

BURKINA FASO
Unité-Progrès-Justice

MINISTRE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE
ET SUPERIEUR (MESS)

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO (UPB)

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL (IDR)



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du

MASTER EN BIOLOGIE APPLIQUEE ET MODELISATION DES SYSTEMES
BIOLOGIQUES

THEME :

UTILISATION DE CULTURES DE *LACTOBACILLUS FERMENTUM* DANS LA
TECHNOLOGIE DU ZOOM-KOOM, UNE BOISSON LOCALE A BASE DE MIL
(*PENNISETUM GLAUCUM*) POUR AMELIORER SA QUALITE
NUTRITIONNELLE, SANITAIRE ET ORGANOLEPTIQUE

Présenté par : SOMA MASSIEKE ADAMA ABDOUL RAZAAK

Soutenu le 14 juin 2014

JURY

Président : Pr Georges Anicet OUEDRAOGO, Professeur titulaire, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, BURKINA FASO

Membres : - Dr Aboubacar TOGUYENI, Maître de conférences, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, BURKINA FASO

- Dr Hagrétou SAWADOGO-LINGANI, Maître de recherches, DTA/IRSAT/
CNRST/BURKINA FASO

N° : ...-2014/BAMSB

JUIN 2014

DEDICACE

A toute la famille SOMA en particulier

↓ Mes parents (SOMA Kiba et OUEDRAOGO Bibata) pour tout l'amour et le sacrifice consentis à notre éducation et notre épanouissement qu'ils retrouvent toute l'expression ma profonde gratitude ;

↓ A mon frère (SOMA Baba Edmond), son épouse (GIGMA Zarra) et mes sœurs (SOMA Rachidatou et SOMA Djenéba) pour leurs soutiens multiformes et leurs encouragements ;

↓ A mes oncles, tantes et cousins, ami(es) et connaissances pour leurs conseils, soutiens et leurs multiples attentions ;

REMERCIEMENTS

Les travaux qui font l'objet du présent mémoire de D.E.A ont bénéficié du financement du projet PAES/UEMOA BURKINA FASO N° P- Z1 - IAD - 002 (N° DU DON : 2100155007376). Nous avons aussi bénéficié d'un appui financier par l'octroi de bourse des projets SASSACID-ANAFE et WAAPP/BURKINA FASO. Nos travaux ont été entièrement réalisés aux laboratoires du Département Technologie Alimentaire (DTA) de l'IRSAT/CNRST/MRSI/ Ouagadougou (BURKINA FASO).

J'exprime ma profonde gratitude et ma reconnaissance aux différents responsables de ces projets et structures impliquées, sans lesquels ce travail ne serait réalisé. De plus ce mémoire n'aurait pu aboutir sans le soutien indéfectible de plusieurs personnes auxquelles je tiens à exprimer ma gratitude et ma profonde reconnaissance.

Je remercie très sincèrement :

✚ Dr Bréhima DIAWARA, Directeur de Recherches, Directeur de l'IRSAT, pour avoir accepté notre stage de fin de cycle de DEA au sein de sa structure. Cher Maître, vous n'avez hésité un seul instant à nous écouter, à nous orienter, à prendre connaissance de l'état d'avancement de nos travaux et surtout à nous prodiguer de précieux conseils. Ceci est l'occasion pour nous de vous témoigner toutes notre gratitude ;

✚ Dr Aboubacar TOGUYENI, Maître de Conférences, Vice-Président de l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso chargé de la Recherches et de la Coopération Internationale, pour avoir accepté de diriger ce mémoire de master et de siéger dans le jury ; cher Maître, veuillez trouver en ce document tout le suivi et le sacrifice consenti à notre égard pendant ces nombreuses années de vie universitaire. Vous avez usé envers nous de patience, de compréhension, d'écoute et de soutien à tous les niveaux ; même dans les moments difficiles vous avez cru en nous, sachez que vous serez toujours un modèle pour nous;

✚ Dr Hagrétou SAWADOGO/LINGANI, Maitre de Recherches, Chef de Département Technologie, Coordinatrice du projet PAES/UEMOA/ Burkina Faso, pour avoir accepté de diriger ces travaux et de siéger dans le jury. Cher Maître nous ne saurons trouver les mots justes pour vous témoigner toute notre gratitude, vous avez usé de patience à notre égard malgré vos multiples occupations, vous nous avez procuré le goût à la recherche, soutenu à plusieurs niveaux et aviez placé votre confiance en nous, en nous acceptant dans ce projet d'étude. Veuillez trouver en ce mémoire toute l'expression de notre profonde gratitude et sachez que vous serez toujours une référence pour nous ;

↓ Pr Georges Anicet OUEDRAOGO, Professeur titulaire, Président de l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, coordonnateur du Master de biologie appliquée et de modélisation des systèmes biologiques et toute son équipe de l'école doctorale pour avoir accepté notre inscription à cette formation et pris surtout de votre temps pour présider le jury. Votre capacité d'écoute et votre disponibilité nous ont véritablement marqué ;

↓ A Dr. Charles PARKOUDA, Dr. Donatien KABORE, Dr. Clarisse DAWENDE/COMPAORE, Mr Luc SAWADOGO, Mr Michel COMBARI, Mme Mamounata CONGO, Mme Kadi ZIDA pour la confiance, le suivi, l'encadrement surtout la patience observé à notre égard, l'écoute, les soutiens multiformes et la compréhension dont nous avons bénéficié ;

↓ A l'équipe du projet de recherche PAES/UEMOA/BURKINA FASO du Département Technologie Alimentaire ;

↓ A tous les chercheurs, ingénieurs et techniciens du DTA/IRSAT/Ouaga dont Dr. Hama BA, Dr. Léguet GANOU, Dr. Laurencia OUATTARA, Mr Boniface BOUGOUMA, Mme SAMANDOULGOU Justine, Mme KONKOBO Charlotte , Mme KANTE Hyacinthe, Mme COMPAORE Diarra, Mr ZONGO Souleymane, Mr PARE Adama, Mr FOFANA Daouda, Mr BANHORO Olivier , Mr SALEMBERE Inoussa, Mr LODOUM Adama pour le soutien et le suivi ;

↓ A l'équipe administrative du DTA notamment Mme OUEDRAOGO, Mme ILBOUDO Pélégie, Mme BASSOLE, Mme SOMDA Martine pour leurs conseils et leurs précieuses attentions ;

↓ A toute l'équipe professorale de l'école doctorale, de l'IDR ainsi que de l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso ;

↓ Aux productrices de zoom-koom, Mme OUEDRAOGO Fati et Mme SAWADOGO Salimata pour leurs aides et conseils si précieux durant les travaux de terrain et pendant les formulations en atelier-pilote du DTA. Chères dames, je vous serai toujours reconnaissant.

↓ A tous mes collègues stagiaires du DTA pour leur soutien combien précieux au niveau des laboratoires d'analyses et lors des différentes formulations en atelier pilote au DTA, recevez ma très profonde gratitude ;

↓ A toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce présent mémoire, trouvez en ces mots toute l'expression de ma profonde gratitude.

SOMMAIRE

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS.....	ii
LISTE DES SIGLES ET ABBREVIATIONS.....	vi
LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES PHOTOGRAPHIES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
RESUME.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
I.1.DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES : LES BOISSONS FERMENTÉES A BASE DE CÉRÉALES.....	3
I.1.1. <i>Technologie de fabrication du zoom-koom</i>	3
I.2. LA FERMENTATION DES PRODUITS CÉRÉALIERS.....	9
I.2.1. <i>Les principaux types de fermentation utilisés dans le processus de fabrication des boissons fermentées à base de céréales</i>	9
I.3. LES TECHNIQUES DE STABILISATION ET DE CONDITIONNEMENT APPLICABLES AUX BOISSONS..	13
I.3.1. <i>La stabilisation par la chaleur</i>	13
I.3.2. <i>La stabilisation par le froid</i>	14
I.3.3. <i>La stabilisation par le séchage</i>	14
CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES.....	16
II.1. MATÉRIELS.....	16
II.1.1. <i>Matériel biologique</i>	16
II.3. MÉTHODES.....	17
II.2.1. <i>Méthode de production du zoom-koom et échantillonnage</i>	17
II.2.2. <i>Méthodes d'analyses biochimiques</i>	22
II.2.3. <i>Méthodes d'analyses microbiologiques</i>	28
II.2.4. <i>Méthodes d'analyses sensorielles</i>	31
II.3. TRAITEMENTS DES DONNÉES.....	33
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION.....	34
III.1.PROCEDES CONTROLES DE PRODUCTION DU ZOOM-KOOM FRAIS ET DE LA FARINE INSTANTANEE DE ZOOM-KOOM.....	34
III.1.1. <i>Procédé contrôlé de production du zoom-koom frais</i>	34
III.1.2. <i>Procédé contrôlé de production de la farine instantanée de zoom-koom</i>	36
III.2.QUALITE NUTRITIONNELLE DU ZOOM-KOOM FRAIS ET DE LA FARINE DE ZOOM-KOOM OBTENUS PAR LE PROCEDE NATUREL ET CONTROLE.....	38
III.3.QUALITE SANITAIRE DU ZOOM-KOOM FRAIS ET DE LA FARINE INSTANTANEE DE ZOOM-KOOM PAR LE PROCEDE NATUREL ET CONTROLE.....	43
III.4. QUALITE ORGANOLEPTIQUE DU ZOOM-KOOM FRAIS ET DE LA FARINE INSTANTANEE DE ZOOM-KOOM PAR LE PROCEDE NATUREL ET CONTROLE.....	53
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	58
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	60
ANNEXES.....	xiii

LISTE DES SIGLES ET ABBREVIATIONS

°C : degré Celsius

CNRST : Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique

d : dilution

DNS : 3, 5Dinitro Salicylate de Sodium

DTA : Département Technologie Alimentaire

F : formulation

FIZK(N) : Farine Instantanée de zoom-koom par le procédé naturel ;

FIZK(S) : Farine Instantanée de zoom-koom par le procédé contrôlé ;

g : gramme

IRSAT : Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies

Lact: Lactobacillus

ml : Millilitre

min : minute

MRSI : Ministère de la Recherche Scientifique et de l'Innovation

m.s : matière sèche

P : Pennisetum

UFC : Unité Formant Colonie

μorg : microorganisme

ZKF(N) : zoom-koom frais par le procédé naturel ;

ZKF(S) : zoom-koom frais par le procédé contrôlé ;

LISTES DES FIGURES

figure 1:schéma d'un grain de mil 1	5
figure 2: diagramme de production 1	18
figure 3: diagramme de production 2	19
figure 4: diagramme de production 3	35
figure 5: diagramme de production 4	37
figure 6:test de classement 1	52
figure 7: test de classement 2	53
figure 8: test de différence-témoin1	53
figure 9: test de différence-témoin 2	53
figure 10: test profil sensoriel du goût 1	54

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

photographie 1 :champ de mil.....	3
photographie 2: grains de mil.....	3
photographie 3:zoom-koom frais au lait	36
photographie 4: zoom-koom frais au citron	36
photographie 5: farines instantanées de zoom-koom	38

LISTE DES TABLEAUX

tableau I:étapes d'échantillonnage I	21
tableau II: formulations de zoom-koom frais au DTA.....	34
tableau III: formulations de farine de zoom-koom au DTA.....	36
tableau IV: composition en macromolécules du zoom-koom.....	39
tableau V: composition en oligo-éléments du zoom-koom.....	40
tableau VI: flore microbienne du zoom-koom frais prélevé à zogona.....	48
tableau VII: flore microbienne de la farine instantanée de zoom-koom prélevée à pissy	49
tableau VIII: flore microbienne de la farine instantanée de zoom-koom au DTA.....	50
tableau IX: flore microbienne du zoom-koom frais au DTA.....	51
tableau X: évolution de la flore microbienne de la matière première au produit fini ...	52

RESUME

Le zoom-koom est une boisson à base de mil très prisée par les consommateurs burkinabé. Il se vend aux abords des routes et voies. Il est le plus souvent produit sans hygiène appropriée de la part des acteurs qui évoluent dans ce domaine. Ceux-ci ignorent très souvent l'application des règles d'hygiène que nécessitent la production et la commercialisation de denrées alimentaires destinées à la consommation humaine.

La présente étude avait pour but de diagnostiquer les pratiques courantes de production du zoom-koom chez des transformatrices de la ville de Ouagadougou, identifier les sources potentielles de contamination et d'altération du produit afin de proposer des axes d'amélioration du produit du point de vue qualité nutritionnelle, sanitaire et organoleptique.

A l'issue de ces travaux, un process amélioré de production du zoom-koom frais et de la farine instantanée de zoom-koom a été proposé. Deux formulations de zoom-koom fermentées ont été mise au point et analysées au laboratoire du DTA.

Au terme de ces analyses, nous avons pu observer que les opérations unitaires du décorticage, de la fermentation lactique naturelle au cours du trempage permettaient d'éliminer plus de 90% des coliformes présents dans le mil (matière première du zoom-koom) en 24 heures. Une formulation de zoom-koom fermenté par *Lactobacillus fermentum* plus riche en protéines (28,46%), en sucres réducteurs (36,9%), en fer (3,08 mg/100g), calcium (0,435 mg/100g), magnésium (0,065 g/100g) et phosphore (0,011g/100g) est disponible pour être transférée aux transformatrices.

De plus, les analyses microbiologiques, nous ont permis d'observer que l'introduction de souches pures de *Lactobacillus fermentum* pour la fermentation contrôlée permettait d'éliminer 92% des germes pathogènes en 6h de fermentation contre 78% pour la fermentation naturelle par les souches endogènes présent dans le produit.

Par ailleurs, nos tests d'analyses sensorielles ont permis de constater que 70% des consommateurs interrogés apprécient le goût sucré du zoom-koom fermenté par des souches de *Lactobacillus fermentum*, 90% des personnes interrogées apprécient son goût aigre et 80% apprécient son goût peu piquant.

Mots clés : Technologie, Qualité, zoom-koom, *Lactobacillus fermentum*.

ABSTRACT

The zoom-koom is a drink containing very appraisal by the consumer's Burkinabe millet. It is sold with the accesses roads and ways. It is generally produced without suitable hygiene on behalf of the actors who evolve/move in this field. Those are unaware of very often the application of the rules of hygiene which the production and the marketing of foodstuffs intended for human consumption require.

The purpose of the present study was to diagnose the current practices of production of the zoom-koom at the transformer ones of the town of Ouagadougou, to identify the potential sources of contamination and deterioration of the product in order to propose axes of improvement of the product from the quality point of view nutritional, medical and organoleptic. With the exit of this work, a process improved of production of the fresh zoom-koom and instantaneous flour of zoom-koom were proposed. Two formulations of zoom-koom fermented were developed and analyzed at the laboratory of the DTA.

At the end of these analyses, we could observe that the unit operations of dehusking, of natural lactic fermentation during steeping allowed to eliminate more than 90% from the Coliforms present in the millet (raw material of the zoom-koom) of 24 hours. A formulation of zoom-koom fermented by *Lactobacillus fermentum* richer in proteins (28,46%), out of reducing sugars (36,9%), out of iron (3,08 mg/100g), calcium (0,435 mg/100g), magnesium (0,065 g/100g) and phosphorus (0,011g/100g) is available to be transferred to the transformer ones.

Moreover, the microbiological analyses enabled us to observe that the introduction of pure stocks of *Lactobacillus fermentum* for controlled fermentation made it possible to eliminate 92% from the pathogenic germs in 6 h of fermentation against 78% for natural fermentation by the endogenous stocks present in the product.

In addition, our tests of sensory analyses made it possible to note that 70% of the questioned consumers appreciate the sweetened taste of the zoom-koom fermented by stocks of *Lactobacillus fermentum*, 90% of the questioned people appreciate her sour taste and 80% appreciate its taste little pricking.

Key words: Technology, Quality, zoom-koom, *Lactobacillus fermentum*.

INTRODUCTION

Le secteur de l'agroalimentaire a connu une croissance remarquable ces dix dernières années au Burkina Faso (Afrique verte, 2013). Cette croissance est observée dans la plupart des filières de production et de transformation comme les oléagineux, les fruits et légumes, les tubercules et les céréales.

Les acteurs de ces différentes filières tentent tant bien que mal de s'organiser afin de donner une meilleure visibilité à leurs produits. Bien que des organisations et groupements de producteurs existent, force est de constater les multiples difficultés auxquelles ils font face ; ce sont entre autres : la rareté des crédits bancaires, les difficultés à honorer les commandes importantes, la qualité des produits élaborés, l'absence de standards de production et de conservation des aliments transformés (CAC/GL 21, 1997; CAC/GL22R, 1997 ; CEMEQ, 2006).

En effet, la transformation des céréales comme le riz, le sorgho, le maïs et le mil occupe un grand nombre d'acteurs au Burkina Faso (Afrique verte, 2008 et 2011). Ces céréales sont le plus souvent transformées en produits semi-finis (couscous, farine, etc.), en produits finis comme le dèguè et en boissons fermentées comme le dolo (Sawadogo-Lingani, 2010).

Hors mis ces produits à base de céréales très connus, il existe un autre type de boisson bien prisée des consommateurs locaux dans les villes et en milieu rural ; il s'agit du zoom-koom, boisson artisanale produite à base de mil et beaucoup consommée dans les villes comme Ouagadougou, Bobo-Dioulasso, Koudougou (Icard-Vernière *et al*, 2010).

Comme beaucoup de boissons traditionnelles, les conditions de fabrication de celles-ci ne peuvent garantir aux consommateurs un produit sain et de bonne qualité nutritionnelle et sensorielle (Hama-Ba, 2003 ; Traoré, 2005). Ce zoom-koom est élaboré le plus souvent à domicile ou dans des cadres inappropriés. Le produit est aussi sujet aux multiples manipulations des mains dont l'hygiène est souvent douteuse. Il faut ajouter à tout ceci l'usage de matériels de production souvent exposés à même le sol et en contact permanent avec les mouches et tout type de germes ambiants. La boisson obtenue dans ces conditions est instable et difficile à conserver. Or le zoom-koom, comme toute boisson destinée à la consommation humaine, nécessite l'application stricte de bonnes pratiques d'hygiène durant tout le processus de la production jusqu'à la consommation. C'est dans un souci d'amélioration de la qualité de cette boisson que s'inscrivent nos travaux sur le thème **« Utilisation de cultures de *Lactobacillus fermentum* dans la technologie du zoom-koom, une boisson locale à base de mil (*Pennisetum glaucum*) pour améliorer sa qualité nutritionnelle, sanitaire et organoleptique**».

L'objectif de cette étude est d'améliorer la qualité nutritionnelle, sanitaire et organoleptique du zoom- koomd'une part et, d'accroître sa valeur marchande d'autre part.

Le présent mémoire est articulé en trois chapitres. Le premier chapitre porte sur la synthèse bibliographique, le second sur le matériel et méthodes et enfin le dernier est consacré aux résultats et à la discussion.

**CHAPITRE I : SYNTHÈSE
BIBLIOGRAPHIQUE**

I.1. Les boissons fermentées à base de céréales

Depuis des millénaires, l'Homme utilise la fermentation pour obtenir des aliments de valeur nutritive améliorée (Aka, 2008). Certaines céréales telles que le sorgho, le maïs et le mil sont souvent transformées en boisson dont la fabrication comprend une étape essentielle de fermentation lactique et/ou alcoolique. Ces boissons jouent un rôle parfois central dans les cultures des peuples. En effet, souvent attachées aux traditions d'hospitalité et de convivialité, ces boissons font partie du savoir-vivre de la plupart des familles et servent à sceller des relations entre les individus (Aka, 2008). Au nombre de ces boissons, il y a le tchapalo ou dolo et le zoom-koom au Burkina Faso, le pito au Ghana, le doro au Zimbabwe, le bouza en Egypte, le kunun-zaki au Nigeria, le mougoudji au Mali (Sawadogo-Lingani, 2010).

