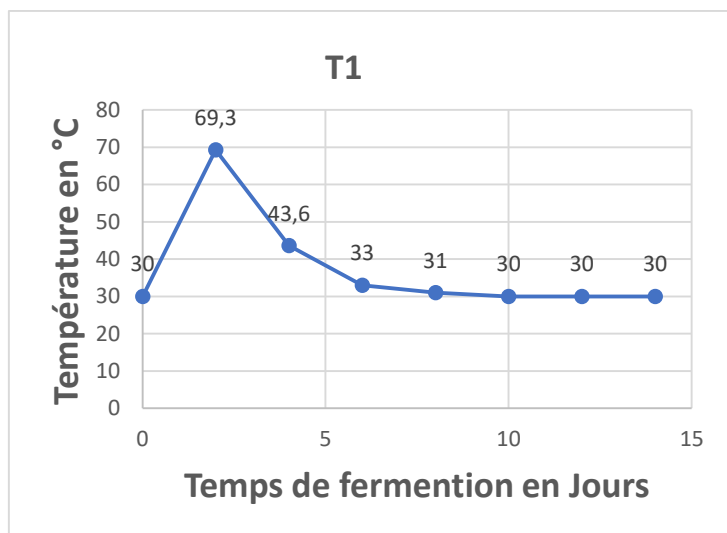


Figure 7: Evolution de la température au cours de la fermentation pour le tas perturbé

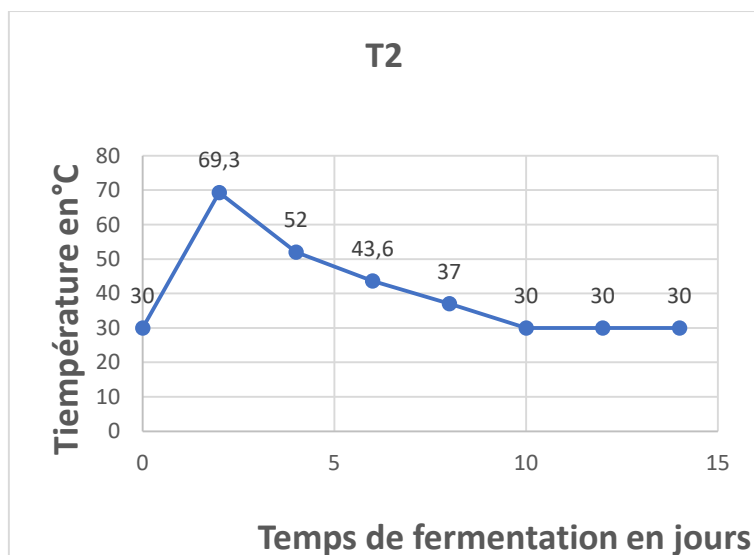


Figure 8: Evolution de la température au cours de la fermentation pour le tas perturbé

Pour notre étude, les essais sur deux tas (T1 et T2) ont été réalisés de mêmes tailles et une perturbation s'est remarquée pour le tas (T1) sur lequel les échantillons de substrats ont été

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

prélevés pour les analyses ultérieures (variation du taux d'humidité, rapport Carbone/azote) alors que le T2 a été réservé pour voir qu'il y a l'influence de la perturbation du tas sur l'évolution de la température.

Des études faites sur la fermentation ,montrent que la phase de fermentation débute le plus souvent au bout de 4 à 5 jours et peut durer de 1 à 2 semaines comme c'est enregistré par **Inckel et al.(2005)** .La température a atteint un pic au 3eme jour avec 69,3 °c en moyenne pour tous les deux tas et elle a commencé à chuter vers le 5ème jour pour revenir progressivement à 30 °c .Les résultats obtenus lors de la fermentations sont semblables à ceux enregistrés par **Inckel et al .(2005)** et les autres auteurs comme **Francou (2003)** et **Chennaoui et al.(2016)** .

Pour le tas perturbé, la température a chuté rapidement par rapport au tas non perturbé. Pour tous les deux tas, la courbe d'évolution de température est similaire à la Courbe théorique d'évolution de la température au cours du compostage comme s'est décrite par **Francou (2003)**.

Les littératures montrent que l'évolution de température au sein d'un tas dépend de la production interne de chaleur et des échanges avec l'extérieur (**Afouda et al., 2012**) .cela a confirmé les résultats obtenus lors de notre étude pour le tas un(T1) car la température a chuté de 69°C à 43°C alors que pour le T2 a chuté progressivement avec la température de 53°C.

L'étude faite par **Koledzi et al. (2014)**, en démontrant que l'optimisation du processus de fermentation consiste à veiller à ne pas dépasser une température de 70°C mais en respectant des températures supérieures à 55°C qui permettent une bonne hygiénisation, a montré que la fermentation de notre substrat a été bonne.

En fait, dans la pratique la température n'est pas homogène dans un tas et à un moment donné, une partie seulement du substrat est en phase mésophile. En outre, si le tas est trop petit, il ne présente pas une inertie thermique suffisante pour assurer la montée en température comme c'est décrite par **Inckel et al.(2005)**, et cela a été remarqué lors de notre travail.

Une petite quantité du substrat(petit tas) a été utilisée pour s'en rassurer que la variation de la température ne dépende pas de la quantité du substrat fermenté ou le mauvais égouttage de ce dernier et nous avons remarqué que la température ne monte pas rapidement que quand on utilise une grande quantité du substrat. Les résultats obtenus lors de cette étude ont montré que

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

la taille du tas contribue sur la montée ou diminution de la température comme c'est décrit par **Inckel et al. (2005)**.

