UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

# Impact de lactofermentation sur la qualité nutritionnelle et organoleptique des feuilles vertes de haricots

**Ndagijimana, Nadine; Sous la direction de : Dr. Ir. Niyoyankana Bonaventure; Dr. Ntakiyiruta Pierre**

**2025-08**
UB, EANSI
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/2124

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

**UNIVERSITE DU BURUNDI**

**CENTRE D'EXCELLENCE REGIONAL EN SCIENCES DE LA NUTRITION**

**MASTER EN SCIENCES DES ALIMENTS ET NUTRITION**

# IMPACT DE LACTOFERMENTATION SUR LA QUALITE NUTRITIONNELLE ET ORGANOLEPTIQUE DES FEUILLES VERTES DE HARICOTS.

**Par**

NDAGIJIMANA Nadine

Mémoire présenté et défendu publiquement en vue d'obtention de diplôme de Master en Sciences des aliments et nutrition

**Option** : Technologie et qualité des aliments

**Sous la direction de** :

Dr. Ir. NIYOYANKANA Bonaventure

Dr. NTAKIYIRUTA Pierre

**Bujumbura, Août 2025**

## MEMBRES DU JURY

Pr Dr. Ir. NAHIMANA Gregoire : President

Ir. NSABIYUMVA Athanase, MSc : Secretaire

Dr. NIYOYANKANA Bonaventure : Directeur

Dr. NTAKIYIRUTA Pierre : Co-Directeur

# DEDICACE

A  mes parents

A mon époux;

A ma belle famille

A mes frères et sœurs

A mes tantes, oncles, cousins et cousines;

A tous ceux qui me sont chers.

Je dédie ce mémoire

## REMERCIEMENTS

Avant tout, je rends grâce à Dieu, le Tout-Puissant, pour sa guidance, sa force, sa sagesse et sa bienveillance tout au long de mon parcours académique. Sans sa bénédiction, ce mémoire n'aurait pas pu voir le jour. Je lui suis infiniment reconnaissante pour chaque opportunité accordée à ma faveur chaque épreuve surmontée et pour la lumière qu'Il m'a apportée dans les moments d'incertitude.

Mes remerciements les plus sincères vont à mon Directeur de mémoire, Dr NIYOYANKANA Bonaventure, et à mon Co-directeur, Dr Pierre NTAKIYIRUTA, pour leur encadrement rigoureux, leurs conseils éclairés, leur disponibilité constante et leurs critiques constructives. Leur accompagnement a été d'un soutien inestimable tout au long de ce travail.

Je tiens également à remercier l'East African Nutritional Sciences Institute pour ses recherches inspirantes dans le domaine de la nutrition. Ses travaux ont nourri ma réflexion scientifique et ont constitué une précieuse source d'inspiration pour l'élaboration de ce mémoire.

Enfin, je n'oublie pas tous mes enseignants, depuis l'école primaire jusqu'à la fin de mon cycle de master, dont le dévouement et l'engagement envers l'éducation ont profondément marqué mon parcours. Mes pensées reconnaissantes vont aussi à mes camarades de promotion, avec qui j'ai partagé des expériences enrichissantes, des défis, et des moments inoubliables.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes et institutions qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Que toutes les personnes qui ont, d'une manière ou d'une autre, contribué à l'aboutissement de ce mémoire trouvent ici l'expression de ma sincère reconnaissance et de ma profonde gratitude.

# RESUME

La fermentation, méthode ancestrale de conservation des aliments, est largement utilisée à travers le monde, notamment sous forme de lactofermentation. Ce procédé fait appel à des bactéries lactiques qui transforment les sucres en acide lactique, améliorant la conservation, la valeur nutritionnelle, la digestibilité et les qualités organoleptiques des aliments. Les légumes lactofermentés, riches en probiotiques, vitamines, minéraux et composés bioactifs, représentent une alternative intéressante, notamment pour les personnes intolérantes au lactose.

Les feuilles vertes de haricots, souvent négligées et sujettes au gaspillage lors des périodes de surproduction, pourraient bénéficier de la lactofermentation pour prolonger leur durée de conservation tout en améliorant leur qualité nutritionnelle. Cette étude a pour objectif d'évaluer l'impact de la lactofermentation sur la qualité nutritionnelle (composés phénoliques, minéraux, vitamine C) et sensorielle (couleur, odeur, texture, goût) des feuilles d'haricot. Les analyses qualitatives ont confirmé la présence de tanins galliques et catéchines avant et après fermentation, indiquant que la lactofermentation peut modifier leur structure ou leur concentration. Les saponosides, flavonoïdes ont également été détectés.

Les résultats physico-chimiques montrent une baisse significative du pH (de 6,3 à 3,5), une augmentation de la vitamine C (59 %) et de l'acidité titrable, signe d'une fermentation lactique active favorisant la conservation. La teneur en minéraux essentiels (calcium, fer, zinc, potassium, magnésium) a aussi augmenté, probablement en raison de la libération par l'activité enzymatique des bactéries lactiques.

Sur le plan sensoriel, la lactofermentation a amélioré le goût en réduisant l'amertume, a légèrement modifié la couleur sans nuire à l'acceptabilité visuelle, et a stabilisé l'odeur sans développement d'arômes désagréables. La texture a été légèrement adoucie.

**Mots-clés**: lactofermentation, qualité nutritionnelle, feuilles vertes d'haricot, qualité organoleptique , conservation des légumes

## ABSTRACT

Fermentation, an ancestral method of food preservation, is widely used throughout the world, particularly in the form of lactofermentation. This process uses lactic acid bacteria that transform sugars into lactic acid, improving the preservation, nutritional value, digestibility, and organoleptic qualities of foods. Lactofermented vegetables, rich in probiotics, vitamins, minerals, and bioactive compounds, represent an attractive alternative, particularly for people with lactose intolerance.

Green bean leaves, often neglected and prone to waste during periods of overproduction, could benefit from lactofermentation to extend their shelf life while improving their nutritional quality. The objective of this study was to evaluate the impact of lactofermentation on the nutritional (phenolic compounds, minerals, vitamin C) and sensory (color, odor, texture, taste) qualities of bean leaves. Qualitative analyses confirmed the presence of gallic and catechol tannins before and after fermentation, indicating that lactofermentation can modify their structure or concentration. Saponins and flavonoids were also detected.

Physicochemical results show a significant decrease in pH (from 6.3 to 3.5), an increase in vitamin C (59%), and titratable acidity, indicating active lactic fermentation promoting preservation. The content of essential minerals (calcium, iron, zinc, potassium, magnesium) also increased, likely due to release through the enzymatic activity of lactic acid bacteria.

Sensorially, lactofermentation improved the taste by reducing bitterness, slightly modified the color without affecting visual acceptability, and stabilized the odor without developing unpleasant aromas. The texture was slightly softened.


**Keywords :** lactofermentation, nutritional quality, green bean leaves, organoleptic quality, vegetable preservation

## TABLE DES MATIERES

**MEMBRES DU JURY** ..... i
**DEDICACE** ..... ii
**REMERCIEMENTS** ..... iii
**RESUME** ..... iv
**ABSTRACT** ..... v
**TABLE DES MATIERES** ..... vi
**LISTE DES TABLEAUX** ..... viii
**LISTE DES FIGURES** ..... ix
**LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS** ..... x
**AVANT-PROPOS** ..... xi
**INTRODUCTION GENERALE** ..... 1
**CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES FEUILLES DE HARICOT ET LA LACTOFERMENTATION** ..... 3
I.1 Classification botanique du haricot (*Phaseolus vulgaris*) ..... 3
I.2 Description des feuilles de haricots ..... 4
I.3 Importance nutritionnelle des feuilles de haricot ..... 4
I.3.1 Composition nutritionnelle ..... 4
I.3.2 Catégories des feuilles vertes de haricots ..... 6
I.3.3 Pourquoi la préférence de la méthode de lactofermentation ..... 7
I.4 Les aliments fermentés ..... 7
I.4.1 Intérêts des aliments fermentés ..... 7
I.4.2 Augmentation de la valeur nutritionnelle des aliments fermentés ..... 8
I.4.3 Saveurs des légumes fermentés ..... 9
I.4.4. Qualité nutritionnelle des légumes fermentés ..... 10
I.4. 5 Qualité organoleptique des légumes fermentés ..... 11
I.4.6 Intérêt des aliments fermentés sur la santé ..... 12
I.4.7 Effets de la lactofermentation sur la conservation des aliments ..... 12
**CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES** ..... 14
II.1 Lieu d'expérimentation ..... 14
II.2 Materiel ..... 14

II.3 Méthodes ..... 15
II.4 Materiels de laboratoire ..... 19
II.5 Reactifs ..... 19
II.6 Mode opératoire lors de l'analyse des nutriments ..... 19
II.7 Analyses physico-chimiques ..... 20
II.8 Screening phytochimique ..... 21
II.9 Détermination des qualités organoleptiques avant et après fermentation ..... 22
**CHAPITRE III : PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS ..... 23**
III.1 Presentation des résultats ..... 23
III.2 Discussion des résultats ..... 26
III.2.1 Composition phytochimique des feuilles de haricots ..... 26
III.2.2 Tanins, les saponosides, flavonoïdes et anthocyanes dans les feuilles de haricot avant et après lactofermentation ..... 26
III.2.3 Résultats physico-chimiques des feuilles de haricots avant et après lactofermentation ..... 28
III.2.4 Qualité sensorielle des feuilles de haricots ..... 29
**CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS ..... 31**
**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ..... 33**
**ANNEXES ..... 38**

# LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Composition nutritionnelle des feuilles de haricots (*Phaseolus vulgaris*) pour 100 g de partie comestible ..... 5
Tableau 2 : Quelques exemples des produits lactofermentés ..... 13
Tableau 3: Comparaison de la teneur en sels minéraux des feuilles d'haricot non lactofermentées et lactofermentées ..... 23
Tableau 4: Résultats des paramètres physicochimiques mesurés ..... 24
Tableau 5: Evaluation organoleptique des feuilles de haricots avant et après lactofermentation ..... 25

# LISTE DES FIGURES

Figure 1:Diagramme de lactofermentation des feuilles vertes de haricot ..... 17
Figure 2: Quelques photos du processus de lactofermentation des feuilles de haricot ..... 18
Figure 3 Représente les photos de materiels de laboratoire ..... 39

## LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

AOAC: Association des Chimistes Officiels Analyticiens

EDTA: Ethylènediaminetetraacetique

ISABU: Institut des Sciences Agronomiques du Burundi

SAA: Spectroscopie d'absorption Atomique

# AVANT-PROPOS

Ce mémoire est consacré à l'étude de l'impact de la lactofermentation des feuilles d'haricot sur leur  qualité nutritionnelle et organoleptique. La lactofermentation, un procédé traditionnel de conservation des aliments, suscite un intérêt croissant en raison de ses bénéfices nutritionnels et de son potentiel à améliorer la sécurité alimentaire. Les feuilles de haricots, souvent sous-utilisées, représentent une source de nutriments précieuse qui mérite d'être valorisée.