I.1.1. Technologie de fabrication du zoom-koom

Le zoom-koom¹ ou mougoudji² en langues locales Mooré¹ et Dioula², est une boisson traditionnelle à base de mil (*Pennisetum glaucum*). Il est très répandu au Burkina Faso surtout dans les principales villes comme Ouagadougou, Bobo-Dioulasso, Koudougou (Icard-Vernière *et al.*, 2010). Cette boisson traditionnelle locale est fabriquée essentiellement à partir de farine de mil, de gingembre, de tamarin, de menthe et de sucre. Elle se consomme à l'état frais ou avec de la glace. Sa conservation se fait généralement au réfrigérateur à 6°C environ.

I.1.1.1. La matière première: le mil

Le mil représente la principale céréale consommée dans plusieurs régions du Burkina Faso, du Niger, du Nigeria et du Mali (Kiemtoré, 2005 ; FAO, 2012). L'Afrique est le premier producteur mondial de cette céréale (photos 1 et 2), consommée depuis la préhistoire (Khouri-Dagher, 2011).



Photo1 : Champ de mil

photo2 : les grains de mil

1.1.1.1.1. Origine et description de la plante

Différents types de mil sont cultivés dans le monde. Le plus grand nombre de formes de mil, aussi bien sauvages que cultivées, se trouve en Afrique occidentale tropicale d'où les mils sont probablement originaires (Lestienne, 2004). Il y a environ 2000 ans, cette culture a été transportée en Afrique orientale et centrale et en Inde où, en raison de son excellente tolérance à la sécheresse, elle s'est établie dans les environnements les plus secs. Le mil chandelle ou « Pearl millet » se distingue des autres types de mils dits mineurs. Il appartient à la section *Penicillaria* du genre *Pennisetum* qui se divise en cinq sections. Les plants appartenant à cette section se caractérisent par la présence d'une touffe de poils sur l'apex des étamines. L'espèce *Pennisetum glaucum* (synonymes : *P. americanum*, *P. typhoides*) est connue sous les noms de mil chandelle, mil pénicillaire, petit mil ou mil perlé en français, ou « pearl millet », « candle millet » ou « cattail millet » en anglais, « bajra » en langue hindi (Inde) et de « sanyo », « munga » ou encore « seno » selon les différents dialectes africains (Bezançon et al., 1999). Dans la suite de ce document, l'appellation mil désignera le mil chandelle.

Les mils mineurs sont également appelés « petits mils ». Ils comprennent l'éleusine (*Eleusine coracana*, ou « Finger millet », le millet d'Italie ou millet des oiseaux *Setaria italica*, ou « foxtail millet », le millet commun (*Panicum miliaceum*) « Proso millet », le petit mil ou *Panicum sumatrense* ou « little millet », le moha du Japon *Echinochloa crus-galli* ou « barnyard millet » et le millet indigène ou *Paspalum scrobiculatum* « kodo millet » (Lestienne, 2004).

La hauteur de la plante varie de 0,5 à 4 m, et la couleur du grain peut être presque blanche, jaune pâle, brune, grise, bleue ardoise ou pourpre. Les grains, de forme ovoïde, sont longs d'environ 3 à 4 mm. Le poids pour 1 000 grains varie de 2,5 à 14 g avec une moyenne de 8 g. La taille est d'environ un tiers de celle du sorgho. La proportion relative du germe par rapport à l'endosperme est plus élevée que dans le sorgho (FAO, 2012).

a) Caractéristiques du grain de mil

Les grains de mil se caractérisent par une diversité considérable de couleurs, de formes, de dimensions et de certains éléments anatomiques. Les principaux éléments anatomiques sont le péricarpe, le germe ou embryon et l'endosperme (FAO, 2012).

- **Le péricarpe** est la structure extérieure du caryopse et se compose de trois sous couches: l'épicarpe, le mésocarpe et l'endocarpe. L'épicarpe est lui-même divisé en épiderme et hypoderme (FAO, 2012).
- **L'enveloppe de la graine ou testa** localisée juste en dessous de l'endocarpe. Dans certains génotypes de mil, le testa est fortement pigmenté. La présence de pigment et la couleur représentent un caractère génétique. L'épaisseur de la couche n'est pas uniforme. Elle est épaisse près de la couronne du grain et fine près de l'embryon (FAO, 2012).
- **L'endosperme** est l'élément le plus volumineux du grain de céréale ; c'est un important tissu de réserve. Il se compose d'une couche d'aleurone ou assise protéique et de zones périphériques cornées et farineuses. L'aleurone est constituée d'une seule couche de cellules, qui se situe juste en dessous de l'enveloppe de la graine ou spermoderme. Les cellules d'aleurone sont riches en sels minéraux, en vitamines du complexe B et en lipides; elles contiennent quelques enzymes hydrolysantes (Kiemtoré, 2005 ; FAO, 2012).

Les corps protéiques dans l'endosperme sont sphériques et leurs dimensions diffèrent selon les espèces et également à l'intérieur de l'endosperme du même grain de mil. Dans le mil chandelle, les corps protéiques sont plus nombreux dans la zone farineuse que dans la zone cornée et contiennent également du phosphore, du calcium, du potassium et du magnésium (FAO, 2012).

- **Le germe** est composé de deux parties principales dont l'axe embryonnaire et le scutellum. Le scutellum est un tissu de réserve riche en lipides, en protéines, en enzymes et en sels minéraux. Dans le mil chandelle, la proportion de germe par rapport à l'endosperme est plus forte que dans le sorgho. (FAO, 2012).

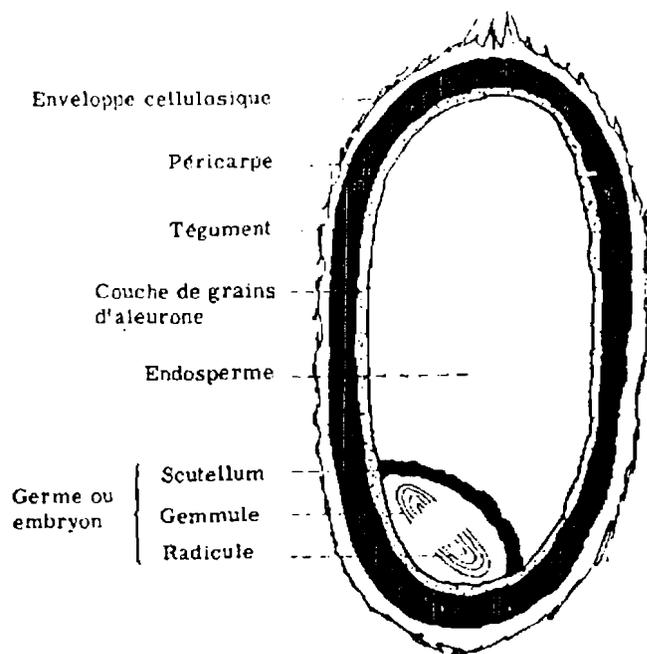


Figure 1 : Schéma d'une coupe longitudinale de grain de mil (source : Lestienne, 2004)

1.1.1.2. Le gingembre (*Zingiber officinale*)

a) Description de la plante

Le gingembre, (*Zingiber officinale*), est une espèce de plante originaire d'Asie, du genre *Zingiber*, de la famille des *Zingiberacees* dont on utilise le rhizome en cuisine et en médecine traditionnelle. Le gingembre est une plante vivace tropicale herbacée d'environ 0,90 m de haut issue d'un rhizome. Les feuilles persistantes sont lancéolées, bisériées, longues et odorantes. Les fleurs sont blanches et jaunes ponctuées de rouge sur les lèvres ; les bractées sont vertes et jaunes. Après la floraison, un court épi axillaire renfermant des graines noires enfermées dans des capsules trivalves, apparaît au bout d'une tige couverte d'écailles. La croissance est rapide en exposition ensoleillée et en atmosphère humide. La multiplication se fait par division des rhizomes (Amani, 2004). Le rhizome est une épice très employée dans un grand nombre de cuisines asiatiques, et en particulier dans la cuisine indienne. Il est aussi utilisé en Occident dans des desserts comme le pain d'épices.

b) Propriétés chimiques et usages

Le rhizome est très riche en amidon (60 %). Il contient des protéines, des graisses (10 %), de l'huile essentielle et une résine. L'impression de feu (pseudo-chaleur) lors de la consommation de gingembre est due à la présence de shogaol, de paradol et de zingérone (Ginseng, 2013). La concentration de gingérol, constituant majeur du gingembre frais, est plus faible dans le

gingembre séché, tandis que la concentration en shogaol augmente. À partir du rhizome du gingembre, sont extraites une oléorésine (6 %) et des huiles essentielles (1-3 %) comme le zingiberène, le curcumène, le camphène, le bisabolène, le citral et le linalol. L'oléorésine contient les composés chimiques à l'origine de la saveur piquante, tels que le gingérol (15 %). La composition de l'huile essentielle varie beaucoup suivant l'origine géographique mais on retrouve des composés odorants comme le zingiberène, le curcumène, le camphène, le bisabolène, le citral et le linalol (Ginseng, 2013). Ces deux extraits (gingérol et shogaol) sont destinés à l'aromatization des aliments, tandis que seule l'huile essentielle est utilisée dans la parfumerie.

Le gingembre contient notamment des antioxydants très intéressants pour prévenir les maladies cardiovasculaires, certains cancers et d'autres maladies liées au vieillissement (Eustache, 2009). Cette racine possède également des propriétés anti-inflammatoires, la rendant utile en cas de rhumatismes. Enfin, elle facilite la digestion et exerce un effet antiémétique, c'est-à-dire que le gingembre peut aider à lutter contre les nausées et les vomissements (Bassole, 2003 ; Abessolo, 2004).

I.1.1.3. Le tamarin (*Tamarindus indica*)

a) Description de la plante

Originaire d'Afrique, malgré son nom, le tamarinier se rencontre à l'état sauvage dans les savanes sèches; il fut introduit il y a longtemps aux Indes puis dispersé par les Arabes et les Européens dans le reste du monde tropical et subtropical (Hurtel, 2001).

Cet arbre qui peut atteindre 20 m de haut, possède un tronc assez court et des branches qui ont tendance à s'infléchir jusqu'au sol ; le feuillage est semi-caduc, les folioles desséchées recouvrent le sol autour de l'arbre ; il n'y a généralement pas de végétation adventice. Les fleurs zygomorphes sont rougeâtres; le fruit, une gousse pendante un peu comprimée, initialement brun-vert prend la couleur rouille à maturité. L'épiderme devient cassant et à l'intérieur. La pulpe jaune-brunâtre entoure des graines (5 à 10), rouge brun à noir, lisses et brillantes (Hurtel, 2001).

b) Propriétés chimiques et usages

La pulpe représente 40 % de la gousse ; elle est riche en pectine, en sucres simples (20 à 40 %). Parmi les acides organiques et les sels minéraux qu'elle renferme, l'acide tartrique et le potassium sont les plus importants et responsables de son pouvoir laxatif (Hurtel, 2001). Certaines gousses sont douces et sucrées, d'autres sont très acides ou âcres selon les arbres et le degré de maturité. Des composés terpéniques lui donnent une légère odeur aromatique. La

pulpe est naturellement riche en vitamines et sels minéraux. Elle est utilisée pour la préparation d'une excellente boisson très riche en fibres. Le tamarin a des vertus digestives ou expectorantes et contient des vitamines tels que la vitamine A, la vitamine B1, la vitamine B2, la vitamine PP et la vitamine C. Il contient également des sels minéraux tels que le calcium, le potassium, le fer, le phosphore et le Sodium. (Hurtel, 2001; Fofana, 2010).

I.1.1.4. La menthe (*Mentha spicata L.*)

a) Description de la plante

La menthe verte (*Mentha spicata L.*) est une plante vivace de la famille des Lamiacées (Labiacées, Labiées), du genre *Mentha*, cultivée comme plante aromatique. Plante vivace herbacée très courante dans les jardins, elle peut atteindre 60 cm de hauteur. Elle est pourvue de stolons qui assurent sa multiplication, ce qui peut la rendre envahissante. Le feuillage est habituellement vert profond mais les jeunes feuilles sont généralement plus claires. Les feuilles sont dites lancéolées et leurs bords sont en dents de scie; elles portent des glandes sécrétant une essence, le menthol, dans une bonne proportion. Les fleurs sont généralement rosées voire blanches, se réunissent en épi et apparaissent en été (Abessolo, 2004).

b) Propriétés chimiques et usages

La menthe verte est constituée d'huiles essentielles, de flavonoïdes, d'acides-phénols et de menthol d'où son puissant arôme (Ginseng, 2013). La menthe contient du potassium, un micronutriment très intéressant pour l'équilibre acide/ base, ainsi que de l'acide folique ou Vitamine B9, une vitamine essentielle dans le cadre de la gestion du stress et de l'équilibre des voies métaboliques énergétiques (Ginseng, 2013).

I.2. La fermentation des produits céréaliers

De nos jours, l'importance de la fermentation dans l'alimentation humaine se traduit par la diversité de produits fermentés développés tant au niveau des ménages que des unités artisanales et industrielles (Sawadogo-Lingani, 2010). La fermentation sert de substitut à la réfrigération ou à tout autre moyen non disponible pour une bonne conservation des aliments. Les céréales sont les principales matières premières utilisées en Afrique bien que d'autres produits (lait, poissons) soient aussi fermentés. Dans la majorité des cas les produits fermentés à base de céréales sont typiquement de fermentation lactique (Sawadogo-Lingani, 2010). Plusieurs microorganismes sont à l'origine de la fermentation naturelle du zoom-

koom, parmi lesquels des bactéries lactiques, des levures et des moisissures. Ce qui explique souvent la présence d'odeur d'alcool et de CO₂ durant l'altération du produit.

I.2.1. Les principaux types de fermentation utilisés dans le processus de fabrication des boissons fermentées à base de céréales

Deux types de fermentation sont utilisés pour les boissons fermentées : la fermentation alcoolique et la fermentation lactique.

I.2.1.1. La fermentation alcoolique

La fermentation alcoolique est la plus anciennement étudiée, depuis la civilisation égyptienne. Elle correspond à la transformation des sucres en alcool éthylique et anhydride carbonique. Elle est utilisée pour la fabrication de toutes les boissons alcooliques (vin, bière et liqueurs). Par le gaz carbonique dégagé, la fermentation intervient dans la levée de la pâte en boulangerie et en pâtisserie. Gay-Lussac, en 1810, définit l'équation chimique de la réaction globale:



Les agents de la fermentation alcoolique sont:

– principalement les levures (champignons), dont il existe un très grand nombre d'espèces: la plus connue est *Saccharomyces cerevisiae* (levure de bière), dont certaines souches sont utilisées en brasserie et d'autres en boulangerie; *Saccharomyces ellipsoïdes*, agent de la vinification ; *Saccharomyces fragilis*, employé pour la seconde fermentation intervenant en champagnisation (Le Blanc, 2008).

– des moisissures comme certaines espèces du genre *Aspergillus* qui interviennent dans la fermentation du riz et du soja, et des espèces du genre, *Penicillium* impliquées dans la technologie des fromages.

La fermentation est accélérée par addition d'ions phosphate et magnésium. Louis Pasteur(1871) a précisé que, dans les conditions normales de la fermentation alcoolique, 95% des sucres sont convertis en alcool et en gaz carbonique; 5% donnent des produits divers tels que le glycérol (3 - 5%), l'acide succinique (~0,5%), le butane-2,3-diol (~0,5%) (Le Blanc, 2008).

I.2.1.2. La fermentation lactique

La fermentation lactique est typique aux produits riches en hydrates de carbone. Elle intervient dans l'élaboration des yaourts, des laits fermentés, des saucissons, de la choucroute, de certains fromages et certaines boissons comme le zoom-koom. Elle est homolactique lorsqu'elle s'effectue en présence des bactéries lactiques homofermentaires et l'acide lactique est majoritaire. Elle est hétérolactique lorsqu'elle s'effectue sous l'action de bactéries lactiques hétérofermentaires ; on obtient alors de l'acide lactique et d'autres produits comme l'éthanol, le dioxyde de carbone (Aka, 2008).

a) Les bactéries lactiques

Les bactéries lactiques ont très tôt retenu l'attention des scientifiques, en témoignent les travaux de Pasteur sur la fermentation lactique en 1857, puis l'identification et la description de la première espèce bactérienne, *Bacterium lactis* (*Lactococcus lactis* de nos jours) par Lister en 1873. Les premiers critères de définition des bactéries lactiques étaient basés sur leur capacité à fermenter et à coaguler le lait, ce qui incluait les coliformes dans ce groupe. Puis, la description des *Lactobacillus* par Beijerinck en 1901 comme des bactéries Gram-positif, a permis d'exclure les coliformes du groupe des bactéries lactiques. Orla –Jensen en 1919 définissait les « vraies bactéries lactiques » comme des bactéries Gram-positifs, immobiles, non sporulantes, oxydase-négative, catalase négative, pour la plupart et ayant la capacité de fermenter les hydrates de carbone en produisant de l'acide lactique (Sawadogo-Lingani, 2010). Deux voies fermentaires existent chez les bactéries lactiques : la fermentation homolactique avec l'acide lactique, produite à plus de 85% ; et la fermentation hétérolactique qui en plus de l'acide lactique, le dioxyde de carbone, l'éthanol et/ou l'acide acétique sont formés en quantité équimolaire. Selon le mode de fermentation obligatoire ou préférentiel, les bactéries sont dites homofermentaires ou hétérofermentaires obligatoires ou facultatives. En effet, certaines bactéries homofermentaires sont capables de réaliser les fermentations hétérolactiques dans des conditions de croissance non optimales ou selon la nature du sucre. Les bactéries lactiques ont une faible capacité de biosynthèse, d'où leur polyauxotrophie pour divers acides aminés, bases nucléiques, vitamines et acides gras, et également leur métabolisme fermentaire. La relation des bactéries lactiques avec l'oxygène est complexe ; elles sont normalement dépourvues de cytochromes et en conséquence elles sont inaptes à toute respiration aérobie ou anaérobie, d'où leur métabolisme fermentaire. Ce sont des bactéries anaérobies facultatives, micro aérophiles, capables de fermentation en anaérobiose comme en aérobie. Les bactéries lactiques sont subdivisées en treize (13) genres dont le genre *Lactobacillus*.

b) Les *Lactobacillus*

Ce genre a été proposé par Beijerinck en 1901 et comprend de nos jours plus de 110 espèces reconnues. Les *Lactobacilles* ont une forte exigence en facteurs de croissance à savoir acides aminés, vitamines, peptides, sels, acides gras ou esters d'acides gras, dérivés d'acides nucléiques, sucres fermentescibles. Leur croissance est mésophile (30-40°C) avec un pH optimum de 5,5 à 6,2 (Sawadogo-Lingani, 2010).

Les *Lactobacillus* ont la capacité de fermenter le glucose et différents hydrates de carbone mais les produits de fin de fermentation dépendent de la voie fermentaire de l'espèce. L'acide lactique est prédominant, cependant dans certaines conditions, l'acétate, l'éthanol, le succinate ou le CO₂ peuvent être formés (Hammes *et al.*, 1992 ; Klein *et al.*, 1998). Ils ont été classés en trois (03) sous- groupes fermentaires selon Orla-Jensen (1919) qui sont : *Thermobacterium* (homofermentaires et thermophiles), *Streptobacterium* (homofermentaires et mésophiles) et *Betabacterium* (hétérofermentaires soit mésophiles soit thermophiles). Les groupes fermentaires ont été redéfinis par Hammes *et al.* 1992 pour intégrer les nouvelles espèces et les données phylogéniques obtenues à partir du séquençage des ARNr. En 1995, Hammes et Vogel ont proposé les trois (03) subdivisions suivantes :

- les *lactobacilles* homofermentaires obligatoires (groupe A) comprenant les espèces du groupe *Thermobacterium* et d'autres nouvelles espèces décrites ;
- les *lactobacilles* hétérofermentaires facultatifs (groupe B) constitués des espèces du groupe *Streptobacterium* et de nouvelles espèces;
- les *lactobacilles* hétérofermentaires obligatoires (groupe C) qui regroupent les *Betabacterium* et des espèces nouvellement décrites. Comme espèce type de ce groupe, il faut citer *Lactobacillus fermentum*. De nombreuses espèces de *Lactobacillus* comme *Lactobacillus fermentum* ont une grande importance dans les industries alimentaires et pharmaceutiques ou elles sont utilisées comme cultures starter ou comme probiotiques.