Les études faites par **Toundou (2017)**, ont montré que le processus de fermentation sera optimal lorsque : de matériaux variés qui ont différentes vitesses de décomposition sont associés et les différents matériaux sont bien mélangés et ceci affirme les résultats de notre étude.

En tenant compte de la variation des températures que nous avons remarqué au cours de notre étude, les résultats obtenus ont montré que plus le volume du tas diminue plus la température chute ou n'évolue pas et la perturbation du substrat lors de la fermentation implique à la perte de température interne.

IV.2. Evolution du taux d'humidité du substrat au cours de la fermentation

Le tableau 2 montre les résultats obtenus lors de l'évolution du taux d'humidité pour chaque prélèvement du substrat.

Tableau 2 : Taux d'humidité des substrats fermentés et non fermentés

Nature du substrat	Type de prélèvement	Tare	PN	PB1	PB2	T.H
S N F	P1	105 ,6g	100 g	205.6g	142	63,6
S F	P2	109,8g	100 g	209.8g	147,01	62 ,79
SF	P3	110,4	100 g	210.4	155,6	54,8
SF	P4	105,6	100 g	205.6	152,4	53,2
SF	P5	105,6	100 g	205.6	155,2	50,4
SF	PT	106,89	100 g	206 ,89	156,7	50,19

BE : Bottes épuisées ; P : Prélèvement ; PB : Poids Brute ; PN : Poids Nette ; PT : Prélèvement Témoins ; SNF : Substrat Non Fermenté ; SF : Substrat Fermenté.

TH : Taux d'Humidité.

Au niveau de la teneur en eau du substrat, les résultats obtenus ont montré que le taux d'humidité a diminué progressivement du P1 au P5 et cela a été dû à l'effet de la température sur l'évaporation de l'eau du substrat. Au niveau du tas sur lequel nous avons prélevé les échantillons (P1-P5), une diminution d'humidité a été remarquée de la même manière que ceux

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

prélevés sur le tas laissé pour faire un prélèvement témoin (PT) afin de voir l'effet de la perturbation du substrat sur sa fermentation.

Au niveau de la variation du taux d'humidité, les résultats obtenus ont montré qu'il n'y a pas eu de différences significatives sur la perte d'eau pour les substrats prélevés sur le tas perturbé et ceux prélevés sur le tas non perturbé. En tenant compte des variations des taux d'humidité que nous avons observé au niveau des échantillons prélevés sur les deux tas du substrat, cette étude a confirmé que les perturbations modérées du tas lors de la fermentation du substrat n'empêchent pas sa fermentation comme c'est recommandé de faire le retournement du substrat lors de fermentation (Chennaoui, 2016).

IV.3 .Evaluation du taux de contamination des bottesensemencées

Les résultats obtenus lors de l'évaluation du taux de contamination des bottes pour tous les prélèvements sont présentés dans le tableau 3 :

Tableau 3 : Taux de contamination du substrat

Type de Prélèvement	Type de substrat	NBT	NBC	TC%
P1	SNF	8	3	37,5
P2	SF	8	0	0
P3	SF	8	0	0
P4	SF	8	0	0
P5	SF	8	0	0
P T	SF	8	0	0

P : Prélèvement ; PT : Prélèvement Témoins ; NBT : Nombre de Bottes Totales ; NBC : Nombre de Bottes Contaminées ; TC : Taux Contamination.

Au niveau de la contamination des substrats les résultats obtenus lors de notre étude faite sur la fermentation de la paille de riz, ont montré que le taux de contamination plus élevé a été observé sur le milieu à base du substrat non fermenté avec la moyenne de contamination de 37,5% ce qui a montré que parmi les 8 bottes que nous avonsensemencées, il y a eu 3 bottes qui ont été contaminés. Au niveau du milieu à base du substrat fermenté, toutes les bottes n'ont présenté aucune infection ou contamination (0,0 %). Ces résultats ont montré que les températures

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

élevées(70%) entraînent la réduction des pathogènes et l'élimination des graines d'adventices comme s'est enregistré par **Toundou (2017)**. Les résultats enregistrés par **Mondo et al.(2016)** , ont montré que le taux d'infection ou contamination est variable d'un milieu de culture ou d'un substrat à l'autre.

La technique de pasteurisation des bottes et la nature des sachets nous ont montré qu'elles sont parmi les sources de contamination. Les résultats de notre étude confirment que la fermentation du substrat a une influence sur la diminution de contamination du substrat.

IV .4. Suivi de la croissance mycélienne

Le tableau 4 montre les résultats obtenus lors de la comparaison de la durée de colonisation mycélienne et le premier volé de la récolte.

Tableau 4 : Comparaison de la durée de colonisation mycélienne et celle de la première récolte des pleurotes (Volé 1)

Type de prélèvement	Durée de colonisation (jours)		Durée de la première récolte (volé 1) en jours	
	M2125	P2175	M2125	P2175
P1(SNF)	27	33	7	10
P2(SF)	26	30	2	10
P3(SF)	24	30	2	9
P4(SF)	22	28	2	8
P5(SF)	24	26	4	8
PT(SF)	24	26	4	7

P : Prélèvement ; PT : Prélèvement Témoins ; SNF : Substrat Non Fermenté ; SF : Substrat Fermenté.

