



RESEARCH ARTICLE

CONSERVATION DES FRUITS ET LEGUMES DE COTE D'IVOIRE PAR LACTOFERMENTATION

PRESERVATION OF FRUITS AND VEGETABLES FROM CÔTE D'IVOIRE THROUGH LACTOFERMENTATION

Kouassi Ernest Kakou¹, N'Guessan Verdier Abouo^{1,2}, Igor Landry Arsène Nogbou^{1,3}, Naomie Ruth Koudou¹, Djédjro Clément Akmel¹ and Nogbou Emmanuel Assidjo¹

1. Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèses de l'Environnement et des Energies Nouvelles (LAPISEN), INPHB, BP 1083 Yamoussoukro.
2. Laboratoire de Biotechnologie, Agriculture et Valorisation des Ressources Biologiques (LBAVRB), UFHB, UFR Biosciences, 22 BP 582 Abidjan 22.
3. Laboratoire de Biochimie Alimentaire et de Technologies des Produits Tropicaux (LBATPT), UNA, UFR STA, 02 BP 801 Abidjan 02.

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 19 September 2024

Final Accepted: 27 October 2024

Published: November 2024

Key words:-

Lactic Fermentation, Vegetables,
Physicochemical Characteristics,
Biochemical Characteristics,
Microbiological Characteristics

Abstract

This study aims to enhance the value of local fruits and vegetables through lactofermentation. Four compositions were tested: "tomato," "tomato + garlic," "salad," and "salad + garlic," fermented at 32 °C for 21 days. The parameters analyzed included pH, lactic acidity, total sugars, vitamin C, pathogenic flora, and lactobacilli. The results showed a decrease in pH, from 5.7 at the start of fermentation to 3.9 after 21 days. Meanwhile, vitamin C content increased significantly, reaching 74.12 mg/l compared to the initial 18.34 mg/l. However, total sugar levels decreased in all compositions. No pathogenic microorganisms, such as Salmonella or E. coli, were detected. Lactobacilli concentrations increased substantially. For "tomato" and "tomato + garlic," levels rose from 2.82 ± 0.04 CFU/g (Log10) to 7.00 ± 0.04 CFU/g and 7.27 ± 0.04 CFU/g, respectively. For "salad" and "salad + garlic," concentrations increased from 3.2 ± 0.05 CFU/g to 7.12 ± 0.04 CFU/g and 6.94 ± 0.04 CFU/g, respectively. In conclusion, lactofermentation enhances the nutritional quality of vegetables while inhibiting pathogens, offering an effective method for their preservation and valorization.

Copyright, IJAR, 2024,. All rights reserved.

Introduction:-

Les légumes sont des aliments complémentaires de choix pour renforcer la résistance de l'organisme face aux maladies car, ils fournissent à celui-ci des éléments essentiels tels que les vitamines, les sels minéraux, les antioxydants, les fibres alimentaire, etc. [1]. En 2010, la production nationale ivoirienne des légumes était estimée à plus de 850 000 tonnes (légumes type européen et traditionnel) selon le plan directeur de l'horticulture de Côte d'Ivoire 2006/2025 [2]. Malheureusement la plupart des légumes, en plus d'être saisonniers, sont de nature très périssable [3]. Ils subissent donc d'importantes pertes après-récolte depuis le champ des agriculteurs jusqu'au consommateur [2]. En Côte d'Ivoire, on note des pertes annuelles d'environ 61% de la production des fruits et légumes [4]. Ces fortes pertes post-récoltes entraînent des moments de pénurie des légumes réduisant ainsi la

Corresponding Author:- Kouassi Ernest Kakou

Address:- Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèses de l'Environnement et des Energies Nouvelles (LAPISEN), INPHB, BP 1083 Yamoussoukro.

disponibilité alimentaire et l'apport nutritionnel pour les populations. A ce jour, en Côte d'Ivoire, la consommation de légumes se limite à 100g/personnes/jour [2], bien en deçà des 400g/personnes/jour recommandés par l'OMS.