I.2.1.3. Les cultures starter

Selon Holzapfel (1997), une culture starter peut être définie comme une substance ou une préparation contenant des microorganismes adaptés, pouvant être ajoutée à un substrat pour accélérer ou faciliter la maîtrise du processus de fermentation et assurer la qualité des produits. La maîtrise du processus de fermentation consiste à favoriser une flore utile au détriment d'une flore indésirable afin de prévenir les risques sanitaires chez les consommateurs. Les cultures starter modernes sont des monocultures ou des cultures mixtes de microorganismes spécifiquement adaptées au substrat.

I.2.1.4. Impact de la fermentation lactique sur la qualité des produits céréaliers

D'une manière générale, la fermentation joue au moins cinq rôles dans le domaine alimentaire (Sawadogo-Lingani, 2010):

- l'amélioration de l'alimentation humaine à travers le développement d'une diversité de saveurs, d'arômes et de textures des aliments ;
- la conservation /transformation des aliments et l'amélioration de leur salubrité à travers les effets bénéfiques des fermentations de types lactique, alcoolique, acétique et alcaline ;
- l'enrichissement par voie biologique des aliments en vitamines, protéines, acides aminés essentiels ;
- l'amélioration de la qualité nutritionnelle et la détoxification des aliments par la réduction de facteurs antinutritionnels (tanins, phytates, polyphénols ...), la dégradation ou l'inactivation de toxines naturelles notamment les glucosides cyanogéniques du manioc et certaines mycotoxines notamment la toxine d'*Alternaria* et la patuline.
- la réduction de la durée de cuisson des aliments et par conséquent la réduction de l'énergie nécessaire.

La fermentation lactique est largement utilisée dans les régions tropicales comme la méthode la plus économique pour transformer/conservcr les denrées alimentaires ; elle contribue efficacement à la salubrité, l'amélioration des propriétés nutritionnelles et organoleptiques, la prolongation de la durée de conservation et l'acceptabilité des produits céréaliers. La fermentation lactique permet de réduire la teneur en polysaccharides non digestes, favorise la synthèse d'acides aminés et améliore la disponibilité des vitamines du groupe B (Sawadogo-Lir.gani, 2010).

I.3. Les techniques de stabilisation et de conditionnement applicables aux boissons

I.3.1. La stabilisation par la chaleur

La stabilisation des aliments par traitement thermique est aujourd'hui la plus importante technique de conservation de longue durée. Il a pour objectif de détruire ou d'inhiber totalement les enzymes, les microorganismes et leurs toxines, dont la présence ou la prolifération pourrait altérer les boissons ou les rendre impropre à la consommation humaine. On parle de pasteurisation lorsque le chauffage est inférieur à 100°C et de stérilisation lorsqu'il est supérieur à 100°C (Fournier, 2003).

La technique de pasteurisation est utilisée surtout pour le traitement thermique des boissons et jus de fruit. Elle a pour but de détruire les microorganismes pathogènes et d'altération. Ce traitement thermique doit être suivi d'un brusque refroidissement puisque tous les microorganismes ne sont pas éliminés et qu'il est nécessaire de ralentir le développement des germes encore présents. Elle peut être faite directement sur le produit ou sur le produit

emballé en bouteilles, pots ou bidons ou dans tout autre type d'emballages pouvant résister à un chauffage de plus de 70°C. Les aliments pasteurisés ont une durée de vie limitée et sont le plus souvent conservés au frais entre 4°C-6°C (Dusovich, 2013). La pasteurisation pourrait être appliquée au zoom-koom pour le stabiliser et prolonger sa durée de conservation.

1.3.2. La stabilisation par le froid

Le froid est une technique de conservation des aliments qui arrête ou ralentit l'activité cellulaire, les réactions enzymatiques et le développement des microorganismes. Il prolonge ainsi la durée de vie des produits frais, végétaux et animaux en limitant leur altération.

Le froid ne détruit ni les toxines ni les microorganismes éventuellement contenus dans les aliments.

La majorité des microorganismes présents peuvent donc reprendre leur activité dès le retour à une température favorable. On distingue deux procédés qui utilisent cette technique, la réfrigération et la congélation.

- la réfrigération qui consiste à entreposer les aliments à une température basse, proche du point de congélation, mais toujours positive par rapport à celui-ci. Généralement, la température de réfrigération se situe aux alentours de 0°C à +4°C. A ces températures, la vitesse de développement des microorganismes dans les aliments est ralentie. La réfrigération permet donc la conservation des aliments périssables comme le zoom-koom à court ou moyen terme. Des règles fondamentales doivent être respectées dans l'application du froid : la réfrigération doit être faite le plus tôt possible après collecte, elle doit s'appliquer à des aliments initialement sains et être continue tout au long de la filière de distribution. C'est une technique de stabilisation très pratique pour la conservation des jus de fruit et boissons comme le zoom-koom après production et conditionnement dans des bouteilles, flacons et sachets alimentaires (Dusovich, 2013).

1.3.3. La stabilisation par le séchage

La déshydratation est une technique physique de conservation des aliments. Elle consiste à éliminer, partiellement ou totalement, l'eau contenue dans l'aliment. Ce procédé présente deux intérêts principaux : l'activité de l'eau du produit ainsi traité atteint des valeurs suffisamment basses pour inhiber le développement des microorganismes et stopper les réactions enzymatiques ; la diminution du poids et du volume est une économie importante pour le conditionnement, le transport et le stockage.

Selon l'intensité de la déshydratation, on distingue :

- le séchage qui consiste à enlever l'excès d'humidité par évaporation de l'eau. On aboutit à des produits alimentaires dits secs, tels que les couscous et les farines.

- la lyophilisation, qui consiste à congeler un aliment puis à le soumettre au vide, et l'eau passe ainsi directement de l'état solide à celui de vapeur : c'est la sublimation de la glace. Cette technique qui donne des produits de qualité se réhydratant bien, reste d'un prix de revient élevé. Elle est réservée à certaines applications comme le café soluble, certains potages instantanés (Dusovich, 2013). Elle pourrait être l'objet d'expérimentation sur le zoom-koom pour obtenir une farine instantanée de zoom-koom plus fine et ayant gardée toutes ces caractéristiques nutritionnelles et organoleptiques.

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

L'ensemble des travaux se sont déroulés dans la ville de Ouagadougou et au Département Technologie Alimentaire. Ces travaux ont principalement consisté en des suivis de production du zoom -koom frais et de farine instantanée de zoom-koom chez deux (02) transformatrices localisées dans les quartiers de Zogona et Pissy de la ville de Ouagadougou. et des prélèvements d'échantillons pour des analyses de laboratoire ; la réalisation d'essais de production en atelier pilote au DTA avec les deux transformatrices, des essais de formulations suivis d'évaluation sensorielle ainsi que des prélèvements d'échantillons pour analyses. L'ensemble des travaux se sont étendus sur une durée de neuf (09) mois d'avril 2013 à décembre 2013.

II.1. Matériel

II.1.1. Matériel biologique

II.1.1.1. La matière première et ingrédients

La principale matière première pour la production du zoom-koom est le mil. Les ingrédients utilisés sont essentiellement le tamarin, la menthe, le gingembre et le sucre. Ils proviennent du marché de Zogona et des supermarchés environnants.

II.1.1.2. Les souches de *Lactobacillus fermentum*

Les souches de *Lactobacillus fermentum* ont été isolées d'échantillons de dolo et de pito vendus dans divers régions du Burkina faso et du Ghana. La préparation de l'inoculum s'est faite en deux étapes successives :

- **Sélection des souches**

La sélection des souches est basée sur trois (03) principaux critères : le pouvoir acidifiant en 06h de fermentation, l'activité antimicrobienne contre des indicateurs de germes pathogènes (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*), la capacité à produire des amylases et la capacité à produire des polysaccharides exocellulaires. Ainsi les souches de *Lactobacillus fermentum* SF6.2 et SF9.5 ont été retenues sur une liste de quarante-cinq (45) souches sélectionnées (Sawadogo-Lingani *et al.*, 2008) et conservées au laboratoire de microbiologie du DTA.

- **Repiquage des souches**

Les deux souches sélectionnées et conservées dans du glycérol à -20°C, ont été repiquées sur du milieu MRS Agar, incubées pendant 24h à 37°C. Les colonies isolées ont été repiquées dans du bouillon MRS (une boucle de culture d'une colonie bien isolée dans 10ml de bouillon MRS en tube), incubées pendant 24h à 37°C. 0,1ml de bouillon de culture de chaque tube initialement préparé, a étéensemencé à nouveau dans du bouillon MRS (10 ml) puis incubé pendant 16-18h à 37°C.

Pour chaque souche, les bouillons de culture obtenue après 16-18h d'incubation, sont réparties dans des cryotubes stériles (1ml/tube). Les tubes ont été centrifugés à 8000g pendant 5min. Le surnageant de chaque tube est éliminé et le culot (les cellules) du tube est conservé. A ce culot, on ajoute 1ml d'eau distillée stérile, après agitation au vortex on procède à une nouvelle centrifugation à 8000g pendant 5min. On élimine à nouveau le surnageant et on conserve le culot. On ajoute de nouveau 1ml d'eau distillée stérile au culot, puis après agitation, la suspension de cellules qui constitue l'inoculum ou ferment, est conservée au réfrigérateur à 4°C. La concentration en cellules viables de l'inoculum est déterminée par dénombrement sur le milieu MRS agar. L'inoculum est utilisé à un taux de 1% (V/V) (Sawadogo *et al.* 2008). Pour chaque souche, environ 100ml de ferment sont préparés par essai de production ; 100 ml de ferment mixte (50 ml de ferment SF6.2 + 50 ml de ferment SF9.5) sont utilisés pour ensemercer 10 L de zoom-koom.

II.2. Méthodes

II. 2.1. Méthode de production du zoom-koom et échantillonnage

II.2.1.1. Méthode de production du zoom-koom frais et de la farine instantanée de zoom-koom

La production du zoom-koom s'est faite en deux étapes :

- avec les transformatrices dans leurs sites de production durant deux (02) mois ;
- à l'atelier pilote du Département Technologie Alimentaire durant trois (03) mois.

Les procédés artisanaux de préparation du zoom-koom frais et de la farine instantanée de zoom-koom sont représentés par les figures 2 et 3 tels que pratiqués par les deux transformatrices.

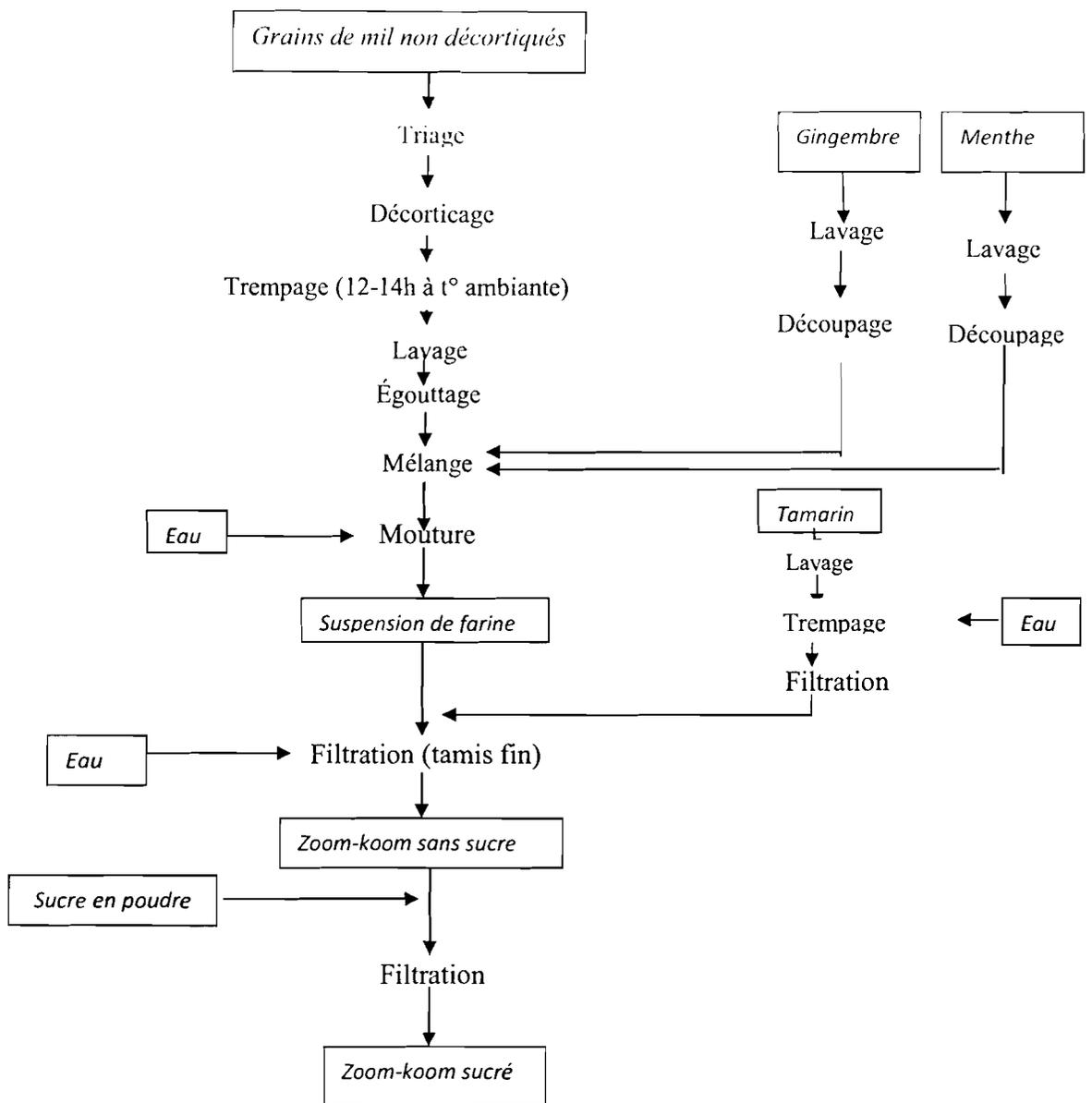


Figure 2 : diagramme de production du zoom-koom frais chez la transformatrice de Zogona (source : transformatrice de Zogona, 2014).

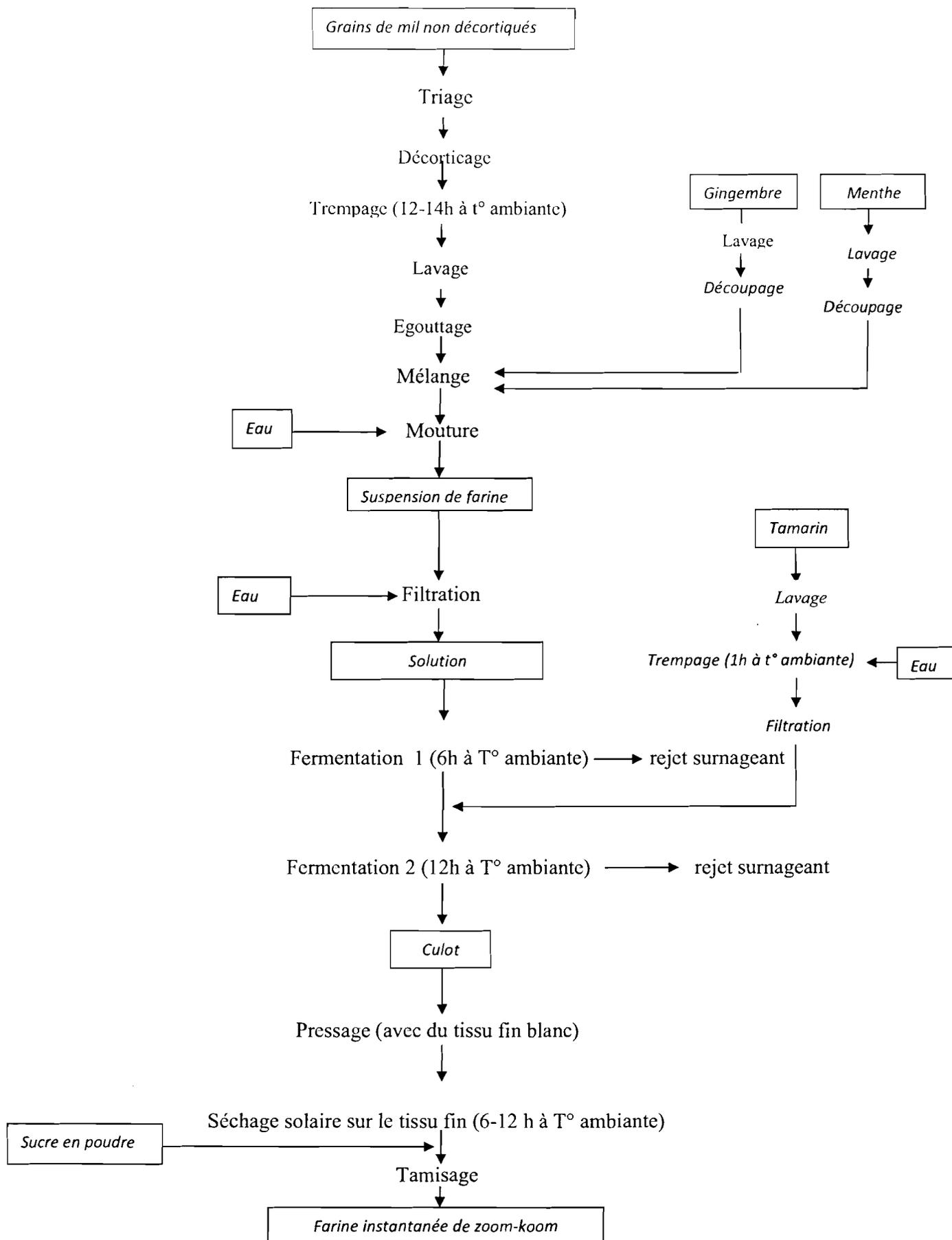


Figure 3 : diagramme de production de la farine instantanée de zoom-koom chez la transformatrice de Pissy (source : transformatrice de Pissy, 2014).

II.2.1.2. Echantillonnage

Dans le but d'évaluer la qualité nutritionnelle, sanitaire et organoleptique du zoom-koom produit chez les transformatrices ainsi que celui formulé à l'atelier pilote du DTA, des échantillons ont été prélevés et acheminés au laboratoire pour des analyses biochimiques, microbiologiques et sensorielles.

Les différentes étapes de prélèvement des échantillons ainsi que le nombre d'échantillons prélevés sont présentés dans le tableau I.

Tableau I : étapes de prélèvement et nombre d'échantillons prélevés

SITES DE PRODUCTION	ETAPES DE PRELEVEMENT	PARAMETRES A ANALYSER	NOMBRE D'ECHANTILLONS PRELEVES
Productrice de zoom-koom à Zogona	Produits finis	Flore totale, flore lactique, coliformes totaux et thermotolérants, les levures et moisissures, acidité et le pH	06
Productrice de farine de zoom-koom à Pissy	Produits finis	Flore totale, flore lactique, coliformes totaux et thermotolérants, les levures et moisissures, acidité et le pH	03
Atelier pilote du DTA	Matières premières, trempage, début et fin de fermentation, produits finis	Flore totale, flore lactique, coliformes totaux et thermotolérants, les levures et moisissures, acidité, le pH, teneur en protéines, teneur en lipides, teneur en sucres totaux et réducteurs, Humidité, degré Brix, teneur en cendres totaux et sels minéraux spécifiques (Ca, P, Mg et Fe)	70 (zoom-koom et farine de zoom-koom de fermentation naturelle et contrôlée)
TOTAL	-	-	79

II.2.2. Méthodes d'analyses biochimiques

a) Mesure du pH

Le pH des échantillons de zoom-koom prélevés a été mesuré à différentes étapes du trempage (0h ; 24h), de la fermentation (0h ; 24h) et sur les produits finis à l'aide d'un pH-mètre (H.I microprocessor pH meter, HANNA INSTRUMENT) préalablement calibré avec des solutions tampons pH 4 et pH7. La mesure est faite sur 10g ou 10ml d'échantillon homogénéisé dans 20 ml d'eau distillée.

b) Acidité titrable

La teneur en acidité titrable est déterminée par titrimétrie à la soude (0,1N). Pour cette détermination, il est pesé 5g ou 5ml d'échantillon de zoom-koom dans des tubes à centrifugation auxquels sont ajoutés 30ml d'éthanol. La solution est agitée sur un agitateur rotatif pendant 1h et centrifugée pendant 5min à 3500 tours/min.