Dans le cadre de cette recherche, nous avons exploré comment la lactofermentation peut transformer ces feuilles, en augmentant leur valeur nutritionnelle tout en préservant leurs qualités organoleptiques. L'étude s'inscrit dans le domaine de la nutrition alimentaire et de la science des aliments, visant à promouvoir des pratiques durables pour améliorer l'alimentation.

Cependant, ce travail n'a pas été sans défis. J'ai rencontré des difficultés liées à l'optimisation des conditions de fermentation, à des résultats qui ne parviennent pas à temps, à l'absence de certains réactifs ainsi qu'à la période qui ne me permet pas d'avoir les feuilles d'haricot tout au long de l'année. Ces obstacles ont nécessité une adaptation constante et une recherche de solutions innovantes, enrichissant ainsi mon expérience académique.

Je remercie toutes les personnes qui ont contribué à ce projet, et j'espère que les résultats de cette étude pourront éclairer davantage l'importance de la lactofermentation dans l'amélioration de la qualité nutritionnelle des aliments

# INTRODUCTION GENERALE

## 0.1. Contexte

Depuis des siècles, la fermentation constitue l'une des plus anciennes méthodes de conservation des aliments à travers le monde. Utilisée dans de nombreuses cultures traditionnelles, elle s'applique à une large gamme d'aliments, allant des légumes et fruits, aux produits d'origine animale et céréalière (Idriss et al., 2019). Parmi les différentes formes de fermentation, la lactofermentation occupe une place particulière. Ce processus repose sur l'activité de bactéries lactiques qui transforment les glucides en acide lactique dans des conditions anaérobies. Cette transformation améliore non seulement la durée de conservation des aliments, mais également leur valeur nutritionnelle, leur digestibilité et leurs caractéristiques organoleptiques (Flegme, 2022 ; Boudjema, 2008).

Les légumes lactofermentés sont aujourd'hui reconnus pour leurs bienfaits potentiels sur la santé, notamment grâce à leur richesse en probiotiques, vitamines, minéraux et composés bioactifs (Mercier et al., 2019 ; Huang et al., 2021). Ils représentent une alternative particulièrement intéressante pour les personnes souffrant d'intolérance au lactose ou d'allergies aux protéines animales, car ils ne contiennent ni lactose ni protéines laitières (Flegme, 2022) . Parmi les ressources végétales disponibles localement, les légumes verts sont souvent négligées, malgré leur richesse en vitamines, minéraux et fibres (Nwokolo, 2019). Leur consommation reste limitée en raison de leur faible disponibilité pendant la saison sèche. De plus, lors des périodes de forte production, ces feuilles sont fréquemment gaspillées en l'absence de méthodes de conservation appropriées, contribuant ainsi à une perte significative de ressources nutritives (Akinola et al., 2020; Shiundu & Oniang'o, 2007).

Des études ont montré que la fermentation lactique permet de réduire les composés amers**,** d'améliorer la digestibilité**,** et même de favoriser la production de composés bioactifs bénéfiques pour la santé, tels que des antioxydants ou certains acides aminés (Ogunlade et al., 2020 ; Huang et al., 2021).

## 0.2. Problématique

Bien que riches sur le plan nutritionnel, les feuilles d'haricot sont souvent gaspillées, notamment lors des périodes de surproduction. Ce gaspillage est principalement dû au manque de techniques de conservation efficaces et adaptée. Il devient alors nécessaire d'identifier des méthodes innovantes de transformation et de valorisation permettant de prolonger leur durée de vie tout en améliorant leur acceptabilité. Parmi les méthodes de conservation des légumes, la plus utilisée est la méthode de séchage. Par contre, cette dernière est responsable de la dégradation des nutriments sensibles à la chaleur à savoir les vitamines hydrosolubles telles que la vitamine C (acide ascorbique) et les vitamines du groupe B, en particulier l'acide folique (B9). De plus, les composés antioxydants comme les flavonoïdes et polyphénols, essentiels pour leurs propriétés bénéfiques, diminuent également avec une exposition excessive à la chaleur et à la lumière.

## 0.3. Objectifs

### a) Objectif général

Cette étude a pour objectif général d'evaluer l'impact de la lactofermentation sur la qualité nutritionnelle et organoleptique des feuilles vertes de haricot.

### b) Objectifs spécifiques

1. Analyser les variations en teneur des principaux nutriments avant et après la lactofermentation des feuilles vertes de haricot.
2. Comparer les caractéristiques organoleptiques des feuilles lactofermentées et non fermentées.

## 0.4. Hypothèse

Les feuilles de haricot lactofermentées sont riches en principaux nutriments que les feuilles non lactofermentées.

# CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES FEUILLES DE HARICOT ET LA LACTOFERMENTATION

## I.1 Classification botanique du haricot (*Phaseolus vulgaris*)

Les feuilles de haricot proviennent de la plante de haricot commun (*Phaseolus vulgaris*), qui appartient à la famille Fabaceae. Ces feuilles jouent un rôle crucial dans le processus de photosynthèse grâce à la présence de chloroplastes, leur permettant ainsi de produire des nutriments essentiels pour la plante. Au Burundi, les feuilles de haricot se développent principalement pendant la saison de croissance, qui coïncide généralement avec la saison pluvieuse. Cette période est caractérisée par des conditions climatiques favorables, notamment des températures modérées et des précipitations suffisantes, qui soutiennent l'essor des haricots.

Les haricots, en particulier le haricot commun (*Phaseolus vulgaris*), sont souvent semés au début de la saison des pluies, permettant ainsi aux feuilles de se former et de croître vigoureusement. À l'approche de la récolte, qui intervient après la période de floraison et de maturation des gousses, les feuilles commencent à se faner. Ce phénomène indique que le moment de la récolte des graines est imminent, signalant ainsi aux agriculteurs qu'il est temps de récolter.

Cette dynamique de croissance et de récolte est essentielle pour la sécurité alimentaire au Burundi, où les haricots jouent un rôle crucial dans l'alimentation quotidienne de la population. **Source** (Baudoin.,1999)

Voici la classification botanique détaillée :

1. Règne : Plantae
2. Sous-règne : Tracheobionta
3. Division : Angiospermes (Plantes à fleurs)
4. Classe : Eudicots
5. Ordre : Fabales
6. Famille : Fabaceae (ou Leguminosae)
7. Genre : Phaseolus
8. Espèce : *Phaseolus vulgaris*

## I.2 Description des feuilles de haricots

Les feuilles de haricots communs (*Phaseolus vulgaris*), présentent plusieurs caractéristiques distinctives qui les rendent uniques et intéressantes tant sur le plan botanique que nutritionnel (Baudoin et al. 2001)

1. **Forme et Taille**

Les feuilles des haricots sont souvent généralement composées de trois folioles (feuilles individuelles) disposées de manière palmée. Chaque foliole a une forme ovée ou elliptique et mesure entre 5 à 15 cm de long.

2. **Couleur**

Elles sont d'un vert vif, indiquant une bonne teneur en chlorophylle, ce qui est synonyme de potentiel nutritionnel élevé.

3. **Textur**e

La texture des feuilles est lisse et légèrement cireuse, avec des nervures bien définies qui contribuent à leur robustesse.

## I.3 Importance nutritionnelle des feuilles de haricot

### I.3.1 Composition nutritionnelle

Les feuilles de haricot, principalement issues des variétés de *Phaseolus vulgaris*, sont souvent négligées en tant que source nutritive importante. Bien que ce soient surtout les graines de haricot qui soient consommées pour leur teneur élevée en protéines, les feuilles offrent aussi des bénéfices nutritionnels considérables. Elles contiennent une quantité notable de vitamines, notamment A, C ainsi que plusieurs vitamines du groupe B telles que B1, B2 et B9. En outre, elles sont riches en minéraux essentiels comme le calcium, le fer, le potassium, le zinc et le magnésium.

Ces feuilles apportent également une bonne dose de fibres alimentaires, ce qui contribue à améliorer la digestion et la santé intestinale (Ogunlade, Balogun & Olawuyi, 2020).

Les feuilles vertes de haricots sont reconnues pour leur richesse en composés antioxydants tels que les phénols et les flavonoïdes. Ces molécules jouent un rôle essentiel dans la protection des cellules contre les effets néfastes du stress oxydatif et de l'inflammation, ce qui contribue à réduire le risque de maladies chroniques (Huang et al., 2021).

Dans de nombreuses traditions culinaires, les feuilles de haricot sont intégrées dans des recettes locales, souvent préparées en soupe, ragoût ou sautées. Toutefois, leur goût naturellement amer peut limiter leur consommation. La lactofermentation est une méthode utilisée pour réduire cette amertume et améliorer leur acceptabilité auprès des consommateurs (Nwokolo, 2019). Au-delà de leur valeur nutritionnelle, ces feuilles jouent un rôle important dans la durabilité des systèmes agricoles. Elles servent souvent de couverture végétale, aidant à prévenir l'érosion du sol, tout en contribuant à l'enrichir par la fixation de l'azote atmosphérique, ce qui améliore la santé globale des sols (Mochizuki et al, 2020).

**Tableau 1** : **Composition nutritionnelle des feuilles de haricots (*Phaseolus vulgaris*) pour 100 g de partie comestible**

| Nutriments | Valeur pour 100 g |
|---|---|
| Énergie | 74 kcal |
| Protéines | 6 g |
| Lipides | 1 g |
| Glucides | 14 g |
| Fibres alimentaires | Non spécifié |
| Calcium | 224 mg |
| Fer | 4 mg |
| Magnésium | 8 mg |
| Phosphore | 63 mg |
| Potassium | 176 mg |
| Sodium | 9 mg |
| Zinc | 1.28 mg |
| Cuivre | 0.46 mg |
| Manganèse | 1.37 mg |
| Vitamine A | 405 µg |
| Vitamine C | 45 mg |
| Vitamine B1 (Thiamine) | 0.83 mg |
| Vitamine B2 (Riboflavine) | 0.60 mg |
| Vitamine B3 (Niacine) | 3.47 mg |
| Vitamine B6 (Pyridoxine) | 0.23 mg |
| Acide folique | 16 µg |

**Source FAO (2019)**

### I.3.2 Catégories des feuilles vertes de haricots

Les feuilles vertes de haricots peuvent être classées selon plusieurs critères essentiels, reflétant leur diversité d'usage, leurs caractéristiques botaniques et leurs qualités nutritionnelles :

1. **Selon l'utilisation culinaire**

Certaines feuilles sont consommées dans des plats traditionnels, préparées sautées, en soupe ou en ragoût, tandis que d'autres variétés présentent des feuilles non comestibles, parfois toxiques ou peu agréables au goût (Owuor et al., 2016).