La transformation est une alternative de conservation des légumes pour limiter les pénuries et par ricochet, résoudre les problèmes qu'ils engendrent. Il existe plusieurs techniques de transformation, notamment la cuisson, le séchage, le fumage, l'appertisation, etc. Cependant, en Côte d'Ivoire, très peu de techniques sont développées pour la conservation des légumes. Selon les résultats d'une étude du Centre de Promotion des Investissements en Côte d'Ivoire (CEPICI) seulement 1% de la production annuelle de légumes est transformée [2]. L'option la plus connue et intégrée aux habitudes alimentaires des Ivoiriens reste le séchage qui peut être une technique onéreuse, quand elle ne dépend pas des conditions climatiques. En outre, le traitement thermique effectué lors du séchage peut affecter fortement les qualités nutritives des aliments. Ainsi, l'exploration d'autres méthodes de conservation respectueuses de la qualité nutritionnelles et qui contribuent à la réduction des pertes post-récolte permettraient d'apporter une plus-value pour les producteurs.

Parmi les différentes technologies existantes, la lactofermentation est considérée comme une biotechnologie précieuse pour améliorer les propriétés nutritionnelles, sensorielles et de durée de conservation des fruits et légumes. La lactofermentation est un moyen de conservation par acidification, obtenu grâce à la croissance de bactéries lactiques [5]. Elle joue différents rôles dans la transformation des aliments, de sorte que, des changements biochimiques souhaitables se produisent. De plus, la lactofermentation représente le moyen le plus simple et le plus approprié d'augmenter la consommation quotidienne de fruits et légumes presque frais [6]. C'est dans ce contexte que découle cette étude sur la conservation des fruits et légumes par lactofermentation. Cette étude vise à valoriser les fruits et légumes locaux par la lactofermentation. De manière spécifique, il s'agira de :

- Fermenter différents types de légumes à savoir la tomate et une salade de légumes (chou, carotte et concombre) sur une période de sept (7) à 21 jours à température ambiante ;
- Déterminer les caractéristiques physicochimiques et nutritionnelles de ces différents types de légumes fermentés selon le temps de fermentation ;
- Déterminer les caractéristiques microbiologiques de tous ces légumes fermentés en fonction du temps de fermentation ;
- Evaluer l'impact du type de légumes et du temps de fermentation sur les caractéristiques nutritionnelles et microbiologiques.

Materiel:-

Materiel Biologique

Le matériel biologique utilisé pour cette étude se compose de Légumes, sel de cuisine et d'ail. Les légumes sont composés de carotte, chou et concombre. Ces légumes ont été choisis en raison de leur disponibilité sur le marché dans la période du travail. L'ensemble du matériel biologique a été acheté sur le marché de Yamoussoukro, ville située au centre de la Côte d'Ivoire.

Methode De Conditionnement Et De Fermentation

Dans cette étude quatre types de composition de légumes ont été expérimentés. Il s'agit de : « tomate » ; « tomate + ail » ; « salade » ; « salade + ail ». La salade est constituée d'un mélange de chou, la carotte et le concombre découpé en julienne, râpés et lamelles, respectivement. L'ail ajouté à la tomate n'a pas été découpé tandis que celui des salades a été râpé. Un total de 80 bocaux en verres de 900 mL de contenance a été préparées. Ainsi, ils ont été préalablement lavés et stérilisés à 160°C au four pasteur pendant 2 heures et laissés refroidis avant la réception des légumes. Les quatre types de composition de légumes ont été réparties dans les bocaux à raison de 20 par type. Les échantillons de « tomate » et « tomate + ail » ont été conditionnés avec un volume de 400 mL de saumure à 2% de sel de mer. Quant aux échantillons de « salade » et « salade + ail » ils ont été massés avec 1% de sel jusqu'à pénétration totale du sel, puis tassé dans les bocaux (810 g de salade) en prenant soin de bien les recouvrir de leur jus.