Au niveau de la croissance mycélienne, les bottes contenant les substrats non fermentés ont présenté une croissance mycélienne lente par rapport aux bottes constituées par les substrats fermentés .Au niveau de la variété, les bottes sur lesquelles on a cultivé la variété M2125 ont subi l'envahissement du mycélium très rapidement que celles sur lesquelles on a cultivé les la variété P₂₁₇₅. Au cours de notre étude, les résultats obtenus ont montré que les bottes qui ont été constituées par les substrats non fermentés (P1) ont fini la croissance mycélienne en dernier

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

lieu alors qu'elles ont été prélevées en premier lieu. Au cours de notre étude, nous avons remarqué que les pleurotes M₂₁₂₅ ont une croissance mycélienne précoce.

De toutes les façons, les résultats obtenus sur la durée de croissance mycélienne pour les bottes fabriquées à base du substrat fermenté, ont montré que la fermentation a une influence sur la croissance mycélienne. Les littératures montrent que l'envahissement complet des ballots ou bottes de fructification par le mycélium est observé après 27 jours d'incubation et quatorze jours s'écoulent ensuite avant la formation des sclérotés comme s'est décrit par **Mwinyi et al.(2018)**. Au niveau du temps de colonisation, les résultats obtenus sont inférieurs à ceux enregistrés par **Mwinyi et al.(2018)**. Pour les pleurotes var M₂₁₂₅ les résultats observés montrent que cette souche a un intervalle de croissance mycélienne ≤ 27 jours avec les sclérotés comme c'est une souche qui montre de la précocité. De cela, cette étude a montré que les pleurotes de type M₂₁₂₅ ont une durée de croissance mycélienne rapide par rapport au P₂₁₇₅ car les résultats obtenus sont entre 22 et 27 jours alors que pour P₂₁₇₅ sont entre 26 et 33 jours.

En tenant compte des résultats obtenus, les résultats trouvés ont montré que la fermentation a une grande influence sur la croissance mycélienne pour toutes les souches.

En comparant l'intervalle entre les jours de gobetage et ceux de la première récolte lors notre étude, les résultats obtenus ont montré que c'est la variété M₂₁₂₅ qui a un cycle court (2-4 jours si on les gobète avec sclérotés) alors que pour la variété P₂₁₇₅ la durée a touché 7-10 jours (gobetage en absence des sclérotés) conformément aux résultats enregistrés par **Mwinyi et al.(2018)**.

Au niveau de la nature du substrat, les résultats enregistrés sur les substrats fermentés ont montré que la fructification est devenue rapide par rapport à ceux enregistrés sur les substrats non fermentés pour toutes les variétés.

IV .5.Analyse de l'influence du rapport C/N sur la teneur en protéines des pleurotes

Le tableau 5 montre les résultats obtenus lors de l'analyse du rapport carbone azote de chaque botte prélevée et la teneur en protéines des champignons récoltés pour le premier volé de la récolte .Les résultats brutes de la teneur en carbone organique, en azote et le rapport C/N du substrat sont mentionnés dans l'annexe 4 tandis que les résultats bruts de la teneur en azote total et protéines des pleurotes sont dans les annexes 2 et 3.

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

Tableau 5: Influence du rapport carbone azote sur la teneur en protéines des pleurotes

Prélèvements	Paramètres analysés		
	C/N	TPr /P2175	TPr/M2125
P1(SNF)	51,2800±0,28 ^b	13,1±0,6 ^d	16 ,833 ±0,65 ^d
P2(SF)	52,7700±0,77 ^b	16,2±0,6 ^c	16,833 ±0,65 ^d
P3(SF)	52,8500±1,85 ^b	18,12±0 ,3 ^b	17,5 ±0 ,3 ^d
P4(SF)	53,6200 ±0,17 ^b	18,75±1 ^b	22,5 ±0 ,5 ^c
P5(SF)	53,6767 ±1,48 ^b	18,75±1 ^b	25 ±1 ^b
PT(SF)	53,7300 ±0,49 ^b	23,1±1 ^a	30,6±0,2 ^a
BE	28,5700±0,43 ^c	-	-

P : Prélèvement ; PT : Prélèvement Témoins ; SNF : Substrat Non Fermenté ;SF :Substrat Fermenté.

Les résultats sont la moyenne de trois répétitions faites sur chaque prélèvement avec Ecart types (moyenne ± E.T). Les moyennes avec les mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différentes (P < 0,05). Les moyennes dans la même colonne avec des lettres différentes en exposant diffèrent significativement (P < 0,05).

Au niveau des teneurs moyennes en rapport carbone azote(C/N) du substrat, les résultats obtenus ont montré qu'il n'y a pas eu des différences significatives (P<0,05) pour tous les prélèvements sauf pour les bottes épuisées (BE) qui ont montré une faible teneur car sur lesquelles la production des champignons a été terminée.