2. **Selon la variété de haricot**

Le haricot vert, le haricot rouge et le haricot noir, tous appartenant à l'espèce *Phaseolus vulgaris*, sont connus pour leurs feuilles comestibles, bien que les graines soient souvent la partie la plus valorisée (Singh, 2001).

3. **Selon le mode de culture**

   La culture conventionnelle utilise des pesticides et engrais chimiques, tandis que la culture biologique privilégie des méthodes naturelles, ce qui peut influencer positivement la qualité nutritionnelle des feuilles (Reganold & Wachter, 2016).

4. **Selon la méthode de préparation**

Les feuilles peuvent être consommées fraîches ou après un traitement par lactofermentation, une technique qui améliore leur goût et leur digestibilité (Nwokolo, 2019).

5. **Selon la valeur nutritionnelle**

Certaines feuilles se distinguent par leur richesse en vitamines A, C et B, en minéraux tels que calcium, zinc, magnésium, fer et potassium, ainsi qu'en fibres alimentaires, contribuant à la santé digestive (Moyo et al., 2018).

6.**Selon la couleur et la texture**

Les feuilles vertes sont généralement signe d'une teneur élevée en chlorophylle, tandis que les feuilles plus foncées peuvent contenir davantage d'antioxydants et d'autres nutriments bénéfiques (Moyo et al., 2018

### I.3.3 Pourquoi la préférence de la méthode de lactofermentation

Selon Steinkraus (1996), la lactofermentation est une des plus anciennes méthodes de conservation des aliments, reposant sur l'action de bactéries lactiques qui produisent de l'acide lactique. Cet environnement acide inhibe efficacement la croissance des micro-organismes pathogènes, assurant une conservation sécurisée et durable.

De plus, Tamang et al. (2016) soulignent que cette méthode préserve mieux les vitamines sensibles (notamment les vitamines du groupe B et la vitamine C) que le séchage ou la cuisson, et peut même enrichir les légumes en probiotiques bénéfiques pour la santé intestinale.

Enfin, Rahman (2014) indique que la lactofermentation est particulièrement adaptée aux légumes à forte teneur en eau, comme les feuilles de haricot, car elle permet une conservation à basse température sans utilisation de produits chimiques, tout en maintenant la qualité nutritionnelle.

## I.4 Les aliments fermentés

### I.4.1 Intérêts des aliments fermentés

La fermentation est une méthode traditionnelle de conservation des aliments qui permet de prolonger leur durée de vie sans l'utilisation de conservateurs chimiques. Ce processus améliore également les saveurs et les textures des aliments, rendant les produits fermentés non seulement sains mais aussi agréables à consommer (Mochizuki et al., 2020).Les aliments fermentés sont de plus en plus valorisés pour leurs nombreux bienfaits sur la santé.

Les aliments fermentés sont riches en probiotiques, qui sont des micro-organismes vivants bénéfiques pour la santé intestinale. Ces probiotiques aident à équilibrer la flore intestinale, ce qui peut réduire les problèmes digestifs tels que les ballonnements, la constipation et la diarrhée.

Des études ont montré que la consommation régulière de probiotiques peut améliorer la digestion et la santé intestinale globale (Lim et al., 2024).

La fermentation peut également augmenter la biodisponibilité des nutriments dans les aliments. Par exemple, elle réduit la présence de facteurs antinutritionnels comme l'acide phytique, qui inhibe l'absorption de minéraux essentiels tels que le fer et le zinc. Cela signifie que les aliments fermentés peuvent fournir une meilleure assimilation des vitamines et des minéraux, contribuant ainsi à une nutrition optimale (Huang et al., 2021).

Les aliments fermentés peuvent jouer un rôle important dans le soutien du système immunitaire. Des recherches ont montré que la consommation régulière de ces aliments peut augmenter la diversité microbienne dans le microbiote intestinal, ce qui est associé à une meilleure réponse immunitaire. Une étude a révélé que les personnes qui consomment des aliments fermentés présentent des niveaux d'inflammation plus faibles, ce qui est bénéfique pour la santé globale (Nwokolo, 2019).

Il existe des preuves croissantes que le microbiote intestinal influence la santé mentale. Certaines souches de probiotiques présentes dans les aliments fermentés peuvent avoir un impact positif sur l'humeur et le comportement, en réduisant les symptômes d'anxiété et de dépression. Cette connexion entre l'intestin et le cerveau, souvent appelée l'axe intestin-cerveau, souligne l'importance des aliments fermentés pour la santé mentale (Ghosh et Ghosh, 2018).

### I.4.2 Augmentation de la valeur nutritionnelle des aliments fermentés

Les aliments fermentés sont reconnus pour leur capacité à améliorer la valeur nutritionnelle des ingrédients de base. Ce processus de fermentation, qui implique des micro-organismes tels que des bactéries, des levures et des moisissures, entraîne plusieurs transformations bénéfiques.

La fermentation peut augmenter la biodisponibilité des nutriments en décomposant les facteurs antinutritionnels présents dans les aliments. Par exemple, l'acide phytique, qui se lie aux minéraux comme le fer et le zinc, est réduit lors de la fermentation, ce qui permet une meilleure absorption de ces minéraux par l'organisme (Huang et al., 2021).

Les aliments fermentés sont une source riche de probiotiques, qui sont des micro-organismes vivants bénéfiques pour la santé intestinale. Ces probiotiques peuvent améliorer la digestion et renforcer le système immunitaire, contribuant ainsi à une meilleure santé globale (Nwokolo, 2019).

La fermentation peut également conduire à la production de composés bioactifs, tels que des peptides bioactifs et des acides gras à chaîne courte, qui ont des effets positifs sur la santé. Ces composés peuvent avoir des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et antihypertenseurs, augmentant ainsi les bénéfices nutritionnels des aliments fermentés (Ghosh et Ghosh, 2018).

Certaines souches de bactéries utilisées dans la fermentation peuvent synthétiser des vitamines, notamment les vitamines B et K. Par exemple, le yaourt et le kimchi sont souvent enrichis en vitamines grâce à l'activité métabolique des bactéries lactiques (Mochizuki et al., 2020).

La fermentation améliore non seulement la valeur nutritionnelle, mais aussi la saveur et la durée de conservation des aliments. Les acides produits lors de la fermentation peuvent agir comme conservateurs naturels, prolongeant la durée de vie des aliments tout en ajoutant des saveurs uniques (Lim et al., 2024).

### I.4.3 Saveurs des légumes fermentés

Les légumes fermentés sont appréciés non seulement pour leurs bienfaits nutritionnels, mais aussi pour la richesse de leurs saveurs. La fermentation, un processus métabolique impliquant des microorganismes tels que les bactéries lactiques, transforme les légumes en produisant divers composés qui enrichissent leur goût.

L'un des aspects les plus marquants des légumes fermentés est leur acidité. Ce goût acidulé provient principalement de la production d'acide lactique, qui se forme lorsque les sucres présents dans les légumes sont convertis par les bactéries lactiques. Cette acidité peut varier en fonction de la durée de fermentation et des types de légumes utilisés, offrant une expérience gustative rafraîchissante (Huang et al., 2021).

En plus de l'acidité, les légumes fermentés développent souvent des saveurs umami, une saveur qui renforce la profondeur du goût. Cette complexité aromatique est le résultat de la dégradation des protéines et des glucides pendant la fermentation, créant des composés volatils qui ajoutent des nuances de saveur (Ghosh & Ghosh, 2018).

La texture des légumes fermentés joue également un rôle crucial dans l'expérience gustative. La fermentation peut rendre certains légumes plus tendres tout en conservant un croquant agréable, ce qui contribue à la satisfaction globale lors de la consommation (Dufour & Lemieux, 2020).

Enfin, les recettes de fermentation peuvent être personnalisées avec l'ajout d'épices, d'herbes ou d'autres ingrédients, permettant ainsi de créer des saveurs uniques. Par exemple, l'incorporation de piments dans le kimchi ou d'ail dans les pickles peut intensifier la chaleur ou l'arôme, rendant chaque préparation distincte (Barrière & Girard, 2021).

En somme, les légumes fermentés offrent une palette de saveurs variées qui enrichissent les plats et apportent une dimension supplémentaire à l'alimentation.

Leur diversité gustative, combinée à leurs bienfaits probiotiques, en fait un choix prisé dans de nombreuses cultures culinaires à travers le monde.

### I.4.4. Qualité nutritionnelle des légumes fermentés

Les légumes fermentés sont reconnus pour leurs propriétés nutritionnelles bénéfiques. Ce processus de fermentation transforme non seulement la texture et le goût des légumes, mais améliore également leur profil nutritionnel.

La fermentation augmente la biodisponibilité des nutriments présents dans les légumes. Par exemple, des études montrent que les niveaux de vitamines, comme la vitamine C et certaines vitamines du groupe B, peuvent être significativement augmentés après fermentation (Zhao et al, 2020). Ce processus facilite également l'absorption de minéraux, tels que le fer et le calcium, en réduisant les inhibiteurs qui peuvent entraver leur absorption dans l'intestin (Feng et al., 2018).

La fermentation favorise la croissance de bactéries bénéfiques, connues sous le nom de probiotiques. Ces microorganismes jouent un rôle crucial dans la santé digestive en améliorant la flore intestinale, ce qui peut contribuer à la prévention de diverses maladies gastro-intestinales (O'Flaherty et al., 2019). L'inclusion régulière de légumes fermentés dans l'alimentation peut renforcer le système immunitaire et améliorer la digestion.

Les légumes fermentés contiennent également des composés bioactifs, tels que les antioxydants, qui peuvent aider à réduire le stress oxydatif dans l'organisme. Des recherches ont montré que la fermentation peut augmenter les niveaux de ces composés, offrant ainsi des effets protecteurs contre certaines maladies chroniques (Ryu et al., 2021).

### I.4. 5 Qualité organoleptique des légumes fermentés

Les légumes fermentés sont prisés non seulement pour leurs bienfaits nutritionnels, mais aussi pour leurs qualités organoleptiques, qui englobent les aspects sensoriels tels que le goût, l'arôme, la texture et la couleur. La fermentation, processus par lequel des microorganismes transforment les sucres et d'autres composés organiques, joue un rôle clé dans le développement de ces caractéristiques.