Methodes:-

Conditions De Fermentation Et Echantillonnage

Après remplissage des bocaux, ceux-ci ont été conservés au laboratoire à température ambiante de $32,02 \pm 0,77$ °C pour la fermentation. Pour les analyses physico-chimiques, biochimiques et microbiologiques des prélèvements ont été réalisés à 0, 7, 14 et 21 jours de conservation. Au jour 0, un bocal a été prélevé pour chaque essais et pour les

autres jours 3 bocaux tirés au hasard. Un bocal a servi pour les analyses microbiologiques et les deux autres pour les analyses physico-chimiques et biochimiques. Toutes les analyses ont été réalisées en triples, pour chaque essai. Les échantillons de « tomate » et « tomate + ail » ont été retirés de leur saumure puis broyés avant analyse.

Méthodes d'analyse physico-chimiques

DETERMINATION DU pH

La mesure du pH s'est faite selon la méthode [7]. L'électrode du pH-mètre de marque Hanna est trempée dans un mélange homogène de 5 g de broyats dans 50 ml d'eau distillée sous agitation et le pH est automatiquement lu à l'écran.

Dosage De L'acidité Lactique

Elle a été déterminée selon la méthode [7]. Ainsi, une masse P de 5 g de chaque échantillon broyé a été diluée dans 50 ml d'eau distillée. Puis un volume de 10 ml de la solution diluée a été dosé en y versant la solution de NaOH, après ajout de 3 gouttes de l'indicateur, jusqu'à obtention d'une couleur rose. Soit N_1 , la normalité de la solution. Pour les aliments trop colorés, un pH mètre est utilisé pour la détection du point de virage (pH 8,3 pour la phénolphthaléine). L'acidité lactique (AcL) est calculée, en milliéquivalent d'acides lactiques pour 100 g (méq.g/100g), selon la formule (1) ; 0,09 étant la masse en g d'un milliéquivalent d'acide lactique.

$$\text{AcL(méq. g /100g)} = \frac{N_1 \times 10^5}{P} \times 0,09 \quad (1)$$

Détermination Du Taux En Cendres Totales

Le taux de cendre a été déterminée selon la méthode [7]. La teneur en cendres a été déterminée par incinération de 5 g d'échantillon dans un four à moufle à 550 °C pendant 5h. Le résidu blanchâtre a été pesée après refroidissement dans un dessiccateur. Le taux de cendres est exprimé en pourcentage de masse sèche.

Méthodes D'analyse Biochimique

Détermination De La Teneur En Protéines

Les protéines ont été dosées par la méthode de Biuret selon [8]. Dans un premier lieu, à partir d'une solution d'ovalbumine à 20 mg/mL, une gamme étalon est réalisée avec 5 tubes contenant des concentrations croissantes de 5 à 20 mg par tube. Pour l'échantillon de concentration inconnue, 1,25 g de broyats a été reconstitués dans 25 ml d'eau distillée. Ensuite, 5 ml de TCA (Acide Trichloracétique) à 20% a été ajouté. Le mélange a été agité à puis mis en repos pendant 15 min. Enfin, 15 ml de NaOH à 0,1% ont été dissout dans le précipité recueilli. La détermination des densités optiques à 540 nm des solutions de protéines de concentrations inconnues et des tubes étalons s'est faite avec le spectrophotomètre de marque Jenway Genova Plus. Ces densités optiques, rapportées sur la courbe étalon, ont permis de déterminer la teneur en protéines des échantillons.

Détermination De La Teneur En Sucres Reducteurs Et Totaux

Les sucres réducteurs et totaux ont été dosés après extraction des sucres hydrosolubles. Cela a consisté à délayer de 5 g de broyats d'échantillon dans 50 mL d'eau distillée, préalablement chauffée à 60°C, jusqu'à refroidissement complet. Le mélange est ensuite filtré sur du papier filtre et le filtrat, recueilli dans une fiole de 100 mL, est complété avec de l'eau distillée, jusqu'au trait de jauge.