Le surnageant est prélevé (20 ml) et titré avec le NaOH 0,1N en présence de la Phénolphthaléine comme indicateur.

Les résultats sont exprimés comme suit :

$$\text{Acidité (g d'acide lactique/100g)} = \frac{0,0135 \times V_{\text{NaOH}}}{P_e} \times 100$$

N : normalité du NaOH (0,1N)

V_{NaOH} : volume de NaOH utilisé lors du dosage

V_T : volume total de l'échantillon=30ml

V_P : volume en millilitre de la prise d'essai=20ml

P_e : prise d'essai

$PM_{\text{acide lactique}} = 90 \text{g.M}^{-1}$

$0,0135 = PM_{\text{acide lactique}} \times N \times (V_T/V_P)$

c) Température de fermentation

L'évolution de la température du produit est suivie durant la fermentation à l'aide d'un thermomètre de référence (TESTO 915-1).

d) Teneur en eau

La teneur en eau est déterminée par différence de pesée d'un échantillon avant et après passage à l'étuve selon la norme (NF V03-707, juillet 2000).

Pour cela, 5 g d'échantillon de zoom-koom (P_e) sont pesés dans une nacelle préalablement pesée (P_v) puis placés à l'étuve à 130°C pendant 2 h. Les nacelles contenant l'échantillon sont ensuite refroidies au dessiccateur puis pesées (P_f). Le pourcentage en masse d'eau et de matières volatiles est obtenu selon la formule suivante :

$$\%H = \left[\frac{P_e - (P_f - P_v)}{P_e} \right] \times 100$$

$\%H$: teneur en eau

P_e : prise d'essai

P_v : poids à vide des nacelles

P_f : poids final

e) Taux de cendres

Les cendres sont déterminées selon la norme française V03-760 (1981). Des creusets sont d'abord pesés à vide (P_v), puis pesés à nouveau avec 3 g d'échantillon de zoom-koom (P_e). Les creusets contenant les échantillons sont placés au four à 650°C pendant une nuit, refroidi au dessiccateur pendant 1h puis pesés de nouveau (P_f). Le taux de cendres par rapport à la matière sèche est calculé selon la formule suivante :

$$\%C = \frac{P_f - P_v}{P_e} \times 100$$

$\%C$: taux des cendres

P_e : prise d'essai

P_f : poids final (creuset + échantillon calciné)

P_v : poids à vide des creusets

Le taux des cendres par rapport à la matière sèche est exprimé par l'expression suivante :

$$\%C/MS = \left[(P_f - P_v) \times \frac{100}{P_e} \right] \times \frac{100}{100 - \%H}$$

MS : matière sèche

%H = Pourcentage en masse d'eau déterminée selon la norme NF V03-707, juillet 2000.

f) Taux de protéines

La teneur en protéines des échantillons est déterminée selon la norme française V03-050, Septembre 1970 (norme utilisée en laboratoire physico-chimique du DTA), par la méthode de Kjeldahl.

Mode opératoire : 0,5 g d'échantillon broyé (Pe) est mis dans un tube de minéralisation (matras Kjeldahl) où on ajoute une pastille de catalyseur Kjeltabs [3,5 g de sulfate de potassium (K_2SO_4) et 0,4 g de sulfate de cuivre ($CuSO_4$)], puis 10 ml d' H_2SO_4 concentré (0,1N). Les échantillons préparés sont minéralisés sur un bloc chauffant à température progressive (90, 120 ... 400°C) pendant trois (3) heures (décoloration totale de la solution). Le minéralisât obtenu est ensuite dilué avec 50 ml d'eau distillée environ. On effectue ensuite une distillation avec de la soude concentrée (10 N). Le distillat (150 ml) est recueilli dans un bécher contenant 5 ml d'indicateur coloré composé de vert de bromocrésol, de rouge de méthyle et d'acide borique. L'ensemble est titré avec 0,1 N d' H_2SO_4 jusqu'à virage de l'indicateur du vert au rose

La teneur en protéines par rapport à la matière sèche est déterminée en utilisant la formule suivante:

$$\% \frac{Protéines}{MS} = \left[6,25 \times 0,014 \times 0,1 \times (Ve - Vb) \times \frac{100}{Pe} \right] \times \frac{100}{100 - \%H}$$

MS = Matière sèche

Vb = Chute de la burette pour le blanc

Ve = Chute de la burette pour le distillat

Pe = Prise d'essai

0,1 = Titre acide sulfurique

0,014 = Poids molaire de l'azote $\times 10^{-3}$

%H = Pourcentage en masse d'eau selon la norme NF V03-707, juillet 2000.

g) Taux de lipides

Le taux de matières grasses des échantillons a été déterminé par extraction au Soxhlet selon la norme internationale (ISO-659, 1998). L'extraction est faite à chaud (à ébullition) par trempage suivi de rinçage de l'échantillon à l'hexane. La teneur en lipides est déterminée par pesée après évaporation de l'hexane par distillation.

Mode opératoire : 5 g de chaque échantillon de zoom-koom (Pc) sont mis dans une cartouche puis placée dans un Soxhlet. Environ 200 ml d'hexane sont mis dans un ballon de poids (Pv) connu et le tout adapté au soxhlet. L'extraction est réalisée à chaud (ébullition sur plaque chauffante) pendant 4 h. Le solvant est ensuite évaporé par distillation à l'évaporateur rotatif. Le distillat est ensuite séché à l'étuve pendant 1 h. Le ballon contenant les matières grasses est refroidi au dessiccateur puis pesé de nouveau et le poids final (Pf) noté.

Le pourcentage des lipides par rapport à la matière sèche a été calculé à l'aide de la formule ci-après :

$$\% \text{Lipides/MS} = \left[(Pf - Pv) \times \frac{100}{Pe} \right] \times \frac{100}{100 - \%H}$$

MS = Matière sèche

P_f = Poids final (ballon + matière grasse)

P_v = Poids à vide du ballon

P_e = Prise d'essai

%H = Pourcentage en masse d'eau préalablement déterminé.

h) Teneur en sucres totaux

La teneur en sucres totaux des échantillons a été déterminée par la méthode de dosage à l'orcinol sulfurique.

0,2g d'échantillon de zoom-koom a été pesé et dilué dans une fiole contenant 200ml d'eau distillée. Puis, 1ml de chaque échantillon a été prélevé en triple dans des tubes à essai. On y ajoute 2ml de la solution d'orcinol et 7ml de la solution d'acide sulfurique à 60%. Le tout est mis au bain marie pendant 20min. Une fois sortie du bain marie, les échantillons sont placés à l'obscurité pendant 45min puis à la température ambiante pendant 10min. On procède à la mesure de l'absorbance des échantillons à 510 nm.

A la suite de cette préparation, on prépare une solution étalon de D-glucose à 1mg/ml dans 08 tubes dont un tube témoin ne contenant pas de glucose. On ajoute dans chaque tube 9ml de réactif à l'orcinol et de l'eau distillée (0,2 à 1 ml). Après passage au bain marie pendant 20

min, les densités optiques des différents échantillons de glucose ont été déterminées à 510 nm. Ces valeurs ont permis de dresser une courbe d'étalonnage par laquelle on déduit la concentration des sucres totaux dans les échantillons de zoom-koom.

i) Teneur en sucres réducteurs

La teneur en sucres réducteurs des échantillons a été déterminée par la méthode de dosage au 3, 5-Dinitro Salicylate de Sodium (DNS).

0,2g d'échantillon de zoom-koom a été pesé et dilué dans une fiole contenant 200ml d'eau distillée. Puis 1ml de chaque échantillon a été prélevé en triple dans des tubes à essai. On y ajoute 2 de la solution de DNS. L'échantillon est ensuite mis au bain marie pendant 15 min. Une fois sortie du bain marie, les échantillons sont dilués avec 5ml d'eau distillée. On procède à la mesure de l'absorbance des échantillons à 540 nm.

A la suite de cette préparation, il faut préparer une solution étalon de D-glucose à 1mg/ml-solution de DNS dans 08 tubes dont un tube témoin ne contenant pas de glucose. On ajoute dans chaque tube 2ml de réactif de DNS et de l'eau distillée (0,2 à 1ml). Après passage au bain marie pendant 15 min, les densités optiques des différents échantillons de glucose ont été déterminées à 540nm. Ces valeurs ont permis de dresser une courbe d'étalonnage pour déduire la concentration des sucres totaux dans les échantillons de zoom-koom.

j) Teneur en oligo-éléments (Zn, Ca, Fe, P)

Les oligoéléments ont été déterminés par spectrophotométrie d'absorption atomique pour le Zinc, le Calcium et le Fer, et par la méthode colorimétrique à l'acide ascorbique pour le Phosphore, au laboratoire d'analyse des plantes et des sols du Bureau National des Sols (BUNASOL).

✚ Dosage du phosphore

• Principe

Après minéralisation de la matière organique avec un mélange d'acide perchlorique (HClO_4)-eau oxygénée (H_2O_2), le phosphore de l'échantillon, est sous forme d'orthophosphate (H_3PO_4), qui en milieu acide, se combine avec le molybdate pour donner un complexe phosphomolybdique $\text{H}_3\text{P}(\text{MO}_3\text{O}_{10})_4$. Ce complexe en présence d'acide ascorbique est réduit en bleu de molybdène qui permet un dosage colorimétrique selon la loi de Beer-Lambert (l'intensité de la coloration dépend de la teneur en phosphate).

- **Mode opératoire**

- ✓ **Minéralisation**

Dans un matras propre et sec, on introduit 1g d'échantillon, 4ml de H_2O_2 et 2ml de $HClO_4$. On procède à la minéralisation par chauffage graduel de 15-20 mn à 50°C, 70°C, 90°C, 100°C et 200°C sur les plaques chauffantes jusqu'à l'obtention d'une solution jaunâtre ou blanchâtre avec dégagement de fumée blanchâtre. Après refroidissement, le volume de minéralisation est complété à 100 ml avec de l'eau distillée.

- ✓ **Méthode de dosage**

Dans un tube à essai, on introduit :

-1ml de filtrat du produit de digestion,

-5ml d'eau distillée,

-4ml d'une solution composée de 10ml de H_2SO_4 (6N), 10ml de molybdate d'ammonium à 2,5%, 10ml d'acide ascorbique à 10%.

On laisse la coloration se développer pendant 30mn puis on effectue la lecture de l'absorbance à 820 nm au spectrophotomètre. La teneur en phosphore est déterminée à l'aide d'une courbe étalon réalisée à partir d'une solution mère de K_2HPO_4 à 20 mg/ml.

✚ **Dosage du fer, du calcium et du magnésium**

- **Principe**

Après la minéralisation par voie humide, les différents ions sont dosés par absorption atomique.

- **Mode opératoire**

Environ 1g d'échantillon sec est digéré dans un matras de 50ml avec 4ml d'une solution mixte composée de : acide perchlorique ($HClO_4$) 60% acide sulfurique concentré (H_2SO_4) (7/1 : V/V) et de 15 ml d'acide nitrique concentré (HNO_3). I.e chauffage est graduel jusqu'à 345°C. Après digestion complète, le minéralisât est refroidi, son volume est ramené à 50ml après filtration.

Pour ce qui concerne le dosage du calcium et du magnésium, à 0,2ml de filtrat, on ajoute 4,8 ml d'une solution aqueuse de lanthane (La_2O_3) à 1%. L'addition de lanthane permet d'éliminer les interférences de phosphore et de l'aluminium.

Quant au dosage du fer, la dilution se fait avec de l'eau distillée.

La lecture est faite au spectrophotomètre d'absorption atomique (Perkin-Elmer model 303) contre un blanc aux longueurs d'ondes suivantes :

-Ca: 422,7 nm;

-Mg: 285, 2 nm;

-Fe: 248 nm;

-Zn : 213,9 nm.

Les teneurs sont déterminées à partir d'une gamme étalon de chaque élément.

II. 2.3. Méthodes d'analyses microbiologiques

II.2.3.1. Préparation du diluant et des milieux de cultures

a)Le diluant

Le diluant est une solution physiologique qui permet de revivifier les souches bactériennes. Il a été préparé à partir de 9,5 g de poudre dissout dans 1 L d'eau distillée. La solution est homogénéisée et le pH ajusté à $7\pm 0,2$, puis répartie dans des tubes (9 ml) et dans des flacons (90ml). Les tubes et les flacons sont stérilisés à 121°C pendant 15 mn à l'autoclave. Les tubes et les flacons sont retirés et refroidis à la température ambiante avant utilisation.

b) Les milieux de cultures

- Le milieu de culture Plate Count Agar (PCA) est utilisé pour la numération de la flore aérobie mésophile totale ; il a été préparé selon la norme ISO 4833 (2003) : 23,5 g de PCA sont mis en suspension dans 1L d'eau distillée puis la suspension est chauffée pour dissoudre la gélose. Le pH est ajusté à $\text{pH}=7\pm 0,2$, et la solution est stérilisée à l'autoclave à 121°C pendant 15mn. Après autoclavage la solution est maintenue en surfusion dans un bain marie à $45\pm 2^\circ\text{C}$.

- La gélose Lactosée Biliée au cristal Violet et au Rouge neutre (VRBL) est utilisée pour le dénombrement des coliformes ; il a été préparé suivant la norme ISO 4832 (1992) : 39,5 g de VRB agar sont dilués dans 1L d'eau distillée stérile. La solution est homogénéisée et portée à ébullition, puis le pH ajusté à $7,4\pm 0,2$. Le milieu préparé est gardé dans un bain-marie ($45\pm 5^\circ\text{C}$).

- Le milieu Sabouraud (Sab) est utilisé pour le dénombrement des levures et moisissures. Il a été préparé suivant la norme ISO 7954, (1988) : 45 g de Sabouraud ont été

introduits dans un flacon contenant 1000 ml d'eau distillée puis chauffés au bain marie bouillant jusqu'à dissolution complète. Dès lors, le pH est ajusté à $5,5 \pm 0,2$ et le mélange stérilisé à 121°C pendant 15 minutes. Un antibiotique (gentamicine 160 mg par litre de solution) est ajouté à la solution maintenue en surfusion à 45°C dans un bain- marie.

- Le milieu Man, Rogosa et Sharp (MRS) est utilisé pour le dénombrement des bactéries lactiques. Il a été préparé suivant la norme ISO 15214 (1998) : 62 g de milieu déshydraté a été introduit dans un flacon contenant 1000 ml d'eau distillée puis chauffés au bain marie bouillant jusqu'à dissolution complète. Le pH est ensuite mesuré et ajusté à $6,2 \pm 0,2$, puis la solution est stérilisée à l'autoclave à 121°C pendant 15mn. Le milieu préparé est maintenu en surfusion dans un bain- marie à $45 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

II.2.3.2. Préparation de la suspension mère, des dilutions décimales et ensemencement

La préparation des échantillons, de la suspension mère et des dilutions décimales a été effectuée selon la norme internationale ISO 6887-1(1999). Les échantillons ont été analysés immédiatement après le prélèvement. 10 g d'échantillon sont pesés dans un sachet stomacher stérile dans lequel on ajoute 90ml d'eau peptonée stérile (diluant). L'ensemble est passé au stomacher pendant 2 minutes. A partir de cette suspension mère une série de dilutions décimales successives est réalisée : 1ml de solution est prélevé à l'aide d'une pipette et introduit dans un tube contenant 9 ml d'eau peptonée stérile à la température ambiante. 1ml est de nouveau prélevé de cette dernière solution et introduit dans le tube suivant contenant la même quantité d'eau peptonée. La dilution est ainsi faite jusqu'à la plus forte dilution désirée. La méthode de l'inoculation dans la masse a été utilisée pour l'ensemencement. Pour ce faire, 1ml de chaque dilution est introduit dans une boîte de Pétri stérile dans laquelle on ajoute le milieu de culture en surfusion à une température comprise entre 44 et 47°C . Ensuite on mélange le contenu de la boîte. Les boîtes sont laissées à solidifier sur une surface fraîche à la température ambiante avant d'être incubées à l'étuve. Toute la manipulation a été effectuée autour d'une flamme et sur une pailleuse préalablement bien nettoyée à l'alcool 90° afin d'éviter toute contamination.

a) Dénombrement de la flore aérobie mésophile

La numération de la flore aérobie mésophile a été effectuée selon la norme internationale ISO 4833 (2003). L'ensemencement a été fait dans la masse avec la gélose Plate Count Agar (PCA) et les boîtes ont été incubées à l'étuve à 30°C pendant $72 \text{ h} \pm 3 \text{ h}$. Après la période d'incubation les colonies ont été comptées.

Lors du comptage des colonies, les boîtes contenant entre 04 et 300 colonies sont retenues pour le calcul du nombre N de microorganismes. Le calcul est fait en utilisant les boîtes de deux dilutions successives à l'aide de la formule ci-dessous :

$$N = \frac{\sum c}{(n_1 + 0,1n_2) \times d}$$

N = Nombre de microorganismes par gramme ou par millilitre de produit, exprimé par un nombre compris entre 1,0 et 9,9 multiplié par 10^x (où "x" est la puissance appropriée de 10).

$\sum C$: Somme des colonies comptées sur les boîtes retenues des deux dilutions successives

n_1 : Nombre de boîtes retenues à la première dilution

n_2 : Nombre de boîtes retenues à la deuxième dilution

d : Première dilution retenue.

Si le nombre de colonies, au niveau de l'échantillon pour essai ou de la suspension mère, est compris entre 01 et 03, les résultats sont exprimés comme suit :

- moins de 3 $\mu\text{org/ml}$ (produits liquides)
- moins de $3 \times d^{-1} \mu\text{org/g}$ (autres produits), d étant la dilution de la suspension mère.

S'il n'ya aucune colonie au niveau de l'échantillon pour essai (produits liquides), le résultat est : moins de 1 $\mu\text{org/ml}$.

S'il n'ya aucune colonie sur les boîtes au niveau de la suspension mère (autres produits), le résultat est : moins de $1 \times d^{-1} \mu\text{org/g}$ (d : dilution de la suspension mère).

b) Dénombrement des bactéries lactiques

Le dénombrement des bactéries lactiques a été effectué suivant la norme ISO 15 214 (1998). L'ensemencement a été fait dans la masse et l'agar Man Rogosa et Sharp ou agar-MRS a été utilisé. L'incubation des boîtes a été faite à 37°C dans des jarres anaérobies (Biolab) hermétiquement fermées contenant des générateurs de CO₂ (anaérocults) et placées dans une étuve pendant 72-96heures. Les colonies ont été comptées après la période d'incubation.

La même formule que celle du calcul du nombre N donnée précédemment est utilisée pour déterminer le nombre de bactéries lactiques par gramme d'échantillon. Cependant, seules les boîtes contenant moins de 300 colonies pour 2 dilutions successives sont prises en compte.

Mais dans les cas où le nombre de colonies, au niveau de l'échantillon pour essai ou de la suspension mère, est compris entre 01 et 03, les résultats sont exprimés comme suit :

- moins de 3 bactéries lactiques / ml (produits liquides)
- moins de $3 \times d^{-1}$ bactéries lactiques / g (autres produits), d : dilution de la suspension mère.

S'il n'y a aucune colonie au niveau de l'échantillon pour essai (produits liquides), le résultat est : moins de 1 bactéries lactiques / ml.

S'il n'y a aucune colonie sur les boîtes au niveau de la suspension mère (autres produits), le résultat est : moins de $1 \times d^{-1}$ bactéries lactiques /g (d : dilution de la suspension mère).

c) Dénombrement des coliformes totaux et fécaux

Les coliformes totaux et thermotolérants ont été dénombrés respectivement selon la norme internationale ISO 4832 (2006) et la norme française NF V08-060 (2009). L'ensemencement a été fait sur la gélose biliée au cristal violet et au rouge neutre (agar VRBL) et les boîtes ont été incubées à 37°C pour les coliformes totaux et à 44°C pour les coliformes thermotolérants, à l'étuve pendant 24 h \pm 2 h. Les colonies caractéristiques ont été comptées après la période d'incubation.