Le goût des légumes fermentés est souvent marqué par une acidité prononcée, due à la production d'acide lactique par les bactéries lactiques. Cette acidité peut varier en fonction du type de légume, du temps de fermentation et des conditions environnementales.

Par exemple, le kimchi, un plat coréen à base de légumes fermentés, présente une saveur piquante et acidulée qui le rend particulièrement apprécié (Lee et al., 2019).

La fermentation génère une complexité aromatique unique. Des composés volatils, tels que les esters et les aldéhydes, se forment au cours du processus, contribuant à des arômes distincts. Ces arômes peuvent être terreux, épicés ou même légèrement sucrés, enrichissant l'expérience culinaire (Wang et al., 2020).

La texture des légumes fermentés est souvent croquante, ce qui ajoute à leur attrait. La fermentation peut modifier la structure cellulaire des légumes, rendant certains plus tendres tout en conservant un certain croquant. Cette combinaison de textures est particulièrement appréciée dans des préparations comme les pickles (Katz, 2012).

La couleur des légumes fermentés peut également évoluer au cours du processus. Des pigments naturels, tels que les anthocyanes et les caroténoïdes, peuvent être préservés ou intensifiés, offrant ainsi une présentation visuelle attrayante (Cai et al., 2021).

### I.4.6 Intérêt des aliments fermentés sur la santé

Les aliments fermentés ont suscité un intérêt croissant en raison de leurs effets bénéfiques sur la santé. Cette méthode de transformation, qui utilise des microorganismes pour fermenter les aliments, non seulement prolonge leur durée de conservation, mais améliore également leur valeur nutritionnelle et leurs effets sur la santé globale.

Les aliments fermentés sont riches en probiotiques, des bactéries bénéfiques qui favorisent un équilibre sain de la flore intestinale. La consommation régulière de probiotiques peut aider à améliorer la digestion, réduire les symptômes de troubles intestinaux tels que le syndrome de l'intestin irritable et prévenir des infections digestives (Sanders et al., 2019). Ces effets bénéfiques sur la santé intestinale sont essentiels pour une digestion efficace et une absorption optimale des nutriments.

Une flore intestinale équilibrée joue un rôle crucial dans le fonctionnement du système immunitaire. Les probiotiques présents dans les aliments fermentés peuvent stimuler la production d'anticorps et renforcer les réponses immunitaires, aidant ainsi à protéger l'organisme contre diverses infections (Ouwehand et Salminen, 2004).

Cela est particulièrement pertinent dans le contexte des maladies infectieuses et des troubles auto-immuns.

De nombreux aliments fermentés sont également riches en composés bioactifs qui possèdent des propriétés antioxydantes. Ces composés aident à neutraliser les radicaux libres dans le corps, réduisant ainsi le risque de maladies chroniques, telles que les maladies cardiovasculaires et certains types de cancer (Liu et al., 2020).

### I.4.7  Effets de la lactofermentation sur la conservation des aliments

La lactofermentation est un procédé de conservation des aliments qui repose sur l'utilisation de bactéries lactiques pour transformer les sucres présents dans les aliments en acide lactique.

Ce processus non seulement prolonge la durée de conservation des aliments, mais améliore également leur qualité nutritionnelle et organoleptique.

La lactofermentation favorise la formation d'acide lactique, qui abaisse le pH des aliments. Cette acidité crée un environnement défavorable pour de nombreux microorganismes pathogènes et responsables de la dégradation, ce qui permet de conserver les aliments plus longtemps sans l'utilisation de conservateurs chimiques (Huang et al., 2019). Par exemple, des légumes tels que le chou peuvent être transformés en choucroute, un produit qui se conserve plusieurs mois grâce à ce procédé.

En inhibant la croissance des bactéries indésirables, la lactofermentation contribue à la sécurité alimentaire. Les souches de bactéries lactiques produisent également des substances antimicrobiennes, comme les bactériocines, qui renforcent encore cette protection (Kouadio et al., 2020). Cela est particulièrement important dans les régions où les conditions de stockage peuvent être précaires.

**Tableau 2 : Quelques exemples des produits lactofermentés**

| Produits lactofermentés | Description courte | Sources |
|---|---|---|
| Kimchi | Légume fermenté coréen à base de chou | (Lee et al.,2019). |
| Choucroute | Chou fermenté traditionnel d'Alsace | (Katz 2012). |
| Feuilles de légumes lactofermentées africaines | Légumes fermentés localement, riches en composés phénoliques | (Kouadio et al. ;2019) |
| Tempeh | Produit fermenté à base de soja | (Steinkraus,1996). |
| Pickles lactofermentés | Concombres fermentés | (Huang et al .,2021). |

# CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES

## II.1 Lieu d'expérimentation

L'expérimentation a été réalisé à l'ISABU (Institut des Sciences Agronomiques du Burundi) de Bujumbura et dans le laboratoire de chimie organique de la faculté des sciences de l'Université du Burundi.

## II.2 Materiel

### II.2.1 Materiels biologiques

a) Les feuilles de haricots

Les feuilles de haricots utilisées pour la lactofermentation ont été achetées au marché de COTEBU de la zone Ngagara en Bujumbura Mairie.

Ces feuilles étaient de bonne qualité car ils n'avaient pas des flétrissements puisque c'est là où les bactéries lactiques sont beaucoup dominé par rapport aux bactéries pathogènes.

b) Sel

Le sel utilisé est le sel de cuisine qui a été acheté dans l'une des boutiques du quartier Kanyosha. Ce dernier doit être saupoudré sur les couches de ces feuilles de haricots à une concentration en sel de 2 % donc 2g de sel dans un kg des feuilles de haricots.

### II.2.2.3 Matériels utilisés lors de la lactofermentation

- Bassins pour le lavage des feuilles d´haricot la facilitation du mélange avec d'autres ingrédients.
- Balance analytique pour mesurer la quantité du sel à utiliser
- Casserole contenant l'eau bouillante pour la stérilisation des bocaux
- Une passoire pour égoutter les feuilles de haricots
- Eau pour éliminer toutes les impuretés se trouvant sur les feuilles de haricots
- Bocaux pour faciliter le conditionnement
- Table pour le remplissage des bocaux et d'autres opérations qui s'opèrent, etc

## II.3 Méthodes

### II.3.1 Les étapes de préparation

#### 1.Réception de la matière première

Cette opération consiste à réceptionner les feuilles de haricots de bonne qualité, ne possédant pas des parties abimées et favorisant le développement des bactéries lactiques qui vont mettre en place les acides organiques et les composés volatils qui empêchent les entérobactéries à se développer.**(Hardouin,2022)**

#### 2. Triage et lavage

Le lavage est une opération qui consiste à éliminer toutes les impuretés qui s'y trouvent en utilisant de l'eau de robinet et triage a pour rôle d'enlever les feuilles qui ne sont pas en bon état et tout cela se fait dans l'objectif d'avoir un produit fini de bonne qualité.

#### 3. Égouttage des feuilles

Apres avoir lavé soigneusement les feuilles vertes de haricots sous l'eau de robinet, il faut égoutter les feuilles en utilisant une passoire.

#### 4. Stérilisation du récipient

Ensuite, on stérilise le récipient en verre en le plongeant dans une casserole d'eau bouillante. Laisser refroidir avant utilisation.

#### 5. Pesée des feuilles

Après les avoir lavées et égouttées, on pèse les feuilles. Noter le poids pour le calcul du sel et des autres ingrédients.

#### 6. Tassage des feuilles

On depose les feuilles vertes de haricots dans le récipient stérilisé par couches.

#### 7. Salage

Ensuite après tassage il faut saupoudrer le sel sur chaque couche dans le but de provoquer un déséquilibre osmotique conduisant à la perte de l'eau et des éléments nutritifs qui sont nécessaires aux microorganismes de fermentation.

**8. Remplissage et pressage**

Après avoir ajouté le sel on remplit le récipient avec les feuilles en pressant fermement pour éliminer l'air et permettre aux feuilles de libérer leur jus. Ce qui nous aide à créer un environnement anaérobie propice à la fermentation. Le remplissage se fait dans des bocaux qui sont hermétiquement fermés facilitant la sortie du gaz carbonique ($CO_2$) tout en empêchant l'oxygène d'y entrer car Oxygène favorise le développement des microorganismes pathogènes comme les levures, moisissures, staphylococcus, E. coli, etc.

**9. Fermeture du récipient**

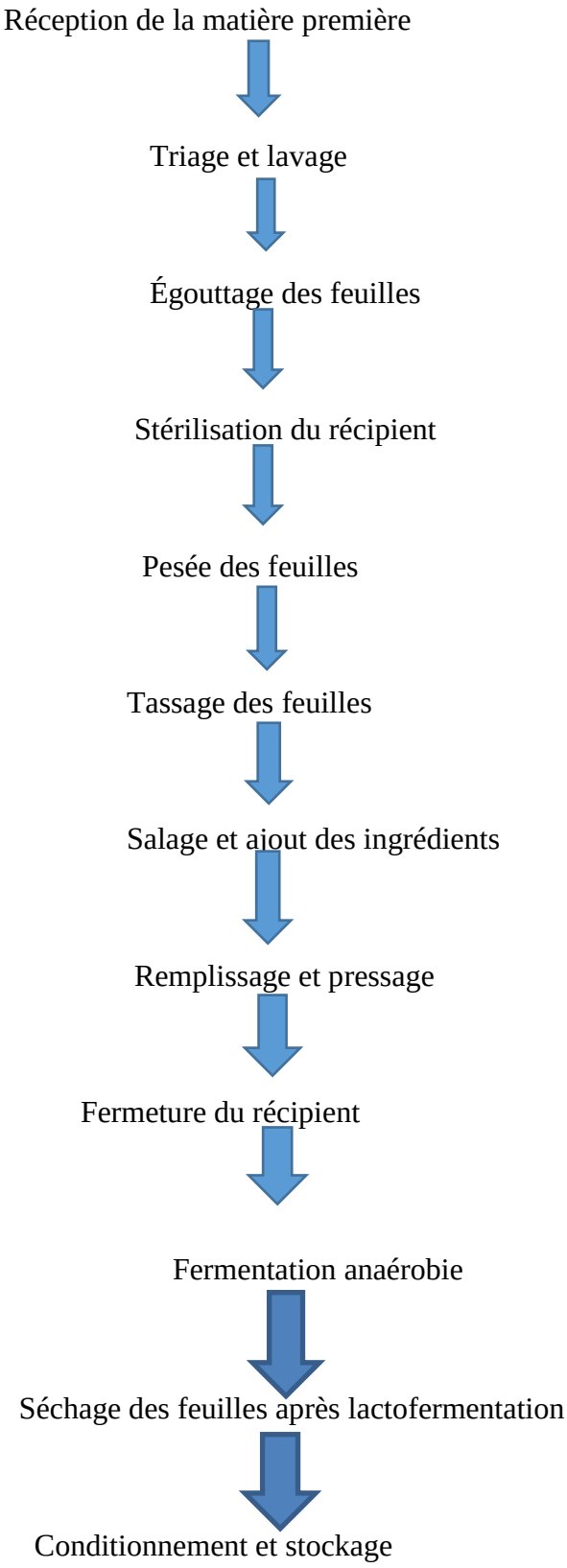
Fermer hermétiquement le récipient avec un couvercle propre afin d'empêcher que l'air entre dans le récipient tout en évitant la contamination.