Une diminution progressive de la teneur en rapport carbone azote a été remarqué et cela a montré que les microorganismes se développent et induisent une minéralisation accélérée de la matière organique en présence de la quantité du CO₂ produite en fonction de la population microbienne comme c'est enregistré par **Dieng et al.(2019)**. En culture hors-sol, le Pleurote extrait les nutriments du substrat (herbes, bois et rebuts agricoles) à travers son mycélium pour obtenir les substances nécessaires à son développement .Cela implique une réduction de manière progressive des réserves nutritives du milieu de culture après la récolte des fructifications comme c'est décrit par **Ngezimana et al. (2007)**. Les résultats obtenus au cours de l'analyse du rapport carbone azote ont monté avec une variation de 51,2800±0,28% à

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

53,7300 ±0,49% et une teneur de 28,5700±0,43% a été enregistrée pour les bottes épuisées. Nous avons analysé la teneur en rapport carbone azote d'une botte épuisée (BE) afin de connaître le rapport carbone azote sur lequel les pleurotes ne poussent pas. Les résultats obtenus ont montré que les pleurotes poussent sur un substrat ayant un rapport C/N $\geq 50/1$ et qu'ils ne poussent pas sur le substrat ayant un rapport C/N $\leq 30/1$. Des études faites sur le rapport C/N de la paille montrent que la composition de la paille de riz n'est pas homogène et dépend du type de complémentation. Selon FAO, le rapport C/N optimal des intrants de compostage se situe entre 25 et 35 bien que des rapports situés entre 20 et 40 soient aussi rapportés par certains auteurs comme c'était enregistré par **Misra et al. (2005)**.

Les résultats obtenus ont montré que la teneur en protéine varie d'une souche à l'autre. Pour les pleurotes de la variété M₂₁₂₅, la teneur en protéine a augmenté de 16 ,833 ±0,65% à 30,6±0,2% et les résultats obtenus ont montré que plus la teneur en azote totale augmente, plus les protéines augmentent. Des teneurs similaires ont été également enregistrées par des auteurs comme **Demer(2006)**. Compte tenu des résultats obtenus, les pleurotes de variétés différentes cultivés sur les mêmes substrats traités différemment ou de même manière ne donnent pas les mêmes teneurs en protéines.

Pour les pleurotes P₂₁₇₅, la teneur en protéines a varié de 13,1±0 ,6 % à 23,1±1 %. Des études faites sur l'analyse de la teneur en protéines des pleurotes, indiquent que les substrats utilisés pour la culture des champignons modifient les caractéristiques chimiques et fonctionnelles des fructifications, de même que leurs propriétés sensorielles comme c'est enregistré par **Kouadio et al.(2020)**.

En effet, l'azote intervient dans la synthèse de certains composés biochimiques comme la protéine et les polysaccharides constituant de la paroi cellulaire de la plupart des champignons.

En tenant compte des résultats obtenus lors de notre étude, nous avons trouvé que la fermentation a une influence sur l'augmentation du rapport carbone azote et la teneur en protéine pleurotes. Ces mêmes résultats ont montré que plus le rapport carbone azote n'augmente, plus les teneurs en protéines des pleurotes augmentent.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La présente étude a été initiée dans le but de contribuer à la valorisation des résidus de récoltes fermentescibles au Burundi en fermentant la paille de riz complétementée par le son de riz et la chaux agricole à travers la production d'un substrat répondant aux normes de qualité d'un substrat qui permettra de remplacer les brisures de graines de coton qui sont rares sur le marché burundais et d'améliorer la productivité des pleurotes tout en limitant la contamination par fermentation, assurer la croissance rapide du mycélium et voir l'effet de la fermentation du substrat sur le rapport carbone azote et la teneur en protéines des pleurotes.

Les résultats d'analyse des substrats obtenus à base de fermentation de la paille de riz complétementée ont révélé des caractéristiques physicochimiques, microbiologiques et biologiques appréciables pour la valorisation de la paille du riz en myciculture. Cette étude a permis également de déterminer l'influence de la fermentation anaérobique sur la qualité nutritionnelle des champignons comestibles. Les résultats des analyses ont montré que la fermentation anaérobique influe d'une manière significative sur la composition physicochimique des pleurotes et la détermination de meilleur substrat fermenté.

Dans l'ensemble, quelques soient les prélèvements pour l'échantillonnage, la fermentation anaérobique du substrat contribue d'une part, à l'amélioration de la qualité nutritionnelle des champignons notamment sur les protéines qui ont été visées par notre étude et d'autre part, elle réduit considérablement la contamination. Elle a entraîné une diminution progressive des teneurs en carbone, en eau, en azote total du substrat et une augmentation en protéines des pleurotes. La composition chimique du substrat fermenté montre aussi qu'elle est une bonne source des éléments nutritifs recommandés pour la myciculture.

Les résultats montrent que la méthode de fermentation sans perturbation du tas est efficace par rapport à la fermentation avec perturbation du tas, tout en tenant compte du rapport carbone azote, l'humidité du substrat, la durée de colonisation mycélienne, la période de fructification, taux de contamination et la teneur en protéine des champignons récoltés. En générale, on a enregistré des bons résultats au niveau de tous les paramètres étudiés sur le substrat fermenté.

Le substrat produit dans cette étude est satisfaisant pour son application en myciculture en termes du rapport C/N $\geq 50/1$ et influe sur une courte durée de colonisation mycélienne pour toutes les variétés des pleurotes sur lesquelles nous avons mené l'étude et contient des éléments nutritifs qui peuvent lui permettre de jouer un rôle de substrat. Cette étude a montré que les

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

pleurotes ne poussent pas sur un substrat dont la teneur en C/N est en dessous de 30/1 et que la température de fermentation augmente selon la taille du tas à fermenter.