Pour le calcul du nombre N de microorganismes par gramme ou par millilitre d'échantillon, la même formule que pour la flore aérobie a été utilisée. Cependant les boîtes contenant entre 04 et 150 colonies caractéristiques au niveau de 2 dilutions successives ont été retenues.

Dans les cas où le nombre de colonies, au niveau de l'échantillon pour essai ou de la suspension mère, est compris entre 01 et 03, les résultats sont exprimés comme suit :

- moins de 3 coliformes / ml (produits liquides)
- moins de $3 \times d^{-1}$ coliformes /g (autres produits), d : dilution de la suspension mère.

S'il n'ya aucune colonie au niveau de l'échantillon pour essai (produits liquides), le résultat est : moins de 1 coliformes / ml.

S'il n'ya aucune colonie sur les boîtes au niveau de la suspension mère (autres produits), le résultat est : moins de $1 \times d^{-1}$ coliformes /g (d : dilution de la suspension mère).

d) Dénombrement des levures et moisissures

Le dénombrement des levures et moisissures a été fait selon la norme internationale ISO 7954 (1988). L'ensemencement a été fait dans la masse avec la gélose glucosée à l'extrait de levure et au chloramphénicol (agar YGC). Les boîtes ont été incubées à 25°C à l'étuve pendant 3, 4 ou 5 jours et les colonies ont été comptées.

La même formule que celle du calcul du nombre N donnée plus haut est utilisée pour déterminer le nombre de microorganismes par gramme d'échantillon, mais en considérant les boîtes contenant entre 04 et 150 colonies pour deux dilutions successives.

Dans les cas où le nombre de colonies, au niveau de l'échantillon pour essai ou de la suspension mère, est compris entre 01 et 03, les résultats sont exprimés comme suit :

- moins de 3 levures et moisissures / ml (produits liquides)
- moins de $3 \times d^{-1}$ levures et moisissures / g (autres produits), d : dilution de la suspension mère.

S'il n'ya aucune colonie au niveau de l'échantillon pour essai (produits liquides), le résultat est : moins de 1 levures et moisissures / ml.

S'il n'ya aucune colonie sur les boîtes au niveau de la suspension mère (autres produits), le résultat est : moins de $1 \times d^{-1}$ levures et moisissures / g (d : dilution de la suspension mère).

II.3. 4. Méthodes d'analyses sensorielles

La méthode d'analyse sensorielle consiste essentiellement au choix du panel, au codage des échantillons, à la préparation des échantillons et à la réalisation proprement dite de l'épreuve. La méthode est commune aux trois types d'épreuves ici mises en évidence : le test de classement, le test de différence/témoin et le profil sensoriel du goût.

II.2.4.1. Choix du panel de dégustation

Le choix du panel est fonction du type d'épreuve à réaliser :

- un panel de 40 dégustateurs (a été retenu pour la réalisation de l'épreuve du test de classement. Il était composé d'hommes et de femmes de plus de 15 ans.
- Le test de différence –témoin a nécessité un panel de 24 dégustateurs tout sexe et âge confondus.
- le panel qui a servi à la réalisation de l'épreuve de profil sensoriel du goût était tout à fait spécifique. Il était composé de six (06) dégustateurs, tous des chercheurs du DTA. C'est un panel ayant une bonne expérience en analyse sensorielle des aliments.

II.2.4.2. Codage des échantillons

Les échantillons ont été codés à l'aide de codes à trois chiffres. Ces codes ont été choisis à l'aide de tables de répartition au hasard. Les codes affectés aux échantillons ont été combinés entre eux par type d'épreuve.

II.2.4.3. Préparation des échantillons

Les échantillons qui ont fait l'objet des différentes épreuves sensorielles ont été produits dans les mêmes conditions et préparés suivant la même méthode afin de limiter les modifications au sein des produits. Ils sont mis dans des tasses en verre et placés sur des plateaux par combinaison.

II.2.4.4. Conduite des tests de dégustation

Quatre (04) tests de dégustations ont été réalisés. Chaque dégustateur a reçu une combinaison d'échantillons, une fiche d'évaluation et un verre d'eau pour rincer la bouche entre deux échantillons. Les dégustateurs ont été invités à apprécier les échantillons sur la fiche d'évaluation. Les fiches dûment remplies par les dégustateurs ont été retirées à la fin de l'évaluation et les données ont été organisées puis traitées. Une formation minimale est faite à l'intention des dégustateurs : principe de notation ou d'appréciation, remplissage de la fiche de notation, nature de l'échantillon, les paramètres à évaluer. Notons que les fiches de dégustations sont conçues en fonction des épreuves sensorielles à réaliser : test de classement, test de différence/témoin et le test de profil sensoriel du goût.

II.3. Traitements des données

Les résultats biochimiques (taux d'humidité, taux de cendres, de lipides, de protéines et de glucides) ont été exprimés en valeurs moyennes pour deux mesures \pm l'écart type.

L'analyse des données des tests de dégustation a été faite à l'aide des logiciels SPSS, EXCEL et des tests statistiques du chi deux à l'aide de tableaux de contingence suivant chaque épreuve. Les descripteurs ont été convertis en notation numérique. Les chiffres 1, 2, 3, 4, et 5 correspondent respectivement à pas de différence, légèrement différent, différent, très différent extrêmement différent.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III.1.Procédés contrôlés de production du zoom-koom frais et de la farine de zoom-koom instantanée avec les cultures de *Lactobacillus fermentum*

III.1.1.Procédé contrôlé de production du zoom-koom frais

Après plusieurs essais de formulation et de production suivis d'évaluation sommaire des principales caractéristiques organoleptiques (couleur, aspect/texteure, goût), huit (08) formulations améliorées dont quatre (04) de zoom-koom frais (photos 1et 2) et quatre (04) de farine instantanée ont été mises au point sur la base des données du suivi des procédés de production chez les deux transformatrices. Ces formulations sont présentées dans les tableaux II et III. Le zoom-koom frais naturel se produit en huit (08) étapes consécutives (figure 4) qui sont : le triage, le décorticage, le trempage des grains, lavage, égouttage des grains, le mélange, la mouture et la filtration. A la différence du zoom-koom frais naturel, le zoom-koom frais de fermentation contrôlée comporte une étape de fermentation de la pâte obtenue après mouture des grains de mil, après ajout de l'inoculum de *Lactobacillus fermentum* SF6.2 et SF9.5 à 1% (v/v).

Tableau II : Formulations de zoom-koom frais au D'IA

Ingrédients	Formulations			
	ZKF1	ZKF2	ZKF3	ZKF4
Mil (g)	900	900	900	900
Maïs (g)	-	-	-	-
Pulpe de tamarin (g)	-	-	600	-
Pulpe de baobab (g)	-	500	-	600
Lait en poudre (g)	-	400	-	-
Gingembre-menthe(g)	800	800	800	800
Jus de citron (ml)	500	-	-	-
Sucre (g)	1000	1000	1000	1000

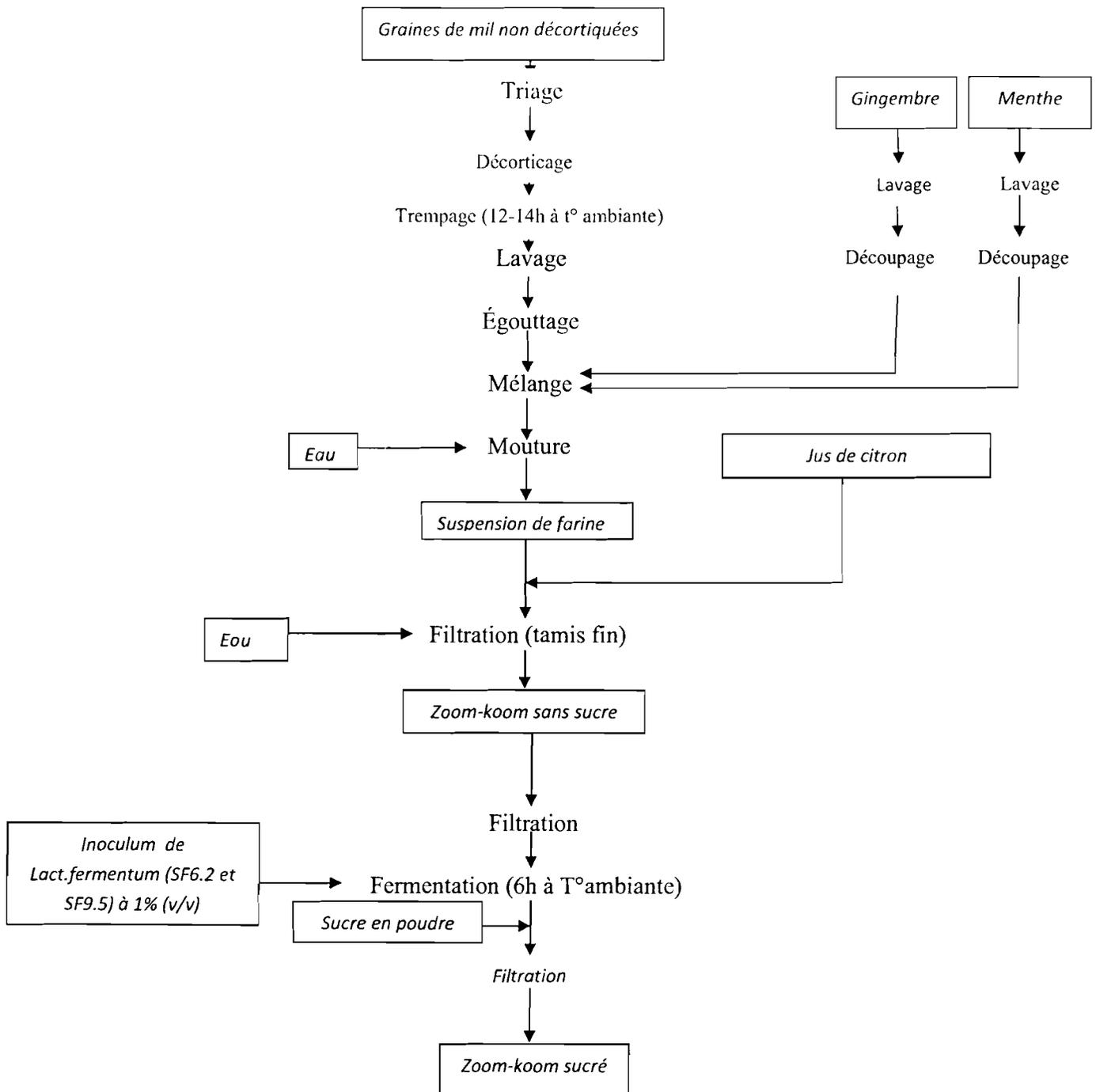


Figure 4 : diagramme de production du zoom-koom frais de fermentation contrôlée (source : DTA ,2014)



Photo 3 : zoom-koom frais au lait



Photo 4 : zoom-koom frais au citron

III.1.2. Procédé contrôlé de production de la farine instantanée de zoom-koom avec les cultures de *Lactobacillus fermentum* SF 6.2 et SF9.5

La farine instantanée de zoom-koom de fermentation naturelle se produit en deux (02) jours. C'est un processus composé de douze (12) étapes qui sont : le triage des grains, le décorticage, le trempage, le lavage, l'égouttage, le mélange, la mouture, la première fermentation, la seconde fermentation, le tamisage, le pressage et le séchage solaire de la farine fine (figure 5). A la différence du procédé naturel, le procédé contrôlé avec les souches *Lactobacillus fermentum* dure 24h. Il comporte une étape de fermentation contrôlée avec les souches de *Lactobacillus fermentum* (S.F9.5 et S.F6.2) qui dure 6h de temps (figure 5).

Tableau III : formulations de farines de zoom-koom instantanée au DTA

Echantillons	FIZK1	FIZK 2	FIZK 3	FIZK4
Mil (g)	2000	2000	2000	2000
Maïs (g)	-	150	300	-
Pulpe de baobab(g)	-	300	-	-
Pulpe de tamarin (g)	-	-	600	-
Gingembre-menthe (g)	760	760	760	760
Lait en poudre(g)	150	-	-	-
Sucre (g)	600	600	600	600

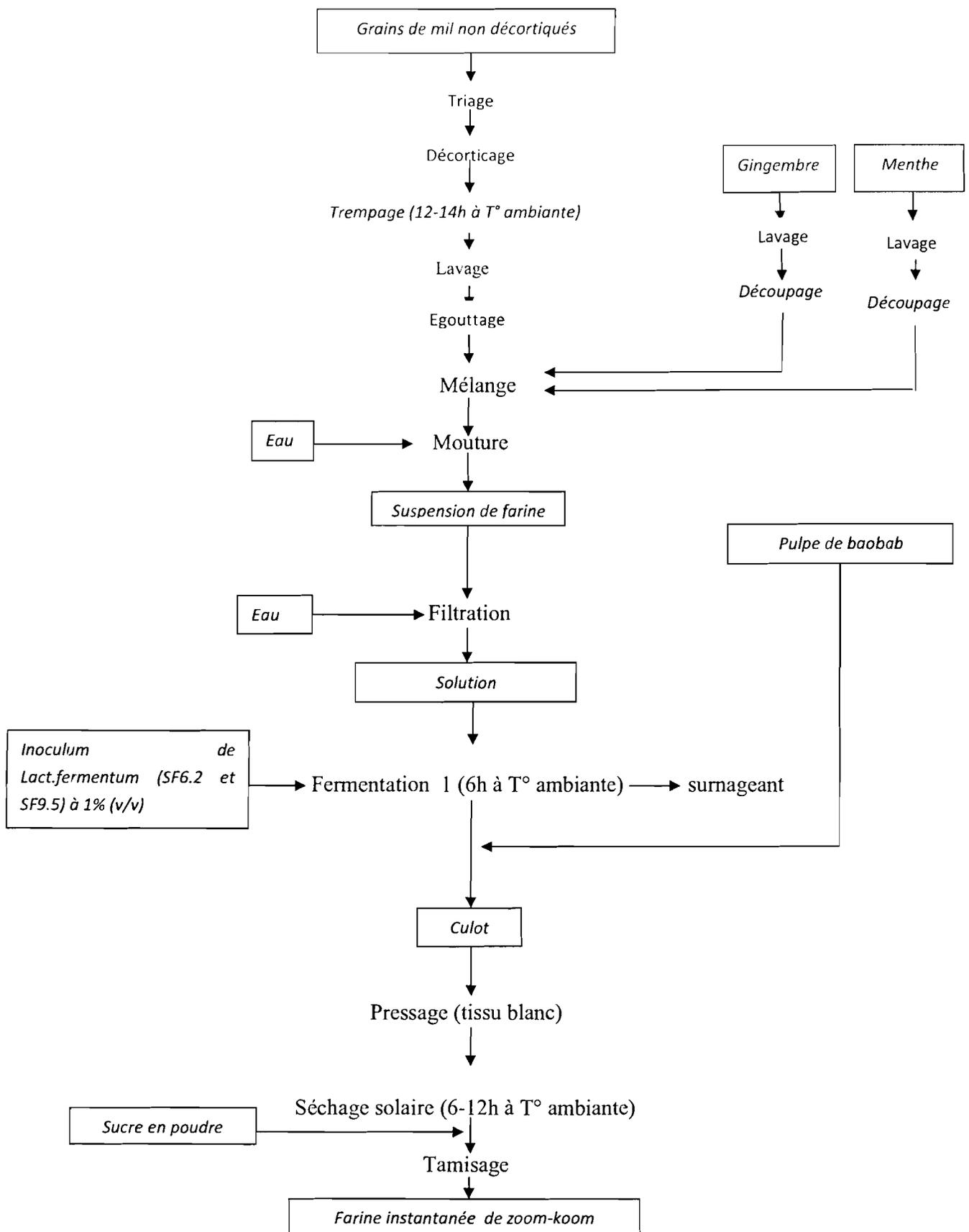


Figure 5 : diagramme de préparation de la farine de zoom-koom instantanée de fermentation contrôlée (source : DTA, 2014)



Photo 5: farines instantanées de zoom-koom

III.2. Qualité nutritionnelle du zoom-koom frais et de la farine instantanée de zoom-koom obtenus par les procédés naturel et contrôlé

Afin de déterminer la qualité nutritionnelle du zoom-koom, quelques paramètres biochimiques ont été mesurés sur des échantillons de zoom-koom frais naturel ZKF(N) et contrôlé ZKF(S). Ces mêmes paramètres ont été déterminés sur les échantillons de farine instantanée de zoom-koom naturel FIZK(N) et contrôlé FIZK(S). Les résultats sont reportés dans les tableaux IV et V :

Tableau IV : teneur en différents macromolécules du zoom-koom

Echantillons Constituants	ZKF(N)	ZKF(S)	FIZK(N)	FIZK(S)
Eau (%)	85,0±0,00	83,5±0,71	5,71±0,20	6,97±0,36
Protéines (%) / m.s	25,83±0,00	28,41±1,73	4,57±0,01	3,76±0,02
Lipides (%) / m.s	6,48±0,10	5,04±0,69	2,62±0,54	4,62±0,54
Sucres totaux (%) / m.s	65,74±3,06	64,83± 11,24	92,63±17,29	91,43±4,70
Sucres réducteurs (%) / sucres totaux	32,1±0,14	36,9±2,26	29,88± 6,12	47,43± 13,77
(%) cendres / m.s	1,95±0,21	1,72±0,14	0,18± 0,04	0,19± 0,01
° Brix	15,0±0,0	16,5±0,71	–	–

Tableau V : composition en oligoéléments du zoom-koom et de la farine de zoom-koom

Echantillons Eléments minéraux	ZKF(N)	ZKF(S)	FIZK(N)	FIZK(S)
Calcium (g/100gms)	0,392±0,00	0,435±0,00	0,218±0,00	0,218±0,00
Magnésium (g/100gms)	0,059±0,00	0,065±0,00	0,043±0,00	0,039±0,00
Fer (mg/100gms)	2,37±0,00	2,50±0,00	3,00±0,00	3,08±0,00
Phosphore (g/100gms)	0,012±0,00	0,010±0,00	0,010±0,00	0,011±0,00

Les teneurs en eau des échantillons de zoom-koom frais naturel ZKF(N) et contrôlé ZKF(S) sont respectivement de 85% et 83,5%. Le taux d'humidité des farines « instantanée » de zoom-koom est respectivement de 5,71% pour la farine de zoom-koom naturel FIZK(N) et 6,97% pour la farine de zoom-koom contrôlé FIZK(S). Le procédé de fabrication de la farine instantanée comporte des étapes d'élimination d'eau comme le pressage et le séchage solaire.

Les teneurs en protéines des échantillons de zoom-koom sont de 25,83% m.s pour les échantillons de zoom-koom frais naturels ZKF(N) et de 28,41% m.s pour les échantillons de zoom-koom frais de fermentation contrôlée ZKF(S); les taux de protéines des échantillons de farine instantanée sont de 4,57% m.s pour la farine instantanée de zoom-koom de fermentation naturelle FIZK(N) et de 3,76% m.s pour la farine instantanée de fermentation contrôlée FIZK(S). De ces résultats, il ressort que le zoom-koom frais contient plus de protéine en matière sèche que la farine instantanée de zoom-koom. Le zoom-koom frais de fermentation contrôlée est légèrement plus riche en protéines que celui de fermentation naturelle. Par contre on observe que la farine de fermentation naturelle est plus riche en protéines que celle de fermentation contrôlée. Etant donné que les deux formulations naturelle et contrôlée de zoom-koom frais ont été produites dans les mêmes conditions et avec des ingrédients similaires, l'hypothèse la plus probable serait que la biomasse cellulaire constituée des souches de *Lactobacillus fermentum* a permis d'accroître la teneur en protéines supplémentaires dans la boisson de fermentation contrôlée. Pour ce qui est de la

farine de zoom-koom, cette différence peut être liée au procédé technologique du produit (élimination du surnageant, pressage mécanique) ayant entraîné une forte élimination de protéines solubles.