**10. Fermentation et conditionnement**

On laisse les feuilles se fermenter à une température ambiante de 24 °C, pendant une période de 14 jours tout en observant régulièrement pour s'assurer qu'aucune moisissure ne se forme à la surface.

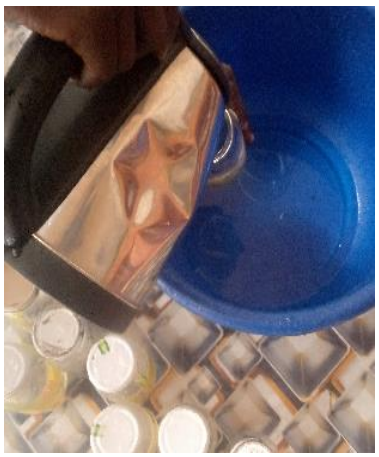
Le conditionnement a été effectué dans un endroit remplissant les règles et les conditions d'hygiène avec une température normale du corps.source (Hardouin, 2022).

**Figure 1:Diagramme de lactofermentation des feuilles vertes de haricot**





Pésage du sel



Stérilisation des bocaux



Triage des feuilles



Lavage des feuilles de haricots



Egouttage



Salage

**Figure 2: Quelques photos du processus de lactofermentation des feuilles de haricot**

**II.4 Materiels de laboratoire**

- Balance analytique au 1/10°mgr
- Four a mouffle 1200°C
- Spectrophotomètre d'absorption atomique Perkin Elmer n°703

**II.5 Reactifs**

- Chlorure de lanthane
- Acétylène
- Solution d´iode

**II.6 Mode opératoire lors de l'analyse des nutriments**

1°Sechage : Les feuilles de haricots sont séchées à l'étuve à 40°C jusqu'à ce que les feuilles soient secs, on met l'étuve à 40 °C car c´est une température minimale pour les végétaux

2°Broyage : échantillon est broyé jusqu´à ce qu'on a les petits particules afin d'améliorer l´homogénéisation

3° 2 g de l´échantillon est prélevé 2 fois pour un échantillon de référence, aussi 2 g des feuilles de haricots 2 fois

La salle de broyage doit être surveilles avant de commencer les activités de laboratoire, température doit se trouver entre 20°c et 25°c et humidité entre 20 et 80 et enfin on doit peser avec des étalons. on fait tout ça dans le but d'éviter que la balance soit perturbé

**4°La calcination:** on fait la calcination de 12h à 24h à 45°C pour éliminer la matière organique

**4°La minéralisation**:

On attaque le cendre avec acide nitrique cc 7ml

Chauffer jusqu'à l'ébullition environ 10 min

Filtre dans un jauge de 100 ml avec du papier filtre rapide

Mettre à volume jusqu'au train de jauge avec eau ultrapur

**5°Dilution**:

On fait la dilution des échantillons selon leur concentration soit 20/25 ,1/5 ,1/10,1/50,1/100,…

On ajoute 1/10 du jauge de chlorure de lanthane qui a le rôle d'éviter les interférences en masquant les autres éléments qu'on ne veut pas

Mettre à volume avec eau ultra –pure

Boucher et agiter.

**Préparation des solutions étalons**

Préparation de 100 ppm et 10 ppm à partir de 1000ppm

Prelever 10ml dans un jaugé de 100ml dans 1000ppm de solution mère ;compléter jusqu'au trait de jaugée avec eau ultra pur .Boucher et agiter

Prelever 10ml dans 100 ppm et mettre dans un jauge de 100 ml, mettre à volume avec eau ultra pure .boucher et agiter

Les nutriments ont été analyse wn utilisant SAA

**II.7 Analyses physico-chimiques**

**Détermination du pH**

Pour déterminer le pH de nos échantillons, nous avons broyé 10 g des feuilles de haricots en le mélangeant avec 2 ml de l'eau déminéralisée et le pH a été mesuré directement en utilisant un pH-mètre qui va afficher la valeur sur l'écran après avoir plongé l'électrode dans un bécher contenant cet échantillon et cela a été fait à une température ambiante.

**Détermination de l'acidité titrable**

Avant de passer à la détermination de l'acidité titrable proprement dit, nous avons pesé 0,101g de poudre des feuilles de haricots avant la fermentation et 0,102 g de poudre des feuilles d'haricots après fermentation puis nous avons ajouté 3 goutes de phénolphtaléines et nous avons fait la titration avec une solution de NaOH jusqu'à la persistance de la couleur rose. Avant la fermentation la couleur rose est arrivé à un volume de 1,5ml et après fermentation le volume de titration est de 2,5ml.

Les résultats sont interprétés suivant cette formule:

$$A\% = \frac{Vx0,0067}{10} \text{ X } 100$$

100:pour ramener à 100%

10 : Volume de l'échantillon en ml

V:Volume de la solution de soude caustique à 0,1 N utilisée en ml

0,0067:facteur de conversion de l'acidité titrable en équivalent de l'acide malique (AFOUGHALIA et al., 2020)

**Dosage de la vitamine C**

On a commencé par la préparation de la solution d'iode : pesé 0,213g de l´iodure de potassium et le mettre dans un ballon de 50 ml puis tarer la balance pesée encore 0,132g d'iode ajouter eau distillée et agiter vigoureusement jusqu'à ce que l'iode se dissout complètement et ajouter eau distillée jusqu'au train de jaugé.

Ensuite la préparation de la solution d´amidon: nous avons pris 0,25g d´amidon et le mettre dans un ballon de 50ml et ajouter eau distillée bouillante puis agiter et compléter jusqu'au train de jaugé.

On pèse 1 g de poudre de feuilles de haricots avant fermentation et 1 g de poudre de feuilles de haricots après fermentation et transférer chaque masse dans son propre erlenmeyer puis ajouter 100ml d'eau distillée et agiter manuellement et enfin filtrer à l'aide du papier filtre .

A l'aide d´une pipette prélever 20ml de jus trouvé après la filtration et le mettre dans un erlenmeyer puis ajouter 50 ml de l'eau distillée et 1ml de la solution d'amidon .après on titre avec de la solution d'iode jusqu'à l'obtention d'une couleur bleu noir.

La couleur est obtenue pour les feuilles non fermentées et les feuilles fermentées aprés titrage avec la solution d´iode.

**II.8 Screening phytochimique**

1. Les tanins galliques

En présence du réactif de stiasny donc 10ml de formol 35 pourcent plus 5ml d'acide chlorhydrique les tanins condensés précipitent.

Dans un erlenmeyer on a pris 5ml d'extrait décocté après lactofermentation et avant la fermentation et ajouter 3 gouttes d'une solution de chlorure de fer III la coloration bleu noir est obtenue dans tous les cas ce qui marque la présence des tanins galliques

2. Tanins catéchines

Pour les tanins catéchines, on ajoute du réactif de stiasny a la place de la solution de chlorure de fer III. Mais nous avons obtenu des précipités de couleur rose dans tous les cas, ce qui marque la présence des tanins catéchines

3. Les saponosides

On a pris un extrait 2 ml de jus décocté avant et après lactofermentation en ajoutant 20ml d'eau distillée ;on observe la mousse de 2cm qui montre que le test est positif (Trease et Evans ,1987).Le jus trouvé dans les feuilles fermentées a une mousse plus de 2 cm qui marque un test très positif(Trease et Evans,1987).

4. Les flavonoïdes

Peser 0,502g de poudre avant fermentation et 0,503 g de poudre des feuilles après fermentation, on ajoute 30ml d´eau distillée et agiter, on met la solution trouvée de 5ml dans un tube à essai, ajouter quelques coupeaux de magnésium et 5ml d'alcool isoamylique.

5. Les anthocyanes

A 5ml d'extrait infusé aqueux o ajoute 5ml d'acide sulfurique puis 5 ml hydroxyde d'ammonium .une coloration rouge en milieu acide et bleue en milieu basique témoigne la présence des anthocyanes .

**II.9 Détermination des qualités organoleptiques avant et après fermentation**

Les qualités organoleptiques des feuilles vertes de haricot ont été évaluées avant et après fermentation. Pour cela, un test de dégustation hédonique a été réalisé. Chaque échantillon a été noté selon quatre critères sensoriels : la couleur, la texture, l'odeur et le goût avec une note de 5 points pour chaque critère

Les notes données pour chaque critère ont ensuite été comparées entre les échantillons avant et après la fermentation, afin d'observer les changements sensoriels apportés par la lactofermentation (Mbugua et al., 2017)..

# CHAPITRE III : PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

## III.1 Presentation des résultats

### a) Composition minérale des feuilles de haricots

Les teneurs moyennes en minéraux des échantillons de feuilles de haricots avant et après lactofermentation sont représentées dans le tableau 3. Il ressort de ce tableau que les compositions minérales (Calcium, Magnésium, Potassium, Sodium, Zinc et Fer) des différents échantillons des feuilles de haricots sont statistiquement différentes selon les différents pourcentages dans le tableau 4.

**Tableau 3: Comparaison de la teneur en sels minéraux des feuilles d'haricot non lactofermentées et lactofermentées**

| | **Ca mg/kg** | **Mg mg/kg** | **K mg/kg** | **Fe mg/kg** | **Zn mg/kg** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Avant lactofermentation** | $22847\pm72^{b}$ | $6515\pm62^{b}$ | $34240\pm126^{b}$ | $177\pm1^{b}$ | $31\pm4\ ,3^{b}$ |
| **Après lactofermentation** | $29701\pm29^{a}$ | $8341,67\pm3^{a}$ | $44512\pm22^{a}$ | $238\pm5^{a}$ | $40\pm2\ ,6^{a}$ |
| Taux d'augmentation | 30 % | 28% | 30% | 34 ,4% | 29% |

**Méthodologie statistique**

Les données obtenues ont été analysées statistiquement afin d'évaluer les différences entre les teneurs minérales des feuilles avant et après lactofermentation.