C'est ainsi que la technique de fermentation des substrats destinée à la myciculture a été mise en place en tenant compte des exigences relatives au niveau de production des champions comestibles au Burundi et pourra aider les industriels désirants produire et mettre sur le marché les pleurotes à travers tout le pays ou ailleurs. Le pleurote pourrait être transformé industriellement, ce qui générerait des revenus non seulement pour les agriculteurs et transformateurs des pleurotes mais également pour les bénéficiaires d'emploi sans oublier l'économie nationale à travers les taxes. Les résultats de cette étude vont permettre à tous les intervenants du secteur agricole, de la sécurité alimentaire et de la nutrition de disposer d'une base de données afin de mener à bien la fermentation du substrat et leur mission de lutte contre la malnutrition à travers tout le pays entier.

A la lumière des résultats de cette étude, la fermentation du substrat devrait faire l'objet d'une attention particulière de la part des chercheurs, il serait souhaitable d'émettre des recommandations ci-après :

- D'effectuer des tests de fermentation sur les différents types de substrats facilement trouvables au Burundi pour contribuer à la décontamination du substrat et faire les études approfondies sur l'effet de la fermentation du substrat au niveau des autres paramètres de la qualité nutritionnelle des pleurotes en mettant en évidence la teneur en Lipide , glucides, vitamines et sels minéraux;
- De mener une étude sur les tas de tailles différentes (tas de très petite taille, de taille moyenne et de très grande taille) pour déterminer la température maximale d'un tas bien fermenté ;
- De mener une étude sur la durée optimale de fermentation pour une bonne croissance mycélienne, une diminution de contamination et une augmentation de rendement ;
- De cultiver les pleurotes sur les bottes complètement compostées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdullah,N., IsmaI,R., Johari, A. M. (2013).** Production of liquid spawn of an edible grey oyster mushroom, *Pleurotus pulmonarius* (FR.) quel by submerged fermentation and sporophore yield on rubber wood sawdust. *Scientia Horticulturae* 161: 65–69.
- Adebayo,E.A., Oloke,J.K. (2017).** Oyster mushroom (*Pleurotus* species); a natural functional food. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences* 7(3):254-264
- Adewusi, S.R.A., Alofe, F.V., Odeyemi, O., Afolabi, O.A., Oke, O. L. (1993).** **Studies on some edible wild mushrooms from Nigeria: Nutritional, teratogenic and toxic considerations**
Plant foods for human nutrition 43: 115–121
- Aduayi-Akue, A., & Gnandi, K. (2015).** Evaluation de la pollution par les métaux lourds des sols et de la variété locale du maïs *Zea mays* dans la zone de traitement des phosphates de Kpémé (Sud du Togo). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(5), 2347.
- Afouda, L., Baimey, H., Bachabi, F. X., Sero-Kpera,D.H.,Balogoum,R.(2012).** Effet de l'hyptis (*hyptis suaveolens*), du neem (*azadirachta indica*), du vernonia (*vernonia amygdalina*), et de l'amarante (*amaranthus sp.*) sur les nematodes a galles (*meloidogyne spp.*) en cultures maraicheres. 24(3), 209–218.
- Bangoura, M. R. (2018).** Gestion des déchets solides ménagers et ségrégation socio-spatiale dans la ville de Conakry.Doctorat. Université de toulouse.258p
- Bigumandondera,P.(2015).** Etude de l'assainissement non collectif en Afrique Subsaharienne.Thèse de doctorat. Université de Liège; Faculté des Sciences Unité Assainissement et Environnement.276p.
- Bokobana, A., Toundou , O, Kolani, L. , Amouzouvi,K. , Koledzi,E., Tozo, k. ; Gado,T. (2017).** Traitement de déchets ménagers par co-compostage avec la légumineuse *Cassia occidentalis* L. et quelques adjuvants de proximité pour améliorer la qualité agronomique de composts.73:77-82

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

- Bonatti ,M., Karnopp ,P., Soares ,H.M., Furlan, S.A. (2004).** Evaluation of pleurotus ostreatus and *pleurotus sajor-caju* nutritional characteristics when cultivated in different lignocellulosic wastes, food chemistry,88(3) 425-428
- Buyck, B. (1994).** Les Champignons Comestibles au Burkina Faso. *Cryptogamie, Mycologie.* 26(3), 195–204.
- Bromblet, H., Somaroo, G. (2015).** Analyse synthétique des retours d ’ expérience sur les techniques de compostage dans les pays en développement Introduction , contexte. 19–28.
- Charnay, F. (2005).** Compostage des déchets urbains dans les Pays en Développement : élaboration d’une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Université de Limoges.Faculté des Sciences et Techniques; Chimie et Microbiologie de l’Eau, Limoges. Thèse.228p.
- Chennaoui, M., Doukkali, C., Jadida, E., Mekan, A.,Amal, H. (2016).** Valorisation Agricole D ’ un Compost Produit À Partir Du Compostage En Cuve Des Déchets Municipaux. *European Scientific Journal*, 12(35), 247–265.
- Citeretse, L.,Walter,H.E.C. (2008).** Les déchets ménagers solides de la ville de Bujumbura (Burundi): Quelles perspectives pour une gestion durable? Université libre de Bruxelles.Mmémoire de Master.67p.
- Compaoré,E., Léopold,S., Nanema,L.S., Bonkougou,S., Sedogo,M.P (2010).** Évaluation de la qualité de composts de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso pour une utilisation efficiente en agriculture. *Journal of Applied Biosciences*, 33: 2076 - 2083
- Dabre, A., Hien, E., Drevon, D. S. (2016).** Impacts des pratiques culturales sur laproduction du sorgho (*Sorghum bicolor* L .) et du niébé (*Vigna unguiculata* (L .) Walp .) et sur le bilan partiel de l ’ azote sous niébé au Burkina Faso Impacts of farming practices on sorghum (*Sorghum bicolor* L .) *International journal of biological and chemical Sciences* ,2215-2230
- Degreef ,J. Demuynck, L., Mukandera ,A., Nyirandayambaje, G. Nzigidahera ,B. (2016).** Wildedible mushrooms, a valuable resource for food security and rural development in Burundi and Rwanda.*BiotechnologyAgronomy, Society and Environmen.*20: 1370-6233
- Dieng, M., Sow, A., Mbacké, F. (2019).** Valorisation par compostage des déchets solides