Les teneurs en lipides des échantillons de zoom-koom sont de 6,48% m.s pour la boisson de fermentation naturelle, 5,04% m.s pour la boisson de fermentation contrôlée, 2,62% m.s pour la farine naturelle et 4,62% m.s pour la farine contrôlée. Les résultats montrent que le zoom-koom frais contient plus de lipide que la farine instantanée de zoom-koom. De plus, le zoom-koom frais naturel est légèrement plus riche en lipide que le zoom-koom frais de fermentation contrôlée. Par contre, la farine de zoom-koom de fermentation contrôlée contient plus de lipides que la farine de zoom-koom de fermentation naturelle. Ces observations sont probablement liées au procédé technologique du produit. En effet, il faut noter que le procédé technologique du zoom-koom notamment celui de la farine de zoom-koom comporte une étape de décorticage du grain de mil. Pendant le décorticage, le germe ainsi que l'enveloppe du grain riche en lipides sont éliminés. La farine de zoom-koom quant à elle comporte en plus une étape de pressage (avant le séchage de la pâte pressée) ou une grande partie des composants biochimiques comme les lipides pourraient être éliminés.

Les teneurs en sucres totaux sont de 65,74% m.s et 64,83% m.s respectivement pour le zoom-koom frais de fermentation naturelle et celui de fermentation contrôlée ; 92,63% m.s et 91,43% m.s respectivement pour la farine de zoom-koom de fermentation naturelle et celle de fermentation contrôlée. Pour les sucres réducteurs, les teneurs sont de 32,1% m.s et 36,9% m.s respectivement pour le zoom-koom frais naturel et le zoom-koom frais contrôlé, puis 29,88% et 47,43% m.s respectivement pour la farine de zoom-koom naturelle et pour la farine de zoom-koom contrôlée. Il ressort de ces données que les échantillons (zoom-koom frais, farine) de fermentation contrôlée contiennent moins de sucres totaux que ceux de fermentation naturelle. En revanche, les échantillons (zoom-koom frais, farine) de fermentation contrôlée contiennent plus de sucres réducteurs que ceux de fermentation naturelle. Ceci est lié au fait que les glucides représentent la première et principale source d'énergie et de carbone lors de la fermentation en générale et la fermentation lactique en particulier (Djossou, 2001 ; Savadogo, 2004). Lors de la fermentation lactique, il y a diminution de la concentration en amidon, des sucres solubles et oligosaccharides non digestibles (Tou, 2002). Par exemple pour le gowé (boisson fermentée à base de sorgho ou de maïs), Madode (2005) a observé que la concentration en sucres fermentescibles pouvait passer de 15,6% en fin de saccharification à 19,4% en 08 heures de fermentation

indépendamment du type de starter. Après 12 heures, elle peut atteindre 21,7% contre 10,4% en 24 heures de fermentation naturelle sans apport exogène de ferment. Les glucides constituent la plus importante source d'énergie de l'organisme.

La teneur en cendres sont de l'ordre de 1,72% m.s et 1,95% m.s pour le zoom-koom frais contrôlé et frais naturel ; les valeurs sont plus basses pour la farine instantanée de zoom-koom, 0,18% m.s pour la farine de zoom-koom naturel et pour la farine de zoom-koom contrôlé (0,19% m.s). Le zoom-koom frais (naturel et contrôlé) contient plus de sels minéraux que la farine de zoom-koom. Les cendres ou minéraux totaux sont constitués entre autres de Ca, de P, de Fe et de Mg (Tableau V). Les teneurs en Ca, Fe, Mg des formulations de zoom-koom sont présentées dans le tableau V. En dehors du phosphore, pour lequel on note une valeur similaire (0,012% m.s) pour tous les échantillons, les échantillons de zoom-koom frais de fermentation contrôlée contiennent plus de Ca, de Fe et de Mg que les échantillons de farine instantanée.

Les éléments minéraux comme le calcium, le magnésium, le fer et le phosphore sont des cofacteurs présents dans les chaînes polypeptidiques des protéines. Lors du catabolisme enzymatique des protéines par les bactéries lactiques en acides aminés simples digestibles, il s'en suit une libération importante de cofacteurs dans le milieu extérieur qui entraîne une forte présence de ces éléments minéraux dans le zoom-koom (Tou, 2002).

Il faut signaler que les oligo-éléments jouent un rôle très important dans l'alimentation humaine en général et des enfants en particulier. Ils participent à la formation et à la solidification des os chez l'enfant (Ca et P), à la formation du sang (Fe et Mg) et surtout à lutter contre les anémies fréquents chez les enfants en bas âges et les femmes en période de grossesse.

En somme, il ressort de ces observations que le zoom-koom et la farine de zoom-koom contiennent des nutriments importants pour l'organisme. Ces nutriments composés de macromolécules (protéines, lipides et glucides) et d'oligoéléments (Ca, P, Fe et Mg) peuvent intervenir soit par apport d'énergie à l'organisme soit pour aider à réduire les anémies et la malnutrition.

III.3. Qualité sanitaire du zoom-koom frais et de la farine instantanée de zoom-koom obtenus par les procédés naturel et contrôlé

Afin que l'analyse soit complète, (échantillons productrices-échantillons de laboratoire) de zoom-koom frais et de farine instantanée de zoom-koom, des témoins de chaque formulation

retenue ont été élaborés. Quelques échantillons (tableau X) ont été prélevés à partir de ces formulations et analysés aux laboratoires du DTA.

a) qualité sanitaire du zoom-koom des unités artisanales

Les résultats sont consignés dans les tableaux VI et VII. La flore totale des échantillons de zoom-koom frais varie entre $3,0 \cdot 10^6$ ufc/ml à $7,2 \cdot 10^7$ ufc/ml. Les coliformes totaux varient entre moins de 10 ufc/ml à $1,0 \cdot 10^5$ ufc/ml. Les thermotolérants varient entre moins de 10 ufc/ml à $5,4 \cdot 10^4$ ufc/ml. La flore lactique varie entre moins de 10 ufc/ml et $1,0 \cdot 10^7$ ufc/ml. Les levures et moisissures varient entre $8,2 \cdot 10^3$ ufc/ml et $2,3 \cdot 10^5$ ufc/ml (Tableaux VI et VII). Le pH à 25°C varie entre 3,37 et 4,08, pour une acidité titrable variant entre 0,57 et 0,91 g d'acide lactique /100 g de produit (tableaux VI et VII).

Dans la littérature scientifique, très peu de travaux ont été faits sur le zoom-koom. Il n'existe pratiquement pas de normes spécifiques à ce produit local. Le zoom-koom étant une boisson, ces valeurs peuvent être comparées à des normes de qualité existantes sur les boissons. Il n'y a pas toujours une relation étroite entre une valeur élevée de la flore totale et la présence de microorganismes pathogènes (Ouattara, 2010). Cependant, on considère en générale en guise d'indice de qualité sanitaire, qu'il n'y a de risque pour la santé du consommateur que si la flore totale est supérieure à 10^5 ufc/ml ou g de produit (Ouattara, 2010). En principe, une flore aérobie totale dépassant 10^6 à 10^8 ufc/ml ou g de produit provoque une détérioration du produit (indice de qualité marchande) (Ouattara, 2010). Pour ce qui est des échantillons ZKF1 et 2 (tableau VI) qui sont issus d'une même production, prélevés à différentes dates (0h, 72h et 7 jours), on observe une réduction significative de la flore totale comme des coliformes totaux et thermotolérants de l'ordre de 60% (flore totale), 88% (coliformes totaux) et 98% (coliformes thermotolérants) après 7 jours de conservation au réfrigérateur à 7°C. Cela est dû probablement à la présence de bactéries lactiques dont la flore a évolué jusqu'à 10^4 ufc/ml. Sept (7) jours après production, on observe qu'il n'y a pratiquement plus de coliformes totaux et thermotolérants dans le produit. C'est dire que la fermentation du produit se poursuivait durant sa conservation au réfrigérateur. Elle a entraîné une élimination progressive des germes pathogènes présents dans le zoom-koom frais. Cette même observation est faite sur les échantillons ZKF 4 et 5 qui sont issus d'une même production. L'échantillon ZKF 6 est tiré de la troisième production. De tous ces résultats, il ressort que l'acidification progressive du zoom-koom favorise l'élimination naturelle des germes pathogènes du produit de sorte à obtenir après quelques jours de production, une boisson plus saine à partir d'un produit de base très contaminé.

La flore totale des échantillons de farine instantanée de zoom-koom varie entre $6,1.10^5$ ufc/g et $5,3.10^6$ ufc/g. Les coliformes totaux varient entre moins de 10 ufc/g et $2,2.10^6$ ufc/g. Le nombre de coliformes thermotolérants varient entre moins de 10 ufc/g et $1,1.10^6$ ufc/g. La flore lactique varie entre $8,1.10^6$ ufc/g et $1,1.10^6$ ufc/g. Les levures et moisissures varient entre $4,6.10^2$ ufc/g et $5,9.10^4$ ufc/g. Le pH varie entre 2,96 et 3,34. Pour une acidité titrable de 0,66 et 1,47 g/100g de produit (Tableau VI).

L'échantillon FIZK 1 de farines de zoom-koom de la transformatrice de Pissy représente l'échantillon témoin n'ayant pas subi tout le processus de la double fermentation qui permet d'obtenir la farine instantanée de zoom-koom. En témoigne la forte présence des germes de contamination comme les coliformes totaux et thermotolérants ($2,2.10^6$ ufc/g et $1,1.10^6$ ufc/g). Par contre les échantillons 2 et 3 de farines instantanées de zoom-koom ont subi les deux étapes de fermentation naturelle pour donner la farine instantanée de zoom-koom. A la fin, ces échantillons ont été séchés au soleil et ensachés. On obtient des farines de zoom-koom exemptes de coliformes. Cela prouve que l'acidification observée au cours de la fermentation permet véritablement d'éliminer les pathogènes et d'obtenir un produit de meilleure qualité sanitaire. .

b) Qualité sanitaire des formulations de zoom-koom produites à l'atelier pilote du DTA

Les résultats sont consignés dans les tableaux VIII et IX. A l'issue des suivis dans les unités artisanales chez les deux transformatrices, des essais de production de zoom-koom avec l'appui de ces transformatrices ont été réalisés au DTA. L'objectif étant de retenir la meilleure formulation de chaque type de zoom-koom c'est-à-dire la farine instantanée de zoom-koom (tableau VIII) et le zoom-koom frais (tableau IX) pour ensuite les reproduire avec les souches de *Lactobacillus fermentum* SF6.2 et SF9.5.

La flore totale des formulations de farine instantanée de zoom-koom varie entre $3,9.10^7$ ufc/g et $8,9.10^8$ ufc/g, et la flore lactique entre $1,8.10^7$ ufc/g et $3,1.10^7$ ufc/g. Quant aux coliformes totaux, leur charge varie entre moins de 10 ufc/g et $4,7.10^4$ ufc/g. Les coliformes thermotolérants varient entre moins de 10 ufc/g et $1,5.10^4$ ufc/g. Les levures sont de $2,0.10^5$ ufc/g, et les moisissures de moins de 10 ufc/g à et $2,5.10^3$ ufc/g. Le pH varie de 5,11 à 5,70 pour une acidité titrable variant entre 0,81 et 1,21g/ 100 g de produit (Tableau VIII).

Lorsque l'on compare, la flore totale, la flore lactique, les coliformes totaux et thermotolérants ainsi que les levures et moisissures, de ces quatre échantillons, l'échantillon 2 (FIZK2) est celui qui présente le meilleur indice de qualité sanitaire avec une absence totale de coliformes totaux et thermotolérants ainsi que de moisissures ; cet échantillon est la farine de zoom-koom instantanée avec la pulpe de baobab.

Pour ce qui est des quatre formulations de zoom-koom frais, la flore totale varie entre $1,5 \cdot 10^7$ ufc/ml et $3,3 \cdot 10^8$ ufc/ml. La flore lactique varie entre $9,0 \cdot 10^6$ et $1,7 \cdot 10^8$ ufc/ml. Les coliformes totaux varient entre $2,0 \cdot 10^2$ et $5,2 \cdot 10^3$ ufc/ml. Les coliformes thermotolérants varient entre moins de 10 ufc/ml et $2,3 \cdot 10^3$ ufc/ml. Les levures varient entre moins de 10 ufc/ml et $3,0 \cdot 10^3$ ufc/ml. Les moisissures représentent moins de 10 ufc/ml. Le pH varie entre 5,02 et 5,13. L'acidité varie entre 1,21 et 1,89g d'acide lactique /100 g de produit (Tableau IX).

En comparant ces quatre formulations de zoom-koom frais, l'échantillon 1 (ZKF1) est celui qui présente le meilleur indice de qualité sanitaire avec une absence totale de coliformes thermotolérants et de moisissures. Il s'agit du zoom-koom frais au citron.

c) Evolution de la qualité sanitaire des échantillons au cours de la fermentation naturelles et ceux de fermentation contrôlées

Les résultats sont présentés dans le tableau X. En examinant le niveau de contamination des matières premières et ingrédients utilisés (mil, maïs, pulpe de tamarin, pulpe de baobab, menthe, gingembre et sucre), il ressort que le gingembre ($3,3 \cdot 10^8$ ufc/g) et la menthe ($2,5 \cdot 10^8$ ufc/g) sont les deux premiers pourvoyeurs de germes totaux dans le zoom-koom frais et la farine instantanée de zoom-koom. Ils contiennent respectivement $3,3 \cdot 10^8$ ufc/g et $2,5 \cdot 10^8$ ufc/g. Ils sont également les plus importantes sources de bactéries lactiques avec respectivement $5,7 \cdot 10^3$ ufc/g et $5,5 \cdot 10^4$ ufc/g. Le mil ne vient qu'en troisième place avec $2,9 \cdot 10^3$ ufc/g. Ce sont ces ingrédients qui apportent le plus de germes de contamination dans le zoom-koom en témoigne leurs charges en coliformes totaux : $2,9 \cdot 10^6$ ufc/g pour le gingembre et $1,5 \cdot 10^6$ ufc/g pour la menthe.

Après 24h de trempage dans l'eau, les échantillons de mil reprennent le dessus avec une flore totale qui atteint $1,2 \cdot 10^9$ ufc/g. Le trempage des céréales est toujours accompagné d'une fermentation lactique, en témoigne la baisse du pH de 6,22 à 4,29) et l'augmentation de l'acidité titrable (0,54 g à 1,21g d'acide lactique/100ml) ; ainsi que le développement des

bactéries lactiques dont la charge est passée de $3,5 \cdot 10^1$ ufc/g (début de trempage ou $t=0$) à $8,7 \cdot 10^7$ ufc/g en fin de trempage ou $t=24$ h. On constate pendant la même période une diminution progressive du nombre de coliformes totaux ($6,0 \cdot 10^2$ ufc/g à moins de 10 ufc/g) et thermotolérants ($2,10 \cdot 10^2$ ufc/g à moins de 10 ufc/g) du début en fin de trempage. Ce phénomène est lié à l'acidification du milieu provoqué par le développement des bactéries lactiques. Les grains de céréales et de légumineuses sont protégés par des enveloppes plus ou moins rigides et imperméables. Le trempage est souvent utilisé comme prétraitement des grains, afin de faciliter leur transformation en permettant une meilleure élimination de ces enveloppes et un attendrissement des grains (Lestienne, 2004). Au cours du trempage, des transferts de matière ont lieu entre le grain et l'eau de trempage : une partie des minéraux diffuse dans l'eau de trempage.

La flore totale des échantillons de zoom-koom frais, varie entre $1,0 \cdot 10^6$ ufc/ml et $1,0 \cdot 10^8$ ufc/ml (tableau X). La flore lactique varie de $9,5 \cdot 10^5$ ufc/ml à $1,5 \cdot 10^8$ ufc/ml. Les coliformes totaux varient entre $1,5 \cdot 10^2$ ufc/ml et $4,9 \cdot 10^4$ ufc/ml. Les coliformes thermotolérants varient entre $9,0 \cdot 10^1$ ufc/ml et $4,9 \cdot 10^4$ ufc/ml. Les levures ont donné $7,6 \cdot 10^5$ ufc/ml. Les moisissures varient entre $4,0 \cdot 10^1$ ufc/ml et $1,3 \cdot 10^4$ ufc/ml. Le pH varie entre 3,69 et 5,39. L'acidité varie entre 0,71 et 1,51 g d'acide lactique /100 g de produit. En comparant les échantillons de zoom-koom frais naturel et contrôlé, il ressort que la fermentation naturelle a permis de réduire le nombre de coliformes totaux de 76,56% en 6 h contre 70% pour les coliformes thermotolérants et 82,14% pour les moisissures. Pour ce qui est de la fermentation contrôlée avec les souches de *Lactobacillus fermentum* SF6.2 et SF9.5, elle permet de réduire les coliformes totaux de 98,82% en 6 h contre 99,69% pour les coliformes thermotolérants et 99,69% pour les moisissures.

Pour les échantillons de farine de zoom-koom naturelle et contrôlée, la flore totale varie entre $9,8 \cdot 10^5$ ufc/g et $5,0 \cdot 10^7$ ufc/g. La flore lactique varie entre $9,0 \cdot 10^4$ ufc/g et $1,5 \cdot 10^8$ ufc/g. Les coliformes totaux varient entre $6,8 \cdot 10^3$ ufc/g et $4,3 \cdot 10^4$ ufc/g. Les coliformes thermotolérants ont donné une variation comprise entre $2,7 \cdot 10^3$ ufc/g et $1,6 \cdot 10^4$ ufc/g. Les levures ont donné une variation comprise entre $3,5 \cdot 10^3$ ufc/g et $7,6 \cdot 10^5$ ufc/g. Les moisissures varient entre $5,0 \cdot 10^3$ ufc/g et $5,1 \cdot 10^4$ ufc/g. L'acidité des échantillons varie entre 0,42 g d'acide lactique/100g de produit et 0,49 g d'acide lactique/100g de produit. Le pH a donné une variation comprise entre 3,07 et 3,9.

Les résultats obtenus sur les échantillons de farine instantanée de zoom-koom ont donné sur la farine de zoom-koom naturel une réduction de 79,07% pour les coliformes totaux, 74,61% pour les coliformes thermotolérants et 90,2% pour les moisissures. La farine instantanée de zoom-koom contrôlé a donné une réduction de 84,19% pour les coliformes totaux, 83,12% pour les coliformes thermotolérants et 46,15% pour les moisissures. L'effet des cultures starter de *Lactobacillus fermentum* SF6.2 et SF9.5 n'a pas été très efficace sur les moisissures de la farine de zoom-koom contrôlé. Cela peut sans doute s'expliquer par une contamination au cours du séchage de la farine. Hors mis cela, les souches de *Lactobacillus fermentum* ont montré une plus grande capacité antimicrobienne sur les coliformes au cours de la fermentation contrôlée que les souches présents à l'état natif et responsables de la fermentation naturelle de ces produits.

Les souches de *Lactobacillus fermentum* SF6.2 et SF9.5 ont confirmé leur pouvoir acidifiant et leur capacité à inhiber les germes pathogènes sur la base desquels elles ont été sélectionnées (Sawadogo-Lingani *et al.*, 2008). L'utilisation de ces souches comme cultures starter dans la technologie du zoom-koom permet d'améliorer la qualité sanitaire et de garantir la santé du consommateur.