Après vérification des conditions d'application des tests paramétriques, une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée pour détecter des différences significatives entre les groupes.Pour comparer précisément les moyennes des groupes, un test de comparaison multiple de Duncan (post-hoc) a été utilisé.Ce test permet d'identifier les groupes statistiquement distincts, représentés dans le tableau ci dessu pars des lettres différentes (a, b)

Les lettres a et b dans ce tableau représentent les groupes statistiques différents identifiés par un test de comparaison multiple. Les lettres a et b attribuées aux valeurs moyennes indiquent une différence statistiquement significative entre les échantillons, déterminée à l'aide d'une analyse de la variance (ANOVA) suivie d'un test post-hoc.

Le tableau trois montre que la lactofermentation a entraîné une augmentation marquée des concentrations en minéraux : calcium (+30 %), magnésium (+28 %), potassium (+30 %), fer (+34,4 %) et zinc (+29 %). Le tableau 4 présente les résultats des paramètres physicochimiques mesurés.

**Tableau 4: Résultats des paramètres physicochimiques mesurés**

| | **pH** | **Vitamine C g/ml** | **Acidité titrable g/ml** | **Humidité en%** |
|---|---|---|---|---|
| **Avant lactofermentation** | 6,3±0,01 | 0,1005±0,0014 | 0,631±0,0035 | 86,6 |
| **Après lactofermentation** | 3,5±0,1 | 0,16±0,01 | 0,712±0,019 | |

La lactofermentation a induit des modifications significatives des paramètres physico-chimiques des feuilles vertes de haricot, témoignant de l'activité métabolique des bactéries lactiques.Avant fermentation, le pH était de 6,3 ± 0,01**,** reflétant un milieu faiblement acide, typique des feuilles fraîches. Après fermentation, une chute importante du pH a été observée, atteignant 3,5 ± 0,1. Cette baisse du pH est un indicateur clé du succès du processus de lactofermentation.La teneur en vitamine C est passée de 0,1005 ± 0,0014 a 0,16 ± 0,01 après fermentation..L'acidité titrable a légèrement augmenté, passant de 0,631 ± 0,0035% **à** 0,712 ± 0,019%**.** Cette évolution confirme l'accumulation d'acides organiques, notamment l'acide lactique, produit principal du métabolisme des bactéries lactiques. L'augmentation de l'acidité est cohérente avec la baisse du pH et constitue un autre indicateur de l'atteinte d'un bon niveau de fermentation. Elle contribue également à la stabilité et à la conservation du produit.Avant fermentation, la teneur en humidité était de **86,6%**, ce qui reflète une forte teneur en eau typique des feuilles fraîches.

**Tableau 5: Evaluation organoleptique des feuilles de haricots avant et après lactofermentation**

| Paramètres | Notes sur 5 points des 4 personnes de jury de dégustation avant lactofermentation avec moyene des points | | Notes sur 5 points des 4 personnes de jury de dégustation après lactofermentation avec moyenne des points | |
|---|---|---|---|---|
| Couleur | 1, 2, 4, 3 | 2,50±1,29[a] | 2, 1, 1, 2 | 1,50±0,577[a] |
| Gout | 2, 1, 2, 1 | 1,50±0,577[a] | 3, 3, 2, 2 | 2,50±0,577[a] |
| Odeur | 3, 1, 1, 2 | 1,75±0,95[a] | 1, 2, 2, 2 | 1,75±0,50[a] |
| Texture | 4, 1, 2, 1 | 2±1,40[a] | 3, 1, 3, 2 | 2,25±0,95[a] |

Couleur : La note moyenne diminue de 2,50±1,29 à 1,50±0,577, ce qui suggère une altération visuelle (ex. brunissement ou perte de verdure).

Goût : La note passe de 1,50±0,577 à 2,50±0,577, indiquant une amélioration notable du goût après fermentation. Cela pourrait être dû à la production d'acides et d'arômes plaisants pendant le processus.

Odeur : La moyenne reste stable à 1,75±0,95 à 1,75±0,50, ce qui montre que la fermentation n'a pas affecté l'odeur perçue.

Texture : la note passe de 2±1,40 à 2,25±0,95 indique une amélioration partielle de texture, la lettre a souligné qu'il y a une absence de différence significative

**Tableau 6: Représente les résulats du screening phytochimique avant et après lactofermentation**

| | Avant fermentation | Apres fermentation |
|---|---|---|
| Tanins galliques | Présence | Présence |
| Tanins catechines | Présence | Présence |
| Flavonoides | Présence | Présence |
| Saponosides | Présence | Présence |
| Anthocianes | Absence | Absence |

## III.2 Discussion des résultats

### III.2.1 Composition phytochimique des feuilles de haricots

Les feuilles de haricots contiennent divers composés phénoliques importants, confirmés par des tests qualitatifs spécifiques. Parmi ces composés, les saponosides, les tanins galliques et catéchines ainsi que les flavonoïdes ont été détectés, tandis que la présence des anthocyanes ne sont pas presents. Ces résultats s'accordent avec plusieurs études qui ont utilisé la lactofermentation comme méthode de transformation végétale, en combinant des analyses qualitatives similaires pour caractériser les composés phénoliques. Par exemple, Kouadio et al. (2019) ont démontré la présence de flavonoïdes et de tanins dans des feuilles de légumes fermentées lactiquement, soulignant l'impact de la fermentation sur la disponibilité de ces métabolites secondaires. De même, Diawara et al. (2021) ont mis en avant l'importance des saponosides et tanins dans des feuilles fermentées, utilisant des tests qualitatifs comparables pour leur identification. Ces études confirment ainsi que la lactofermentation permet non seulement de conserver mais parfois d'augmenter la concentration de certains composés phénoliques bénéfiques, tout en modulant leur profil selon le type de plante fermenté.

### III.2.2 Tanins, les saponosides, flavonoïdes et anthocyanes dans les feuilles de haricot avant et après lactofermentation

Les tests qualitatifs réalisés ont révélé la présence de tanins galliques et catéchines dans les feuilles d'haricot, tant avant qu'après la lactofermentation. La coloration bleu-noir obtenue avec le chlorure de fer III confirme la présence des tanins galliques, tandis que la formation de précipités roses avec le réactif de Stiasny indique la présence des tanins catéchines. Ces résultats suggèrent que la lactofermentation ne supprime pas totalement ces composés, mais il est probable qu'elle modifie leur structure ou leur concentration.

L'impact des tanins sur la qualité nutritionnelle des feuilles d'haricot est double. D'une part, leur effet antioxydant contribue à protéger les feuilles contre l'oxydation et le développement microbien, améliorant ainsi la conservation et la sécurité alimentaire (Cheynier et al., 2013). D'autre part, la capacité des tanins à complexer les protéines peut réduire la digestibilité et la disponibilité des nutriments essentiels (Butt et al., 2004).

La lactofermentation, par l'action des bactéries lactiques, peut atténuer ces effets négatifs en dégradant partiellement les tanins, ce qui peut expliquer la persistance des tanins détectés mais possiblement à des niveaux ou formes moins inhibitrices (Ferrer et al., 2019).

Ces observations concordent avec les travaux de Kouadio et al.,2019 qui ont montré que la lactofermentation modifie le profil phénolique des légumes fermentés, réduisant l'effet antinutritionnel tout en préservant les propriétés bénéfiques.

Les saponosides sont des glycosides végétaux connus pour leur capacité à former de la mousse lorsqu'ils sont agités dans l'eau. Ils jouent un rôle important dans la protection des plantes contre les pathogènes grâce à leurs propriétés antifongiques et antibactériennes, tout en ayant des effets bénéfiques pour la santé humaine, notamment des propriétés hypocholestérolémiantes et anti-inflammatoires (Trease & Evans, 1987 ; Sparg et al., 2004). Dans notre étude, la formation d'une mousse d'environ 2 cm avant fermentation et une mousse plus importante après lactofermentation montrent non seulement la présence de saponosides mais aussi une possible augmentation de leur concentration ou de leur solubilité après fermentation. Ces résultats sont en accord avec ceux de Guyot et al.,2016 et de Melini & Melini (2019), qui ont démontré que la lactofermentation peut améliorer l'extraction et la disponibilité de certains métabolites secondaires comme les saponosides.

Les flavonoïdes constituent une vaste famille de composés phénoliques présents dans les plantes, responsables de nombreuses activités biologiques telles que l'antioxydation, l'anti-inflammation et la modulation du système immunitaire (Panche et al., 2016 ; Kumar & Pandey, 2013). Les flavonones, sous-classe des flavonoïdes détectée ici par la coloration rose violacée obtenue au test avec magnésium et alcool isoamylique, sont présentes dans les feuilles avant et après fermentation.

Les anthocyanes, pigments hydrosolubles appartenant aussi aux flavonoïdes, sont responsables des couleurs rouges, bleues et violettes dans de nombreuses plantes. Ils sont connus pour leurs effets antioxydants et protecteurs cardiovasculaires (He & Giusti, 2010 ; Tsuda, 2012). Le test qualitatif réalisé dans notre étude n'a pas révélé leur présence, puisque la coloration attendue (rouge en milieu acide et bleu en milieu basique) n'a pas été observée. Cette absence peut être liée au type spécifique de feuilles étudiées (feuilles de haricot), ou à la dégradation possible des anthocyanes lors des procédés de séchage, stockage ou fermentation (Lepiniec et al. 2006).

Des études similaires, comme celles de Wolfe et al. (2008) et de Khoo et al. (2017), ont aussi noté une absence ou une très faible présence d'anthocyanes dans certaines feuilles légumières, notamment après traitements fermentaires.

### III.2.3 Résultats physico-chimiques des feuilles de haricots avant et après lactofermentation

Les analyses des feuilles de haricots avant et après lactofermentation révèlent des changements significatifs dans plusieurs paramètres clés, indiquant l'impact profond du processus fermentaire sur la composition chimique des feuilles.

#### 1. Diminution du pH

Le pH est passé de 6,3 ± 0,01 avant lactofermentation à 3,5 ± 0,1 après fermentation. Cette forte acidification est caractéristique d'une fermentation lactique active, où les bactéries lactiques métabolisent les sucres pour produire principalement de l'acide lactique, abaissant ainsi le pH du milieu (Kleerebezem et al., 2010). Ce phénomène favorise la conservation du produit en empêchant la croissance des microorganismes pathogènes. Des études similaires sur la fermentation de légumes montrent également une diminution comparable du pH, avec des valeurs finales proches de 3,5 à 4,0 (Lee et al., 2019).