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

fermentescibles collectés à l'École Supérieure Polytechnique de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar : Etude de l'effet phytotoxique sur des plants de maïs et d'arachide
Compost recovery of ferment. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(June), 1693–1704.

De Kesel ,A., Codjia ,J.T.C. (2002). Guide des champignons comestibles du Bénin, Jardin Botanique National de Belgique, Meise (Belgium) et Cotonou (Bénin), CECODI. Université libre de Bruxelles.256P.

Demer,S. (2006). Champignons : les techniques de production en forêt. Coopérative de Solidarité Cultur'Innov A Miquelon, St-Camille. 162p ,rapport.

Edem, K., Baba, G., Kwamivi, S., Matejka, G. (2012). Dynamique d'activité des composts : cinétique de minéralisation de la matière organique biodégradable. *European Journal of Scientific Research*, 81: 69-77.

Eyi Ndong, C .H., Mounquengui ,S., Attéké ,C.N. (2014). Variation of the consumption of mushrooms by Pygmies and Bantus in the North of Gabon. *Advances in Microbiology. African Journal of Biotechnology*, 4, 1212–1221.

Fetima, M. (2014). Etude Ecologique Et Taxonomique Des Champignons Forestiers Et Morphologie Des Ectomycorhizes Du Chêne Vert Dans La Wilaya De Relizane, Mémoire De Magister, Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie, Département De Biotechnologie, Université D'ORAN ES. P3-10–27.

Ferreira,I., Baptista,P., Vilas-Boas,B. L. (2007). Free-radical scavenging capacity and reducing power of wild edible mushrooms from Northeast Portugal: Individual cap and stipe activity. *Food Chemistry*. 100, 1511–1516.

Florent,Z., Alphonse, B., Frank,B. (2022). Effet du compost à base de paille de riz sur le rendement du riz de bas-fond cultivé sur la station de recherche CNRA de Man à l'Ouest de la Côte d'IvoireCentre National de Recherche Agronomique de Côte d'Ivoire(CNRA), 01 BP 1740 Abidjan 01, Côte d'Ivoire. *International Journal Biological and Chemical. Sciences*. 6:16(12), 2595–2601.

Francou, C. (2003). Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains: Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage-Recherche

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

d'indicateurs pertinents. INAPG (AgroParisTech). 290P

Fuchs, J. G. (2009). fertilité et pathogènes telluriques : effets du compost. journées techniques fruits et légumes biologiques. *journal of organic imprint*.1:1–6.

IFDC. (2021). Etude préalable sur la valorisation des résidus et déchets à finalité agricole : *rapport de consultance. Université de Ngozi*, 141p.

Inckel, M., DeSmet, P., Tersmette, T. (2005). La fabrication et l'utilisation du compost. Agromisa/CTA: Presse. 125p.

ISABU. (2000). Synthèses référentielles de la recherche sur la fertilisation des cultures au Burundi, Bujumbura: Rapport, 132p.

ISTEEBU. (2006). Cahier démographique du Burundi, Bujumbura: Rapport, 94p.

Joseph, K. M., Eyi Ndongi, H. C., Degreef, J., Bostoen, K. (2013). Champignons consommés par les Pygmées du Gabon : analyse linguistique des myconymes baka et kóya. *African linguistica*. 109-135

Joulin, M. (2022). Le couple temps-température en compostage est un élément-clé souvent négligé. Pourtant, il est essentiel pour produire un compost hygiénisé, 21P.

Girmay, Z., Gorems, W., Birhanu, G. Z. S. (2016). Growth and yield performance of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Fr.) Kumm (oyster mushroom) on different substrates. *Journal of researchgate* (6) 87P. 16-22.

Guissou K. M. L., Sanon E., Sankara, G. S. (2014). La mycothérapie au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, 13 p.

Guermoud, N., Addou, A., Guermoud, N., Addou, A. (2021). Etude et caractérisation des déchets ménagers de la ville de Mostaganem (Ouest-Algérie) *HAL journal* : (03)170-643.

Grubben, G. J. H. (1975). La Culture de l'amarante , légume-feuilles tropical. In Section de Phytotechnie Tropicale, Institut National Agronomique, Wageningen, Pays Bas, 75–6.

Kiyuku, P., Bigawa, S., Penninckx, M. (2008). Etude De L'effet Des Substrats Utilisés Pour La Culture De *Pleurotus* Sp : Cas Des Souches 336, 014 Et HK7 Sur Brisures Des Graines De Coton Et Fibres Des Fruits De Palmier A Huile. *Revue De l'Université Du Burundi N°*

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

24. 17P. 9–12.