Tableau VI: Flore microbienne des échantillons de zoom-koom frais prélevés dans l'unité artisanale de Zogona

Echantillons	Flore totale (ufc/ml)	Coliformes totaux (ufc/ml)	Coliformes thermotolérants (ufc/ml)	Bactéries lactiques (ufc/ml)	Levures et moisissures (ufc/ml)	pH à 25°C	Acidité (g d'acide lactique/100g)
ZKF1	$7,6 \cdot 10^6$	$8,6 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^3$	<10	$1,3 \cdot 10^5$	$3,54 \pm 0,08$	$0,71 \pm 0,13$
ZKF2	$3,0 \cdot 10^6$	$1,0 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^1$	$1,1 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^5$	$3,67 \pm 0,06$	$0,61 \pm 0,007$
ZKF3	$3,0 \cdot 10^6$	<10	<10	$3,2 \cdot 10^6$	$2,3 \cdot 10^5$	$3,37 \pm 0,04$	$0,9 \pm 0,06$
ZKF4	$7,2 \cdot 10^7$	$1,0 \cdot 10^5$	$5,4 \cdot 10^4$	n.d	$8,6 \cdot 10^4$	$3,48 \pm 0,01$	$0,91 \pm 0,11$
ZKF5	$1,2 \cdot 10^7$	$4,0 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^4$	$5,9 \cdot 10^6$	$8,2 \cdot 10^3$	$3,62 \pm 0,00$	$0,57 \pm 0,00$
ZKF6	$2,0 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^7$	$6,1 \cdot 10^4$	$4,08 \pm 0,05$	$0,76 \pm 0,00$

ZKF: zoom-koom frais

Les numéros correspondent à l'ordre de prélèvement des échantillons

Tableau VII: Flore microbienne des échantillons de farines instantanée de zoom-koom prélevés dans l'unité artisanale de Pissy

Echantillons	Flore totale ufc/g	Coliformes totaux ufc/g	Coliformes thermotolérants ufc/g	Bactéries lactiques ufc/g	Levures et moisissures ufc/g	pH à 25°C	Acidité (g d'acide lactique/100g)
FIZK1	$5,3 \cdot 10^6$	$2,2 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^6$	$5,3 \cdot 10^4$	$5,9 \cdot 10^4$	3,12±0,007	1,47±0,01
FIZK2	$1,1 \cdot 10^6$	<10	<10	$8,1 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^3$	2,94±0,00	0,66±0,00
FIZK3	$6,1 \cdot 10^5$	<10	<10	$1,1 \cdot 10^6$	$4,6 \cdot 10^2$	3,34±0,00	0,99±0,00

FIZK : farine instantanée de zoom-koom

Les numéros correspondent à l'ordre de prélèvement des échantillons

Tableau VIII : Flore microbienne des quatre formulations de farine instantanée de zoom-koom produit par le procédé naturel au DTA

Echantillons	Flore totale (ufc/g)	Coliformes totaux (ufc/g)	Coliformes thermotolérants (ufc/g)	Bactéries lactiques (ufc/g)	Levures (ufc/g)	Moisissures (ufc/g)	pH à 25°C	Acidité (g d'acide lactique/100g)
FIZK1	$3,9.10^7$	$1,1.10^3$	<10	$3,1.10^7$	$2,0.10^5$	<10	5,38±0,00	1,08±0,00
FIZK2	$1,2.10^8$	<10	<10	$1,8.10^7$	n.d	<10	5,53±0,00	0,94±0,00
FIZK3	$8,9.10^8$	$4,7.10^4$	$1,5.10^4$	n.d	n.d	$2,5.10^3$	5,70±0,00	0,81±0,00
FIZK4	$6,35.10^8$	$1,0.10^4$	$3,7.10^3$	n.d	n.d	<10	5,11±0,00	1,21±0,00

n.d : non déterminé

FIZK1 : Farine instantanée de Zoom-Koom formulation n°1 ;

FIZK2 : Farine instantanée de Zoom-Koom formulation n°2 ;

FIZK3 : Farine instantanée de Zoom-Koom formulation n°3 ;

FIZK4 : Farine instantanée de Zoom-Koom formulation n°4 ;

Tableau IX: Flore microbienne des quatre formulations de zoom-koom frais produit par le procédé naturel au DTA

Echantillons	Flore totale (ufc/ml)	Coliformes totaux (ufc/ml)	Coliformes thermotolérants (ufc/ml)	Bactéries lactiques (ufc/ml)	Levures (ufc/ml)	Moisissures (ufc/ml)	pH à 25°C	Acidité (g d'acide lactique/100g)
ZKF1	$1,5.10^7$	$5,2.10^3$	<10	$9,0.10^6$	$3,0.10^3$	<10	5,03±0,00	1,89±0,00
ZKF2	$3,3.10^8$	$4,4.10^3$	$2,3.10^3$	$1,7.10^8$	<10	<10	5,05±0,00	1,75±0,00
ZKF3	$1,8.10^8$	$2,0.10^2$	$1,5.10^2$	$7,9.10^7$	$1,5.10^3$	<10	5,13±0,00	1,21±0,00
ZKF4	$1,2.10^8$	$3,5.10^2$	$1,5.10^2$	$7,6.10^7$	$2,5.10^3$	<10	5,02±0,00	1,48±0,00

ZKF1 : Zoom-Koom Frais formulation n°1 ;

ZKF2: Zoom-Koom Frais formulation n°2 ;

ZKF3 : Zoom-Koom Frais formulation n°3 ;

ZKF4 : Zoom-Koom Frais formulation n°4;

Tableau X: Evolution de la charge microbienne de la matière première au produit fini durant le processus de production au DTA

Echantillons		Flore totale	Bactéries lactiques	coliformes totaux	Coliformes thermotolérants*	Levures *	Moisissures *	pH à 25°C	Acidité (g d'acide lactique/100g)
Mil		8,2.10 ⁶	2,9.10 ³	9,7.10 ⁴	9,7.10 ⁴	4,0.10 ¹	1,0.10 ⁴	5,62±0,85	1,18±0,15
Maïs		1,6.10 ⁵	2,1.10 ³	5,4.10 ³	5,4.10 ⁴	3,2.10 ²	6,1.10 ³	-	-
Pulpe de tamarin		7,3.10 ⁵	<10	<10	<10	<10	9,2.10 ²	-	-
Pulpe de baobab		1,3.10 ⁴	2,0.10 ¹	<10	<10	<10	<10	-	-
Menthe		2,5.10 ⁸	5,5.10 ⁴	1,5.10 ⁶	1,2.10 ⁶	4,3.10 ⁴	5,5.10 ²	-	-
Gingembre		3,3.10 ⁸	5,7.10 ³	2,9.10 ⁶	9,5.10 ⁵	3,0.10 ⁴	1,3.10 ⁴	-	-
Sucre		3,0.10 ²	<10	<10	<10	8,0.10 ¹	<10	-	-
Trempage des grains de mil(t=0)		3,6.10 ³	3,5.10 ¹	6,0.10 ²	2,1.10 ¹	<10	<10	6,22±0,007	0,54±0,007
Trempage des grains de mil (t=24h)		1,2.10 ⁹	8,7.10 ⁷	<10	<10	7,7.10 ²	<10	4,29±0,02	1,21±0,00
Zoom-koom frais (naturel)	Début fermentation	1,0.10 ⁶	9,5.10 ⁵	6,4.10 ²	3,0.10 ²	n.d	1,4.10 ³	5,39±0,00	0,71±0,00
	Fin de fermentation	4,3.10 ⁶	1,5.10 ⁶	1,5.10 ²	9,0.10 ¹	n.d	2,5.10 ²	3,69±0,03	1,29±0,08
Zoom-koom frais (contrôlé avec <i>Lact fermentum</i> SF6.2 et SF9.5)	Début fermentation	8,2.10 ⁷	8,4.10 ⁷	4,9.10 ⁴	4,9.10 ⁴	7,6.10 ⁵	1,3.10 ⁴	5,39±0,00	0,71±0,00
	Fin de fermentation	1,0.10 ⁸	1,5.10 ⁸	5,8.10 ²	1,5.10 ²	n.d	4,0.10 ¹	3,74±0,02	1,51±0,11
Farine instantanée de zoom-koom instantané (naturel)	Début de fermentation	4,3.10 ⁶	1,1.10 ⁶	4,3.10 ⁴	1,3.10 ⁴	3,5.10 ³	5,1.10 ⁴	3,90±0,00	0,49±0,00
	Fin de fermentation	5,0.10 ⁷	1,5.10 ⁸	9,0.10 ³	3,3.10 ³	n.d	5,0.10 ³	3,83±0,00	0,43±0,00
Farine instantanée de zoom-koom (contrôlé avec <i>Lact. Fermentum</i> SF6.2 et SF9.5)	Début de fermentation	9,8.10 ⁵	9,0.10 ⁴	4,3.10 ⁴	1,6.10 ⁴	7,6.10 ⁵	1,3.10 ⁴	3,90±0,00	0,47±0,00
	Fin de fermentation	1,5.10 ⁶	7,7.10 ⁵	6,8.10 ³	2,7.10 ³	n.d	7,0.10 ³	3,07±0,00	0,42±0,00

III.4. Qualité organoleptique du zoom-koom frais et de la farine instantanée de zoom-koom obtenus par les procédés naturel et contrôlé

Les formulations de zoom-koom frais (ZKF1, ZKF2, ZKF3 et ZKF4) et de farine instantanée de zoom-koom (FIZK1, FIZK2, FIZK3 et FIZK4) ont été soumises à un panel de dégustateurs pour une analyse sensorielle. Les appréciations issues de ces analyses sont résumées sur les figures 6 et 7. A la suite de ces premiers tests, la meilleure formulation de chaque type de zoom-koom, c'est-à-dire celle qui a recueillie le plus d'opinion favorable des dégustateurs, a été reproduite avec les souches de *Lactobacillus fermentum* SF6.2 et SF9.5 puis comparer à un échantillon témoin naturel ne contenant pas de souches exogènes de *Lactobacillus fermentum* (figures 8 et 9). Parallèlement à ce test, un dernier test permettant de comparer les deux types de zoom-koom contrôlés a été effectué (figure 10).

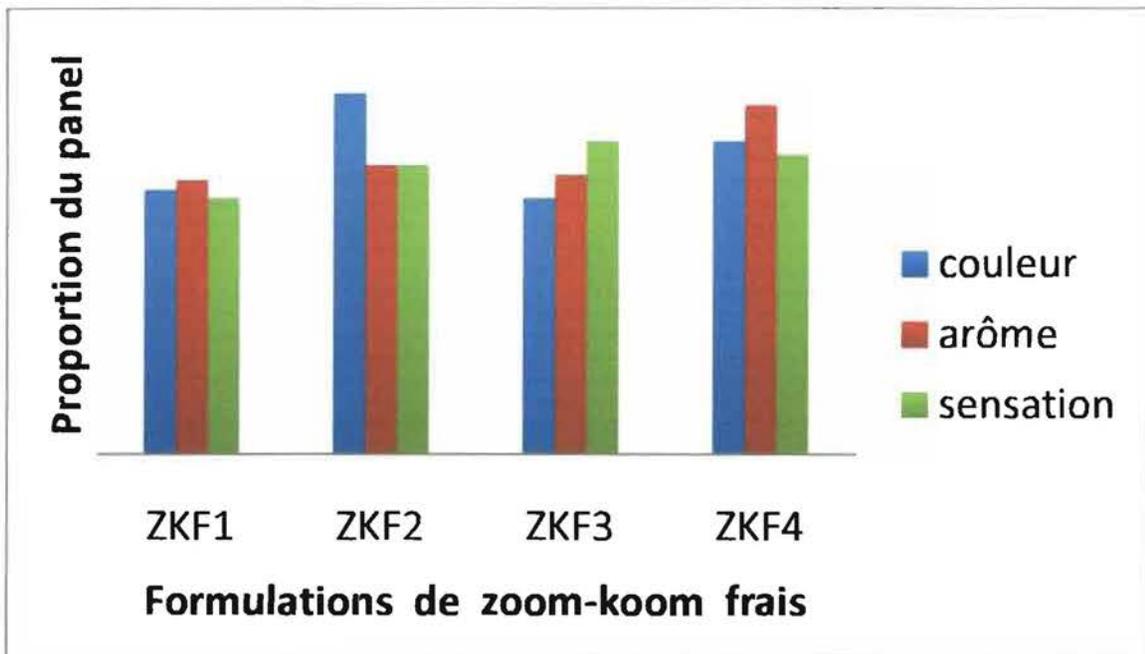


Figure 6 : test de classement des échantillons de zoom-koom frais produits au DTA

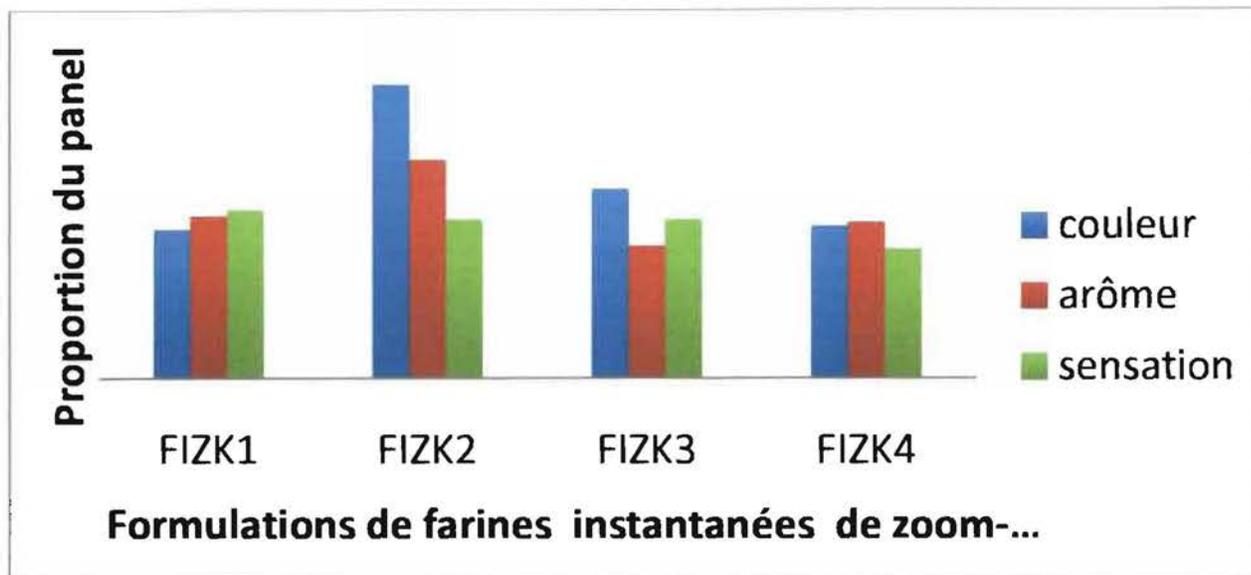
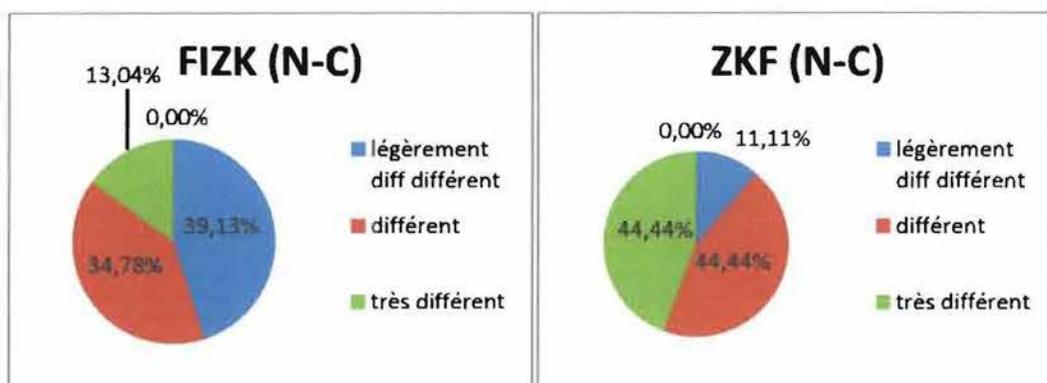


Figure 7: test de classement des échantillons de farines instantanées de zoom-koom produits au DTA.



Figures 8 : test de différence/témoin sur les échantillons de farine instantanée de zoom-koom par les procédés naturel et contrôlé.

Figures 9: test de différence/témoin sur les échantillons de zoom-koom frais par les procédés naturel et contrôlé.

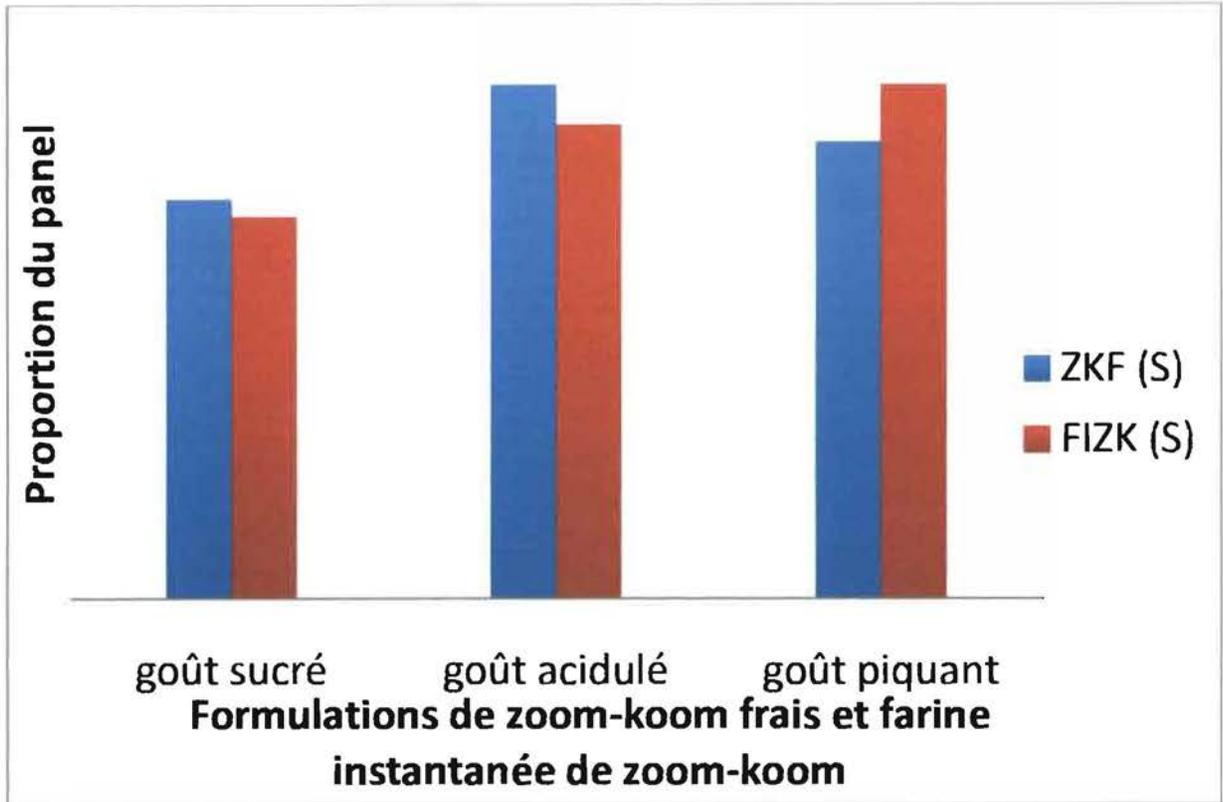


Figure 10: test de profil sensoriel du goût sur les échantillons de zoom-koom frais et de farine instantanée de zoom-koom de fermentation contrôlé

Les tests de chi deux d'homogénéité effectués sur les échantillons de zoom-koom frais (figure 6) et de farines instantanées de zoom-koom (figure 7) ont donné respectivement 2,96 et 7,90. En comparant ces valeurs aux chi carré observés sur les tables de données 12,95 pour les deux types de zoom-koom, il ressort que les chi carré calculés sont inférieurs aux chi carré théoriques observés sur les tables de données avec $p < 0,00019$ et $n=6$. Ceci signifie que l'hypothèse nulle qui stipule que tous les échantillons (aussi bien de zoom-koom frais que de farines instantanée de zoom-koom sont homogènes) est valable. En d'autre terme la répartition des paramètres sensoriels entre les différents échantillons analysés reste homogène. Cela pour dire que la formulation de zoom-koom frais ou de farine de zoom-koom qui a la couleur la plus appréciée a de forte chance d'être en même temps celui qui a l'arôme le plus apprécié ainsi que la sensation après dégustation la mieux appréciée.