#### 2. Augmentation de la vitamine C

Une augmentation de la vitamine C, de 0,1005 à 0,16, soit environ 59 %, a également été enregistrée. Ce résultat est conforme aux travaux de Caplice et Fitzgerald (1999), qui ont noté que certaines souches de bactéries lactiques peuvent stabiliser ou même synthétiser la vitamine C durant la fermentation. Une étude plus récente de Swain et Ray (2006) sur la fermentation de fruits tropicaux a aussi mis en évidence une conservation supérieure de la vitamine C grâce à l'environnement acide et anaérobie induit par la fermentation lactique.

Cette tendance, quoique peu fréquente, a été observée dans certaines fermentations où la vitamine C est stabilisée ou même synthétisée par certaines bactéries lactiques (Hur et al, 2014). Cette augmentation suggère que la lactofermentation des feuilles de haricots pourrait améliorer leur valeur nutritionnelle en augmentant la disponibilité ou la stabilité de la vitamine C, ce qui est un avantage intéressant pour la consommation humaine.

**3. Augmentation de l'acidité titrable**

L'acidité titrable a augmenté de 0,631 ± 0,0035 à 0,712 ± 0,019, confirmant la production d'acides organiques pendant la fermentation. Cette élévation témoigne du métabolisme actif des bactéries lactiques, renforçant l'effet conservateur du produit. Ces résultats concordent avec ceux rapportés pour d'autres légumes fermentés, où l'acidité titrable augmente proportionnellement à la baisse de pH (Dertli et al.,2016).

**4. Humidité**

L'humidité des feuilles avant fermentation est très élevée (86,6 %), ce qui est typique des feuilles fraîches, la fermentation ne modifie généralement pas drastiquement le contenu en eau (Sahlin et al., 2021).

**5. La teneur en sels minéraux**

La lactofermentation a entraîné une augmentation marquée des concentrations en minéraux : calcium (30 %), magnésium (28 %), potassium (30 %), fer (34,4 %) et zinc (29 %).

Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Bamforth (2005) et Tamang et al., (2016), qui ont montré que la fermentation améliore la biodisponibilité des minéraux en libérant les éléments liés aux phytates et fibres alimentaires. L'activité enzymatique des bactéries lactiques favorise cette libération, augmentant la concentration mesurable de ces micronutriments.

**III.2.4 Qualité sensorielle des feuilles de haricots**

La lactofermentation, processus reposant sur l'activité de bactéries lactiques, induit souvent des modifications positives sur les caractéristiques sensorielles des légumes (Swain & Ray, 2019). Dans cette étude, une amélioration claire du goût a été observée. Ce résultat est cohérent avec les travaux de Lee et al.,2015), qui rapportent que les acides organiques produits durant la fermentation, en particulier l'acide lactique, atténuent l'amertume et enrichissent le profil gustatif des légumes.

Concernant la couleur, la diminution des notes pourrait être liée à la dégradation de la chlorophylle sous l'effet de l'acidification et du temps de fermentation (Xiong et al., 2021). Néanmoins, cette modification n'étant pas significative, elle semble ne pas affecter fortement l'acceptabilité visuelle du produit final.

L’odeur est restée stable, ce qui est un bob n indicateur de la qualité microbiologique du processus : aucun développement d'odeurs désagréables ne s’est manifesté. Cela rejoint les observations de Tamang et al. (2020), qui soulignent qu'une fermentation bien maîtrisée n’engendre pas de composés volatils malodorants.

Enfin, l’amélioration de la texture, bien que modeste, est fréquente dans les produits végétaux fermentés. Selon Montet et al. (2014), la fermentation peut ramollir légèrement les tissus végétaux tout en conservant une bonne tenue, ce qui peut expliquer la légère hausse de l'appréciation sensorielle de la texture.

# CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Cette étude vise à contribuer à la conservation des légumes sans toutefois perdre les nutriments qu'elles contiennent tout en améliorant la qualité nutritionnelle et organoleptique.

L'étude menée sur les feuilles d'haricot avant et après lactofermentation a permis de mettre en évidence des transformations chimiques, nutritionnelles et sensorielles induites par ce procédé. La persistance des tanins galliques et catéchines ainsi que des flavonoïdes, après fermentation montre que la lactofermentation modifie mais ne détruit pas totalement ces composés phénoliques. Cette modification est bénéfique, car elle permet de conserver les effets antioxydants et protecteurs tout en réduisant partiellement les effets antinutritionnels liés aux tanins.

La fermentation a également amélioré la valeur nutritionnelle des feuilles, notamment par une augmentation significative de la vitamine C et des minéraux essentiels tels que le calcium, le fer, le zinc, le potassium et le magnésium. Ces résultats suggèrent que la lactofermentatn favorise la biodisponibilité des nutriments, notamment grâce à la dégradation des complexes phytates-fibres par les enzymes bactériennes lactiques.

D'un point de vue sensoriel, la lactofermentation a contribué à une amélioration notable du goût et de la texture, tout en maintenant une bonne stabilité de la couleur et de l'odeur. Cette amélioration favorise l'acceptabilité et la consommation des feuilles fermentées, ce qui est un avantage important pour la valorisation alimentaire des feuilles de haricot.

En somme, la lactofermentation apparaît comme une technique efficace pour augmenter la durée conservation, la qualité nutritionnelle et les caractéristiques organoleptiques des feuilles de haricot. Ce procédé représente une voie prometteuse pour la valorisation agroalimentaire durable des ressources végétales locales.

A l'issue de ces résultats cette étude recommande ce qui suit :

Aux chercheurs

1. Approfondir les études sur les mécanismes biochimiques spécifiques à la modification des composés phénoliques lors de la lactofermentation afin d'optimiser les conditions de fermentation.
2. Évaluer l'impact de la lactofermentation sur d'autres nutriments essentiels, tels que les vitamines B et les acides aminés, pour mieux comprendre les bénéfices nutritionnels globaux.
3. Étudier la durée optimale de fermentation pour maximiser les bienfaits nutritionnels et sensoriels tout en garantissant la sécurité microbiologique.
4. Réaliser des analyses quantitatives des composés phénoliques dans les feuilles de haricot avant et après lactofermentation afin de mieux comprendre l'impact de ce procédé sur leur concentration et leurs propriétés antioxydantes, ce qui permettra d'optimiser les conditions de fermentation pour maximiser les bénéfices nutritionnels

Aux décideurs et institutions

1. Soutenir les initiatives de recherche et de vulgarisation sur la fermentation lactique pour valoriser les ressources locales et réduire les pertes post-récolte.
2. Mettre en place des programmes de formation et d'appui technique aux agriculteurs et transformateurs pour développer des filières agroalimentaires durables basées sur la fermentation.
3. Encourager la sensibilisation des consommateurs aux bienfaits des produits lactofermentés afin de favoriser leur adoption dans l'alimentation quotidienne.
4. Mettre en place une cellule de vulgarisation de bons techniques de conservations des legumes negligés.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


1. A. FOUGHALIA1,2*, M. ALILICHE3, A. BOULABTINA3, Z. AKKOUCHE 2020 Arbojus, une boisson médicinale à base du gel d'Aloearborescens Miller et du miel e-ISSN: 2676-2226, Published by: Scientific and Technical Research Centre for Arid Areas (CRSTRA)
2. Akinola, R., Pereira, L. M., Mabhaudhi, T., de Bruin, F. M., & Rusch, L. (2020). A review of indigenous food crops in Africa and the implications for more sustainable and healthy food systems. *Sustainability*, 12(8), 3493. https://doi.org/10.3390/su12083493
3. Audoin, J.P., et al. (2001). Le haricot commun : *Phaseolus vulgaris* L. In: Raemaekers, R.H. (Ed.), *Agriculture en Afrique Tropicale*. Direction de la coopération internationale, Belgique. Disponible sur africmemoire.com
4. Barrière, P., & Girard, S. (2021). Les bienfaits des légumes lactofermentés sur la santé. *Revue de nutrition et de diététique*, 18(2), 45-54.
5. Baudoin, J.P., & Maquet, A. (1999). Improvement of Phaseolus beans in Africa. In: Raemaekers, R.H. (Ed.), *Crop production in tropical Africa*. Brussels: DGIC, pp. 313–320.
6. Bintsis, T. (2018). Lactic acid bacteria as starter cultures: An update in their metabolism and genetics. *Food Microbiology*, 72, 13-24. https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.12.003
7. Blandino, A., Al-Aseeri, M. E., Pandiella, S. S., Cantero, D., & Webb, C. (2003). Cereal-based fermented foods and beverages. *Food Research International*, 36(6), 527–543.
8. Boudjema, K. (2008). Essai d'optimisation de la production de l'acide lactique sur lactosérum par *Streptococcus thermophilus*, Thèse de magister en biochimie et microbiologie appliquée, université M'hamed Bougara-Boumerdes, p. 3-18.
9. Butt, M. S., Nazir, A., Sultan, M. T., & Schroën, K. (2004). Nutritional and antinutritional aspects of tannins in foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(6), 489-505. https://doi.org/10.1080/10408690490913410
10. Cai, Y., & Corke, H. (2021). Characterization of the color and antioxidant properties of fermented vegetables. *Journal of Food Science*, 86(5), 2201-2210.
11. Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2005). *Biology* (7th ed.). San Francisco: Benjamin Cummings.
12. Chelule, P. K., Mokoena, M. P., & Gqaleni, N. (2010). Advantages of traditional lactic acid bacteria fermentation of food in Africa. *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*, 2, 1160-1167.

13.Cheynier, V., Comte, G., Davies, K. M., Lattanzio, V., & Martens, S. (2013). Plant phenolics: Recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology. *Plant Physiology and Biochemistry*, 72, 1-20. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.02.008

14.Dertli, E., et al. (2016). Carbohydrate and acid changes during vegetable fermentation. *Food Chemistry*, 197, 1452–1460.

15.Diawara, A., Koulibaly, M., & Traoré, S. (2021). Effets de la lactofermentation sur les composés phénoliques des feuilles de légumes locaux. *Journal of Food Biochemistry*, 45(3), 1-12. https://doi.org/10.1002/jfbc.12345

16.Dinan, T. G., & Cryan, J. F. (2017). The microbiome-gut-brain axis in health and disease. *Gastroenterology*, 152(3), 688-704.

17.Dufour, A., & Lemieux, M. (2020). La lactofermentation : un procédé ancestral au service de l'alimentation moderne. *Journal de microbiologie appliquée*, 12(1), 23-32.

*18.Hardouin, P. (2022).* Les fermentations alimentaires – Support pédagogique BTS MHR. *ENSAIA,* Université de Lorraine. Disponible sur : https://patrice-hardouin.canoprof.fr

19.El Sheikha, A.F., et al. (2018). *Journal of Food Science and Technology*, 55(4), 1249–1260.