Kiyuku,P., Dibaluka,S., Degreef,J. (2020). Cultiver des champignons dans la région des Grands Lacs africains - Guide pour vulgarisateurs et petits producteurs en milieu paysan,Journal of researchgate ,19-24.

Koledzi,K.E.,Akpaki,O.,Kwamivi,N.S.,Baba,G.,Kili,K.,Gado,T.(2014). Recherche des polluants inorganique sur un ancien site d'ordures ménagères érigés en air de jeux: cas de Bé-Avéto à lome au Togo.*Journal of biological and chemical sciences* :8(2),766-776.

Kouadio, N., Oka, C., Kouamé, A. C., Denis, Y., Dri, N., Amani, N. G. (2020). Évaluation nutritionnelle du champignon Pleurotus geesteranus issu de différentes périodes de récolte
Nutritional assessment of the mushroom Pleurotus geesteranus from different harvest periods. *14*(August), 2018–2027.

Mantis. (2007). Comment obtenir un compost de qualite avec le compostumber. *Mantis France*, 760–761.

Mella, M.T., Zanguina, A., Kiari, A.S., Laouali, M. M. (2018). Composting of the Urban Garbage : Assessment of the Nutrient Elements for the Plants , Case of Niamey in Niger. *International Journal of Scientific Engineering and Science* 2(12): 12–19.

Mesfek,F. (2014). Étude Ecologique Et Taxonomique Des Champignons Forestiers Et Morphologie Des Ectomycorhizes Du Chêne Vert Dans La Wilaya De Relizane, Mémoire De Magister, Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie, Département De Biotechnologie, Université D'ORAN ES. 3-10–27.

Misra, R. V, Roy, R. N., Hiraoka, H. (2005). Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole. *FAO. Ed. Rome. Afrique Science* 2(3): 84–97.

Mohammed, M. (2016). Compostage en cuve des dechets menagers et valorisation agricole du compost obtenu. *6*, 53–66.

Mondo, J., Kashosi, T., Mushagalusa,G. (2016). Effets des milieux de culture (PDA, SDA,SPDA, blé et maïs) sur la productivité in vitro de la souche P969 du Pleurotus ostreatus. *Afrique Science*, 12(4), 374–381.

Mwinyi Waziri ,P., Lebisabo.,B, Kanyama,J., Rammeloo,J. N. (2018). Culture de Pleurotus

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

tuber-regium (Fr.) Singer sur substrat ligno-cellulosique en République Démocratique du Congo. *Tropicultura*. 95-101.

Ndayegamiye, A. N., Royer, R., Audesse, P. (1997). Nitrogen mineralization and availability in manure composts from Québec biological farms. *January 1996*.

Ngezimana, W., Mtaita, T.A.M. I. (2007). Potential of organic residues in producing Oyster Mushroom, *Pleurotus ostreatus* Fr. (Polyporaceae). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 1(2), 108-120.

Ngnikam, E., Naquin, P., Oumbe, R., Djietcheu, K. B. (2017). *Evolution des caractéristiques des déchets solides ménagers dans la ville de Yaoundé au Cameroun*, *Afrique Science* 18(2):1–16.

Ngom, S., Dieye, I., Thiam, M. B., Sonko, A., Diarra, R., Diarra, K., Diop, M. (2017). Efficacité agronomique du compost à base de la biomasse du « neem » et de l'anacarde sur des cultures maraichères dans la zone des niayes au Sénégal Université Cheikh Anta Diop de Dakar *Agronomie Africaine*, 29 (3) : 269 - 278

Nteziryayo, V., Tibuhwa D.D., Kiyuku, P., Muvunyi, R., M. T. (2019). Characterization and domestication of wild edible mushrooms from selected indigenous forests in Burundi. *Tanzania Journal of Science*, 45, 417–430.

Ntukamazina, N. (2006). Etude d'une fertilité fractionnée des engrais minéraux N6P sur la culture d'arachide variété A1055 dans la région de l'Imbo. Bujumbura, Université du Burundi, FACAGRO, Mémoire, 75p.

Nieuwenhijzen, B. (2005). La culture des champignons à petite échelle La culture des champignons à petite échelle: pleurotes, shiitakes et auriculaire . *Afrique Science* 12(2): 55–67.

Oyetayo, A. O. (2013). Micro and macronutrient properties of *Pleurotus ostreatus* (Jacq: Fries) cultivated on different wood substrates. In Section de Phytotechnie Tropicale, Institut National Agronomique, Wageningen, Pays Bas. *Journal of biological sciences*. 6(3):223 - 226

Pedneault, K. (2007). Etude de composés extractibles chez les champignons indigènes du Québec. Thèse de Doctorat, Département de Phytologie Faculté des Sciences de

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

l'Agriculture et de l'Alimentation Université Laval Québec (Canada) 216 p.

Peter,O., Bram, V. N. (2014). La culture des champignons à petite échelle : Pleurotes, Shiitakes et Auriculaires.Pays-Bas. *Fondation Agromisa et CTA Presse.* 37 p.

Philippe,G. (2005). Use of mycorrhizal fungi in the process of phytoremediation of heavy metal contaminated soils. Thesis. University of Québec at Chicoutimi.150 p.