Le chi carré des tests de différence-témoin a donné comme valeur 42,97 (figures 8 et 9). En comparant cette valeur à celle obtenue par observation faite sur les tables de données (9,94), il ressort que le chi carré calculé est supérieur au chi carré lu sur la table des données avec $p < 0,00004$ et $n=4$. Cela signifie que l'hypothèse nulle « pas de différence entre le produit contrôlé et son témoin) peut être rejetée. On peut alors déduire que le zoom-koom frais de fermentation contrôlée et son témoin ainsi que la farine instantanée de zoom-koom de fermentation contrôlée et son témoin sont différents.

Le chi carré du test de profil sensoriel du goût a donné 2,37 (figure 10). En comparant au chi carré observé (5,99) sur les tables de données, il ressort que le chi carré calculé est inférieur au chi carré observé pour $p < 0,02$ et $n=2$. Cela signifie que l'hypothèse nulle H_0 (goût sucré, acidulé et piquant sont repartis de manière homogènes dans les deux échantillons) reste valable. Autrement dit l'échantillon le plus sucré, peut être celui ayant le goût le plus acidulé et le plus piquant. Cela confirme le choix des dégustateurs pour le zoom-koom frais de fermentation contrôlée comme étant le plus sucré (70%), le plus acidulé (80%) et le plus piquant (90%).

CONCLUSION GENERALE

Cette étude a permis de comparer la qualité nutritionnelle, sanitaire et organoleptique du zoom-koom obtenu par la fermentation naturelle et celui par fermentation contrôlée par apport de souches pures de *Lactobacillus fermentum* SF6.2 et SF9.5.

En effet, sur le plan nutritionnel, il ressort une légère augmentation de la teneur en protéines (25,83% à 28,46%), des matières grasses (2,62% à 4,62%) , des sucres réducteurs (32,1% à 36,9%), des minéraux comme le calcium (0,392g/100g à 0,435g/100g), le magnésium (0,059g/100g à 0,065g/100g) et le fer (2,37mg/100g à 2,5mg/100g).

Sur le plan sanitaire, l'étude révèle que la fermentation lactique naturelle inhibe le développement des germes comme les coliformes et les moisissures. Certes les 06 heures de fermentation contrôlée qui ont été effectuées n'a pas permis d'éliminer tous les germes pathogènes du zoom-koom mais elle a permis de confirmer l'efficacité des souches pures de *Lactobacillus fermentum* SF6.2 et SF9.5 utilisées contre les germes de contamination du zoom-koom. Par ailleurs, il a pu être constaté que 6h de fermentation contrôlée permettait de réduire le nombre de germes pathogènes d'au moins 85% contre 78% pour la fermentation naturelle. Il est apparu lors de cette étude que les principales sources de contamination et d'apport de bactéries lactiques dans le zoom-koom sont la menthe, le gingembre et le mil. Le trempage des grains de mil très souvent négligé par plusieurs transformatrices par peur d'avoir une boisson très aigre joue un rôle très important dans l'élimination des germes pathogènes du zoom-koom. Il permettrait d'éliminer en 24h de fermentation plus de 99% des germes pathogènes et d'altération (coliformes et moisissures) présents dans la matière première et ingrédients. Aussi avons-nous observé que l'ajout de menthe et de gingembre ferait rapidement baisser le pH par rapport à une pâte exempt de menthe et de gingembre.

Sur le plan organoleptique, l'étude a permis d'élaborer quatre (04) formulations de zoom-koom frais et quatre (04) formulations de farines instantanées de zoom-koom. Les deux meilleures formulations (c'est-à-dire une formulation de part et d'autre) ont été retenues et fermentées avec des souches pures de *Lactobacillus fermentum*. Au terme des analyses sensorielles, le zoom-koom frais fermenté par les souches pures de *Lactobacillus fermentum* semble avoir le plus retenu l'attention des consommateurs.

Pour une meilleure connaissance et valorisation du produit, il est suggéré en perspectives d'autres études sur la caractérisation des souches fermentaires (bactéries lactiques et levures) observés lors de la fermentation naturelle du zoom-koom, l'étude de l'effet de la durée de fermentation sur la qualité sanitaire du produit, approfondir la caractérisation nutritionnelle

(gamme des éléments minéraux, les profils en acides aminés et acides organiques) et des vitamines du groupe B, la poursuite des essais de conditionnement et de stabilisation initiés dont les résultats préliminaires n'ont pas été présentés dans le présent mémoire, afin de définir un barème efficace de pasteurisation (temps / température) pour une meilleure stabilisation et conservation du zoom-koom.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AFRIQUE VERTE (2013). Point sur la situation alimentaire au sahel, suivi de campagne ; 145 :8 p.

AFRIQUE VERTE (2011). Livret sur les techniques de conservation et de gestion des matières premières et des produits transformés, 1^{ère} édition ; 8 p.

AFRIQUE VERTE (2008). Guide des organisations paysannes sur les techniques de stockage et de conservation des céréales, 2^{ème} édition ; 16 p.

AKA S. (2008). Variabilité des propriétés physico-chimiques et dénombrement de la flore fermentaire du tchapalo, une bière traditionnelle de sorgho en Côte d'Ivoire. Afrique Science. Volume 02. Numéro 04, pp 274-286.

AMANI G. (2004). Propriétés physico-chimiques de l'amidon de gingembre (*Zingiber officinale* Roscoe) de Côte d' Ivoire ; TROPICACULTURA ; volume 22 ; p 77-83.

BASSOLE I.H.N. (2003). Composition chimique et activités antimicrobiennes, ovocides et larvicides des huiles essentielles des feuilles et fleurs de *Cymbopogon proximus* (stapf.), *Lippia chevaleri* (Mold.), (Mold.) et *Ocimum canum* (sims), Mémoire de thèse unique en biochimie et microbiologie ; UFR-SVT; Université de Ouagadougou ; pp 3-10.

CAC /GL3-1989. Directives pour l'évaluation simplifiée de l'ingestion d'additifs alimentaires, commission du Codex Alimentarius, Programme FAO/OMS, 16 p.

CAC /GL21-1997. Principes régissant l'établissement et l'application de critères microbiologiques pour les aliments, commission du Codex Alimentarius ; programme FAO/OMS ; 5 p.

CAC /GL22R-1997. Directives régionales pour la conception de mesures de contrôle des aliments vendus sur la voie publique en Afrique ; commission du Codex Alimentarius, programme FAO/OMS ; 21 p.

CAC /GL31-1999, révisé 2001. Directives codex pour l'évaluation organoleptique en laboratoire du poisson et des mollusques et crustacés, commission du codex Alimentarius, programme FAO/OMS; 27 p.

CAC /GL51-2003. Directives du codex pour les milieux de couverture des fruits en conserve, commission du Codex Alimentarius, programme FAO/OMS ; 1 p.

CAC /GL55-2005. Directives concernant les compléments alimentaires en vitamines et sels minéraux ; commission du Codex Alimentarius, programme FAO/OMS ; 3 p.

CAC /RCPI-2003. Principes généraux d'hygiène alimentaire, commission du Codex Alimentarius, programme FAO/OMS ; 29 p.

CAC /GL75-2010. Directives sur les substances utilisées en tant qu'auxiliaires technologiques ; commission du Codex Alimentarius ; programme FAO/OMS ; 1p.

CAC /GL66-2008. Lignes directives pour l'emploi des aromatisants, commission du Codex Alimentarius, programme FAO/OMS ; 3p.

CEMEQ (2006). Rapport d'étude sur l'étude emploi/ formation dans le secteur agroalimentaire au Burkina Faso ; 77 p.

COMPAORE S.C. (2009). Suivi de la production et étude des caractéristiques biochimiques et microbiologiques du Maari : un condiment fermenté à base de graines de baobab ; Mémoire de DEA ; Université de OUAGADOUGOU ; 60 p.

CS.AFSCA (2012). Contribution de l'alimentation à l'anti-biorésistance à l'homme ; 19 p.

CTMP (2008). Comment déterminer une DLUO sur un produit emballé ; pôle d'innovation technologique ; 12 p.

DUSOVICH (2013). Les différents procédés de conservation ; biotechno ; 9 p.

EUSTACHE I. (2009). Chimiothérapie : contre les nausées, pensez au gingembre ; 45^{ème} congrès de l'American Society of Clinical Oncology (ASCO) ; Orlando ; 2 p.

FOURNIER (2003). Conservation des aliments : Pasteurisation, PISTES, Université LAVAL, CANADA, 28 p.

FOFANA M. (2010). Le jus de tamarin : une boisson excellente et riche en fibres ; 2 p.

FAO (2012). Tout sur le mil ; Programme Alimentaire Mondiale ; 36 p.

GONTIER A. (2009). La qualité microbiologique en restauration collective : le portage à domicile ; Mémoire de licence professionnelle en hôtellerie-tourisme ; UFR de Langues, Littératures et Civilisations Etrangères ; Université de Toulouse le Mirail ; France ; 124 p.

HAMA F. (2003). Contribution à la caractérisation de la perception sensorielle des bouillies de petit mil fermenté traditionnelles et enrichies consommées à Ouagadougou; Mémoire de maîtrise des sciences et techniques, crsban, u.o ; 45 p.

HAMMES W.P., WEISS N. and HOLZAPFEL W.P., (1992). The genera Lactobacillus and Carbobacterium. In:« The prokaryotes. A hand-book on the biology of bacteria: Ecophysiology, Isolation, Identification and Application »,A. Balows, H.G. Trüper, M. Dworkin, W. Harder & K.H. Schleifer, Springer-Verlag, NewYork. pp 1535-1594.

HEMA A. (2003). Contribution à la recherche de la flore lactique de la pâte de mil cuite : « boule d'acassa » ; mémoire de maîtrise de sciences et techniques, crsban, U.O. 27 p.

HURTEL J.M. (2001). Le tamarin ou tamarinier ; phytomania ; 3p.

GINSENG (2013). Le gingembre, propriétés, bienfaits, posologie, effets secondaires ; 41 p.

GUERIN B, REISER P. (2000). Valeur technologique du sucre et principale application alimentaire ; food-researcher international ; 10 p.

ICARD-VERNIERE C, OUATTARA L, AVALLONE S., HOUNHOUGAN J., KAYODE P., WALIOU A., HAMA-BA. (2010). Recettes locales des plats à base de mil, sorgho ou maïs et de leurs sauces fréquemment consommés par les jeunes enfants au Burkina Faso et au Bénin ; projet INSTAPA ; 129 p.

KIEMTORE.H. (2005). Étude de la consommation de mil dans la ville de Ouagadougou et qualité nutritionnelle de quelques variétés cultivées au Burkina Faso, mémoire de maîtrise des sciences et techniques, crsban, u.o ; 46 p.

LE BLANC A. (2008).La fermentation ; ensmic-alimentation humaine ; 17 p.

LESTIENNE I. (2004). Contribution l'étude de la biodisponibilité du fer et du zinc dans le grain de mil et conditions d'amélioration dans les aliments du complément ; Mémoire de thèse unique en sciences des aliments ; Université de Montpellier II ; 271 p.

MADODE Y.E. (2005). Utilisation des ferments de bactéries lactiques et de levures pour l'amélioration de la fermentation du gowé, une boisson fermentée à base de Sorgho ; mémoire de DEA en biotechnologies ; crsban, ufr-svt ; 54 p.

MAKUMBU J.M. (1999). Étude physiologique et comparative de deux bactéries impliquées dans les fermentations lactiques, mémoire de DEA en sciences biologiques appliquées, crsban, université de Ouagadougou, 59 p.

MATOKOT T.N.C.G. (2003). Étude de la production et caractérisation physico-chimique et microbiologique de la farine de maïs fermentée : cas de l'entreprise CTRAPA, DESS, U.O ; 66 p.

NORME FRANÇAISE V 03-760 (Décembre 1981). Céréales, légumineuses et produits dérivés. Détermination des cendres. Méthode par incinération à 550°C, 6 p.

NORME FRANÇAISE V03-707 2000. Céréales et produits céréaliers - Détermination de la teneur en eau - Méthodes de référence pratique.

NORME FRANÇAISE ISO 7954 (2003). Directives générales pour le dénombrement des levures et moisissures, techniques par comptage des colonies à 25°C, 4 p.

NORME INTERNATIONALE ISO 659 (1998). Graines oléagineuses. Détermination de la teneur en huile (Méthode de référence), 13 p.

NORME INTERNATIONALE ISO 4833 (2003). Microbiologie des aliments. Méthode horizontale pour le dénombrement des micro-organismes; technique de comptage des colonies à 30°C, 9 p.

NORME INTERNATIONALE ISO 4832 (2006) : Microbiologie des aliments- Méthode horizontale pour le dénombrement des coliformes- Méthode par comptage des colonies, 6 p.

NORME FRANÇAISE V 03-050 (Septembre 1970) : Directives générales pour le dosage de l'azote avec minéralisation selon la méthode de Kjeldahl. 8 p.

NOUÏ R. (2003). Les aliments, transformation, conservation et qualité ; CTA ; Backheys Publisher ; 279 p.

OUATTARA C.T.A. (2010). Cours de microbiologie alimentaire. Ufr-Svt. Université de Ouagadougou. 67p.

PAKIN C. (2004). Le dosage de vitamines du groupe B (Acide pantothénique et cobalamine) dans les aliments après isolement chromatographique et détection fluorométrique ; Mémoire de THESE ; Université Louis Pasteur de STRASBOURG (FRANCE) ; pp 1-41

SAVADOGO A. (2004). Caractérisation biochimique et moléculaire des bactéries lactiques productrices d'exopolysaccharides isolées à partir d'échantillons de lait fermenté du Burkina faso, mémoire de thèse unique en sciences biologiques appliquées, ufr-svt, u.o ; pp 14-26.

SAWADOGO-LINGANI H., DIAWARA B. TRAORE A.S., JAKOBSEN M. (2008). Utilisation de souches sélectionnées de *Lactobacillus fermentum* et un isolat de levure comme cultures starter dans la production du dolo, une boisson fermentée à base de sorgho ; sciences et techniques ; 2 : pp 61-84.

SAWADOGO-LINGANI H. (2010). Fermentation lactique dans le procédé traditionnel de fabrication de la bière de sorgho (dolo, pito) : caractérisation des bactéries lactiques pour la sélection de cultures starter ; Thèse de Doctorat d'ETAT en Biochimie-Microbiologie ; UFR-Svt ; Université de OUAGADOUGOU (BURKINA FASO) ; pp 1-45.

ANNEXE 1 : FICHES D'ANALYSES SENSORIELLES

ANNEXE 1(suite 1)

FICHE D'EVALUATION : EPREUVE DE CLASSEMENT

PRODUIT : Zoom-Koom

Date :.....

Sexe : Masculin Féminin

Age : 15-30 ans 31-40 ans plus de 40 ans

Instructions 3 :

1. Veuillez **goûter** les échantillons codés dans l'ordre indiqué
2. Classez –les selon votre préférence pour **la sensation après dégustation** : le rang 1 pour l'échantillon le plus préféré, le rang 4 pour l'échantillon le moins préféré et le reste à l'avenant.

N.B : ne pas donner le même rang à deux échantillons

RANGS

ECHANTILLONS

1	.....	.....	.....	.....
2	.....	.....	.....	.....
3	.....	.....	.....	.....
4	.....	.....	.....	.....

Observations :.....
.....

ANNEXE 1(suite 2)

FICHE D'EVALUATION : EPREUVE DE DIFFERENCE /TEMOIN

PRODUIT : Zoom-Koom

Date :

Sexe : Masculin Féminin

Age : 15-30 ans 31-40 ans plus de 40 ans

Instructions :

1. Veuillez **goûter** l'échantillon témoin noté **T**
2. Goûter chaque échantillon codé dans l'ordre indiqué
3. Utiliser l'échelle ci-dessous pour indiquer le niveau de différence dans le goût entre chaque échantillon codé et le témoin.

ECHELLE

ECHANTILLONS

.....

Pas de différence

Légèrement différent

Différent

Très différent..... ..

Extrêmement différent

Observations :.....
.....
.....

ANNEXE 1 (suite 3)

EPREUVE DE PROFIL SENSORIEL

PRODUIT : Zoom-Koom

Date :

Sexe : Masculin Féminin

Age : 15-30 ans 31-40 ans plus de 40 ans

Instructions :

1. Veuillez **goûter** l'échantillon ci- dessous
2. Cochez en face de l'expression qui vous **paraît la plus approprié** pour **apprécier le goût**

GOÛT

DESCRIPTEURSECHANTILLON

	
	Très sucré.....	.....
Sucre		.....
	Sucré.....	.....
	Peu sucré .....	.....
	Très acide.....	.....
Acide.	Acidité normale .....	.....
	Pas acide.....	.....
	Très piquant.....	.....
Gingembre	Piquant .....	.....
	Peu piquant .....	.....

OBSERVATIONS :

.....
.....
.....

ANNEXE 2 : Les milieux de cultures et leurs compositions

-Diluant

.Chlorure de sodium-----8,5g

.Bactopeptone-----1g

pH $7 \pm 0,2$

Ces différents éléments sont dissous dans 1l d'eau distillée puis la solution est autoclavée à 121°C pendant 15 mns.

- Plate Count Agar (PCA)

Peptone de caséine-----5,0g

Extrait de levure-----2,5g

D (+) Glucose-----1,0g

Agar-Agar-----14,0g

22, 5 g de ce milieu est mélangé avec 1l d'eau distillée. Le mélange est porté à ébullition jusqu'à dissolution complète puis le pH est ajusté à $7, 2 \pm 0,2$ avant que la solution ne soit autoclavée à 121°C pendant 15mins.

- Agar de Man Rogosa et Sharp (MRS-Agar)

Peptone-----10g

Extrait de viande-----8g

Extrait de levure-----4g

Glucose-----20g

Tween 80-----1g

Hydrogénophosphate de potassium-----2g

Acétate de sodium, 3H₂O-----5g

ANNEXE 2 (suite) : Les milieux de cultures et leurs compositions

Citrate de d'ammonium -----	2g
Sulfate de magnésium, 7H ₂ O-----	0,2g
Sulfate de manganèse, 4H ₂ O-----	0,05g
Agar-----	14g
H ₂ O distillée-----	1000ml

62g de milieu déshydraté pour 1 litre d'eau distillée et procéder comme précédemment pour la dissolution. Mesurer et ajuster le pH à $6,2 \pm 0,2$ puis stériliser à 121° pendant 15mn.

-Gélose biliée au cristal violet et au rouge neutre (agar VRB)

Peptone de viande-----	7,0g
Extrait de levure-----	3,0g
Chlorure de sodium-----	5,0g
Lactose-----	10g
Rouge neutre-----	0,03mg
Cristal violet-----	0,002
Sel biliaire-----	1,5g
Agar-Agar-----	13,0g
H ₂ O distillée-----	1000ml

Le pH est ajusté à $7,4 \pm 0,2$. Ce milieu n'est pas autoclavé.

ANNEXE 2 (suite) : Les milieux de cultures et leur composition

-Gélose glucosé à l'extrait de levure et au chloramphénicol (YGC)

Extrait de levure.....	5,0g
D (+) Glucose.....	20,0g
Chloramphénicol.....	0,1g
Agar-agar.....	14,9g

40 g de ce milieu est mélangé avec 1l d'eau distillée. Le mélange est porté à ébullition jusqu'à dissolution complète puis le pH est ajusté à 6, $6 \pm 0,2$ à 25 °C avant que la solution ne soit autoclavée à 121°C pendant 15mns.

- Bouillon Man Rogosa et Sharp (MRS)

Peptone de caséine-----	10,0g
Extrait de viande-----	8,0g
Extrait de levure-----	4,0g
D(+) glucose-----	20,0g
Phosphate dipotassique-----	2, 0g
Tween 80-----	1,0g
Citrate d ammonium-----	2,0g
Acétate de sodium, 3H ₂ O-----	5,0g
Sulfate de magnésium, 7H ₂ O -----	0,2g
Sulfate de manganèse, 4H ₂ O-----	0,05g
H ₂ O distillée-----	1000ml

pH final : $6,2 \pm 0,2$ à 25°C. Le milieu est distribué dans des tubes à essai à raison de 10ml / tube puis autoclavé à 121°C pendant 15mins.

ANNEXE 3 : production du zoom-koom au DTA