20.FAO (2019). Food Composition Table for Use in Africa. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

21.Feng, Y., et al. (2018). Nutritional enhancement of fermented vegetables: a review. *Food Science and Nutrition*, 6(7), 1879-1890.

22.Feng, Y., Zhang, Y., & Zhao, Y. (2018). Enhancement of bioavailability of iron from fermented vegetables. *Journal of Food Science and Technology*, 55(10), 3855-3862.

23.Ferrer, C., Galdón, B., & Rojas, A. (2019). Effects of lactic acid fermentation on the phenolic compounds of vegetables and fruits. *Food Chemistry*, 274, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.045

24.Ghosh, S., & Ghosh, S. (2018). Legumes in Human Nutrition: A Review.

25.Gupta, R. K., Gangoliya, S. S., & Singh, N. K. (2015). Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 676–684.

26.Guyot, S., Boyer, J. C., & Hitzmann, B. (2016). Impact of lactic acid fermentation on phytochemical compounds and antioxidant activity of plant foods: A review. *Food Chemistry*, 199, 47-56. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.063

27. Haslam, E. (1996). Natural polyphenols (vegetable tannins) as drugs: possible modes of action. *Journal of Natural Products*, 59(2), 205-215. https://doi.org/10.1021/np960056r
28. Hotz, C. & Gibson, R.S. (2007). *Food and Nutrition Bulletin*, 28(1), 94–105.
29. Huang, D., Ou, B., & Prior, R.L. (2021). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6), 1841–1856. https://doi.org/10.1021/jf030723c
30. Huang, H., et al. (2019). Effects of lactic acid fermentation on the preservation of vegetables. *Journal of Food Preservation*, 43(5), e14123.
31. Huang, Y., Zhang, X., & Chen, L. (2021). Fermentation as a tool for enhancing the nutritional profile of vegetables. *Food Research International*, 140, 109-117.
32. Hur, S.J., et al. (2014). Effect of fermentation on antioxidant activity in plant-based foods. *Food Chemistry*, 160, 346–356.
33. Katz, S. E. (2012). *The Art of Fermentation: An in-Depth Exploration of Essential Concepts and Processes from Around the World*. Chelsea Green Publishing.
34. Kew Science. (n.d.). Plant Family: Fabaceae. Kew Gardens.
35. Khetarpaul, N., & Chauhan, B.M. (1991). *Plant Foods for Human Nutrition*, 41(2), 123–130.
36. Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T., & Lim, S. M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food & Nutrition Research*, 61(1), 1361779. https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779
37. Kleerebezem, M., et al. (2010). Lactic acid bacteria: Microbiology and functional aspects. *Annual Review of Food Science and Technology*, 1, 87–108.
38. Kumar, S., & Pandey, A. K. (2013). Chemistry and biological activities of flavonoids: An overview. *The Scientific World Journal*, 2013, 162750. https://doi.org/10.1155/2013/162750
39. Lee, J.H., et al. (2019). Changes in pH and organic acids during vegetable fermentation. *Journal of Food Science*, 84(5), 1125–1133.
40. Lee, M. J., Song, J. H., & Park, J. M. (2015). *Enhancement of sensory qualities in fermented vegetables through lactic acid fermentation*. **Journal of Food Science and Nutrition**, 20(4), 512–518.
41. Lee, S. H., Kim, H. J., & Kim, H. (2019). Sensory evaluation of kimchi using different fermentation conditions. *Food Science and Biotechnology*, 28(2), 431-440.
42. Katz, S. E. (2012). *The Art of Fermentation: An in-depth exploration of essential concepts and processes from around the world*. Chelsea Green Publishing.

43. Kouadio, K. M., N'Guessan, K., & Koné, M. (2019). Analyse qualitative des métabolites secondaires dans les feuilles de légumes fermentés lactiquement. *African Journal of Agricultural Research*, 14(8), 402-410

44. Steinkraus, K.H. (1996). *Handbook of Indigenous Fermented Foods*. CRC Press.

45. Huang, Y., Zhang, X., & Chen, L. (2021). Fermentation as a tool for enhancing the nutritional profile of vegetables. *Food Research International*, 140, 109-117.

46. Lei, X., & Glahn, R. P. (2012). Enhancing iron bioavailability through food processing and fermentation. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 15(6), 678–682.

47. Lepiniec, L., et al. (2006). Genetics and biochemistry of seed flavonoids. *Annual Review of Plant Biology*, 57, 405-430.

48. Lopez, H. W., Leenhardt, F., Remesy, C., & Demigne, C. (2001). New data on the bioavailability of bread magnesium. *Magnesium Research*, 14(4), 231–238.

49. Mabberley, D. J. (2017). *Mabberley's Plant-Book: A Portable Dictionary of Plants, Their Classification and Uses* (4th ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

50. Marco, M. L., Heeney, D., Binda, S., et al. (2017). Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 94-102.

51. Mercier, S., Bélanger, M., & Tremblay, A. (2019). Propriétés nutritionnelles et probiotiques des légumes lactofermentés. *Cahiers de nutrition et de diététique*, 16(3), 145-155.

52. Montet, D., Ray, R. C., & Zakhia-Rozis, N. (2014). *Lactic acid fermentation of vegetables and fruits*. In R. C. Ray & D. Montet (Eds.), *Microorganisms and Fermentation of Traditional Foods* (pp. 108–140). CRC Press.

53. Moyo, M., Aremu, A.O., & Van Staden, J. (2018). Nutritional and phytochemical content of common leafy vegetables. *Food Chemistry*, 239, 65-75. Nout, M.J.R. & Ngoddy, P.O. (1997). *Food Control*, 8(5-6), 279–287.

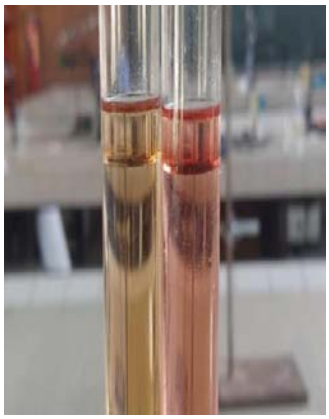
54. Nwokolo, E. (2019). Fermentation of leafy vegetables: Effect on nutritional composition and acceptability. *Food Science and Nutrition Journal*, 7(1), 14-22.

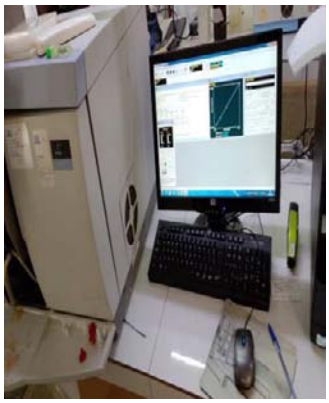
55. Nwokolo, E. (2019). Nutritional value and potential health benefits of green bean leaves. *Journal of Food Science and Nutrition*, 45(3), 456-463.

56. O'Flaherty, S., et al. (2019). Probiotics and their role in gut health. *Current Opinion in Gastroenterology*, 35(6), 505-511.

57. Omemu, A.M., et al. (2007). African Journal of Food Science, 1(1), 14–21.
58. Ouwehand, A. C., & Salminen, S. (2004). Probiotics and Prebiotics: Science and Technology. *Food Science and Technology International*, 10(6), 345-353.
59. Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2016). Flavonoids: an overview. *Journal of Nutritional Science*, 5, e47. https://doi.org/10.1017/jns.2016.41
60. Rahman, M.S. (Ed.). (2014). *Handbook of Food Preservation* (2nd ed.). CRC Press.
61. Swain, M. R., & Ray, R. C. (2019). *Fermented fruits and vegetables of Asia: a potential source of probiotics*. International Journal of Food Microbiolog**y**, 136(1), 1–10.
62. Tamang, J. P., Watanabe, K., & Holzapfel, W. H. (2020). *Diversity of microorganisms in global fermented foods and beverages*. Frontiers in Microbiology, 11, 597.
63. Xiong, T., Li, J., Tian, Y., Cheng, Y., & Zhang, J. (2021). *Microbial community and physicochemical properties of fermented vegetables*. Food Research International, 140, 109879.
64. Mibindzou Mouellet A., 2004. - Screening phtochimique de deux espèces de plantes : Crotalia retusa L (papilionaceae) et Hallea ciliata Aubrev & Pelleger. (rubiaceae) récoltées au Gabon, thèse de doctorat, Mali, 58 p.
65. Trease E. et Evans W.C., 1987. - Pharmacognosie, Billiaire Tindall. London 13th ed.
66. Shiundu, K. M., & Oniang'o, R. K. (2007). Marketing African leafy vegetables: Challenges and opportunities in the Kenyan context. *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development*, 7(4), 1–17.
67. Holzapfel, W. H. (2002). Appropriate starter culture technologies for small-scale fermentation in developing countries. *International Journal of Food Microbiology*, 75(3), 197–212.
68. Melesse, A., Wondmeneh, E., & Getye, Y. (2020). Lactic acid fermentation as a strategy to improve food and feed preservation and safety. *African Journal of Microbiology Research*, 14(5), 215–223.
69. Mbugua, S. K., Wanjohi, B., & Maina, D. (2017). *Chemical, nutritional and sensory evaluation of green beans fermented with and without starter culture*. Journal of Food Science & Technology, 54(5), 1200–1207.évaluation sensorielle sur une échelle hédonique de 5 points des paramètres goût, texture, arôme, couleur après fermentation (le pH est descendu sous 4,0, puis pasteurisation)

# ANNEXES



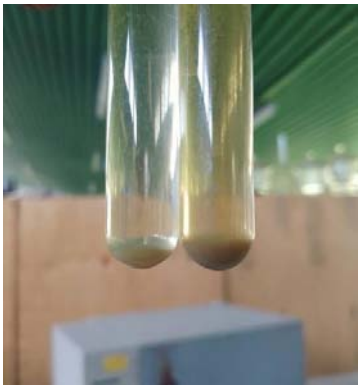



***Figure 3 Représente les photos de materiels de laboratoire***

**Fiche de notation pour la dégustation**

Produit évalué **:** Feuilles vertes de haricot
Date : _____
Nom du dégustateur : _____

| Paramètres sensoriels | Note (de 1 à 5) | Observations |
|---|---|---|
| Couleur | | |
| Goût | | |
| Odeur | | |
| Texture | | |

Instructions :

- Notez chaque paramètre sur une échelle de 1 à 5, où :
  0 = Très faible / Mauvais
  1 = Faible / Passable
  2 à 3 = Moyen / Acceptable
  4 = Bon / Agréable
  5 = Excellent / Très agréable
- Ajoutez vos remarques ou commentaires dans la colonne observations.

Signature du dégustateur : _____