Profocus,A.(2015). Le pleurote, allié de votre santé (bienfaits et vertus) Importance de la culture des champignons comestibles. *PROFOCUS*, 8(5), 47P

Rapior,S.(2006). La Classification Des Champignons, Annales De La Société d'Horticulture Et d'Histoire Naturelle De l'Hérault. *146*, 81–86.

Rucakumugufi, D., Dieng, M., Ntakarutimana, V., & Sambe, F. M. (2021). Co-compostage des Déchets Solides Ménagers Avec les Déjections d ' Elevage : Optimisation du Rapport C / N des Substrats de départ. *Afrique Science 18(2):* 94–107.

Raz, R. (2022). Paille de différentes céréales - propriétés. Composition chimique et valeur nutritionnelle de la paille Méthodes physiques de préparation de la paille pour l'alimentation:Rapport 107P.

Savadogo,I. 2011. (2011). Evaluation de l'efficacité agronomique du compost de déchets urbains soudes de la ville de ouagadougou .Memoire, Université Polytechnique De Bobo-Dioulasso (Institut Du Développement Rural) .55P.

Shah, N. P. (2016). Characterization, antioxidative and bifidogenic effects of polysaccharides from *Pleurotus eryngii* after heat treatments. *Food Chemistry.* 197, 240–249.

Sánchez, C. (2010). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms.*Appl. Microbiol. Biotechnol.* 85, 1321–1337.

Demer,S. (2006). Champignons : les techniques de production en forêt. Coopérative de Solidarité Cultur'Innov A Miquelon, St-Camille. *162p* ,rapport.

Toukara, M.S. Sow, C. Beye, A.F., Sambe, Ndiaye, M. A. (2017). Fortification des farines tropicales par l'introduction de protéines végétales et de champignons comestibles. *Agronomie Africaine Sp. Journées Techniques Fruits et Légumes Biologiques*, 1–14.

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

Toundou, O. (2016). Evaluation des caractéristiques chimiques et agronomiques de cinq composts de déchets et étude de leurs effets sur les propriétés chimiques du sol, la physiologie et le rendement du maïs (*Zea mays* L . Var . Ikenne) et de la tomate (*Lycopersicon esculentum* L.). *Afrique Science* 12(2): 92–106.

Traoré, M. (2018). Activation du Compostage de Paille de Riz par Effet du Phosphore: Valorisation des Résidus de Récolte. Mémoire de Master, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, 86P.

Tshala, U. J., Kitabala M. A., Tunda Mwamba ,J.P, Mufind, K. M., Kalenda, M. A., Kanyimbu,G. K.,Kimuni, L. N. (2017). Vers une Valorisation des Déchets Ménagers en Agriculture (péri) urbaine à Kolwezi : caractérisation et influence de la saisonnalité. *Journal of Applied Biosciences* .112:1997-5902

Turbide, G. C. (2011). Optimisation des Paramètres de Fonctionnement d'un Bioréacteur dans un Procédé de Tri-compostage. Mémoire de master école de technologie supérieure université du québec. 55P.

Xiao-Yu ,Z. B.Z., Guang ,X. X. G. (2016). Research progress on nutrition constituents, bioactivity and storage preservation of *Pleurotus geesteranus*. *Journal of Food Safety and Food Quality*., 7(6), 2315–2319.

Zhang ,J.P., Li,X.B., Ying ,Y.Y. X. (2019). Effects of the *Camellia oleifera* shell substrate on the yield and nutritional composition of *Pleurotus geesteranus*. *Agricultural Sciences* 10: 1298–1311.

Zakaria, O. (2018). Etude caractéristique physico-chimique d'un compost synthétisé à partir des déchets des palmiers dattier. *Mémoire de Master, Université Ahmed Draïa Adrar*. 63p.

Effets de la fermentation des substrats sur la qualité nutritionnelle des pleurotes : cas de pleurotus ostreatus var M₂₁₂₅ et var P₂₁₇₅ cultivés sur la paille de riz

ANNEXES

Annexe1 : Tableau illustrant la variation de la température au cours de la journée

Tas 1				Tas 2		
Jours de prélèvement	Matin	Midi	Soir	Matin	Midi	Soir
J1	-	-	30	-	-	30
J2	66	70	72	66	70	72
J3	54	52	50	45	44	42
J4	45	42	42	35	32	32
J5	36	38	37	31	32	30
J6	30	30	-	30	30	-

J : Jour.

Annexe 2 : Tableau illustrant la teneur en carbone, en azote organique, le rapport carbone azote de la paille de riz complétementée, Teneur en azote protéique et teneur en protéines des pleurotes récoltés pour le premier volé

Prélèvements	Paramètres analysés						
	C%	N%	C/N%	TPr (NX6, 25) %des pleurotes var P2175	TPr (NX6, 25)% des pleurotes var M2125	N Pr %	TPr%
P1	40	0,78	51,28	2,1	13,12	2,7	16 ,8 7
P2	38	0,72	52 ,77	2,6	16,25	2,7	16,8 7
P3	37	0,7	52,85	2,9	18,12	2,8	17,5
P4	37	0,69	53,62	3	18,75	3,6	22,5
P5	36 ,5	0,68	53,67	3	18,75	4	25
PT	36	0,67	53,73	3,7	23,12	4,9	30,62
BE	10	0,35	28,57	-	-	-	-

BE : Bottes épuisées ; P : Prélèvement ; PT : Prélèvement Témoins ; TPr : Teneur en protéines

C : Carbone ; N : Azote total ; C/N : Rapport carbone azote ; NPR : Azote protéique