Dosage Des Sucres Reducteurs

Les sucres réducteurs ont été dosés selon la méthode de [9] utilisant l'acide 3,5-dinitrosalicylique (DNS). Ainsi, à 100 µL d'extrait hydrosolubles de sucres sont ajoutés 100 µL d'eau distillée et 200µL de DNS. Ce mélange est agité et chauffé au bain marie bouillant pendant 5 min puis, 3,6 mL d'eau distillée y ont été ajoutés, après refroidissement. Le mélange est agité légèrement et chauffé au bain marie bouillant pendant 5 min, puis, 3,6 mL d'eau distillée y ont été ajoutés, après refroidissement. La lecture de la densité optique s'est effectuée à 540 nm au spectrophotomètre de marque Jenway Genova Plus en présence d'un blanc. Les concentrations en protéines sont déduites grâce à une gamme étalon établie à partir d'une solution de glucose à 1 mg/mL.

Dosage Des Sucres Totaux

La méthode utilisée est celle de [10], utilisant l'acide sulfurique et le phénol. Cent (100) microlitres d'extrait hydrosolubles de sucres sont introduits dans un tube à essai et, successivement sont ajoutés 200 µL de phénol 5% (p/v) et 1mL d'acide sulfurique concentré. Après refroidissement à l'abri de la lumière, un volume de 3,7 mL d'eau

distillée est versé dans le tube. Le spectromètre de marque Jenway Genova Plus a été utilisé pour la détermination des densités optiques à 490 nm en présence d'un blanc. Une gamme étalon est établie à partir d'une solution mère de 1 mg/mL de saccharose.

Détermination De La Teneur En Vitamine C

La méthode utilisée pour la détermination de la teneur en vitamine C est le dosage par oxydoréduction [11]. Ainsi, 5g de broyat d'échantillon sont homogénéisés dans 50 mL d'eau distillée et un volume $V_1 = 10$ ml de filtrat est dosé avec une solution de thiosulfate de sodium après ajout d'un volume $V_2 = 10$ ml de diiode et d'une goutte d'empois d'amidon. Une coloration bleu noir apparaît indiquant qu'il y a bien un excès de diiode et la solution de thiosulfate est versée jusqu'à disparition de la couleur bleu noir. Le volume de la solution de thiosulfate versé est noté V_3 . La teneur en vitamine C est exprimée en g/100g par la formule (2).

$$[\text{VitC}] = \left(\left(\frac{1}{V_1} (C_2 V_2 - \frac{C_3 V_3}{2}) \right) \times \text{MVitC} \right) \times 10 \quad (2)$$

Méthodes D'analyses Microbiologiques

L'analyse microbiologique a consisté d'une part à suivre l'évolution de la flore lactique et de déterminer la flore pathogène (salmonella, coliformes totaux, Escherichia coli et levures et moisissures).

Préparation De La Solution Mère Et Des Dilutions Décimales

La solution mère est obtenue par dilution de 10 g d'échantillon dans 90 mL d'eau peptonée tamponnée préalablement stérilisée à 121°C pendant 15 minutes. La dilution mère correspond donc à la dilution 10^{-1} . Des dilutions successives sont préparées jusqu'à la dilution 10^{-6} . Les dilutions 10^{-4} , 10^{-5} et 10^{-6} ont étéensemencées pour les bactéries lactiques et les 10^{-2} à 10^{-4} pour les bactéries pathogènes.

Ensemencement

Dénombrement des bactéries lactiques :

Le dénombrement des bactéries lactiques a été réalisé selon la norme NF ISO 15214 - 1998. L'inoculum des différentes dilutions décimales (0,1 ml) a été étalé sur le milieu Man Rogosa Sharpe (MRS) préalablement coulé dans des boîtes de Pétri puis incubées dans une jarre anaérobie à 30°C pendant 72 heures [12].

Dénombrement des levures et moisissures :

L'ensemencement des levures et moisissures a été réalisé selon la norme NF ISO 6611 - 2004. Ils sont dénombrés sur le milieu OGYEA Agar et incubé 5 à 7 jours à 30°C. A partir des dilutions décimales, 10^{-1} à 10^{-4} , 0,1ml sontensemencées aseptiquement dans une boîte de Pétri par étalement à l'aide d'un râteau stérile, puis incubées [13].

Dénombrement des Salmonella :

Recherchée sur milieu solide Salmonella Agar après un pré-enrichissement dans l'eau distillée stérile puis un enrichissement dans le bouillon au Rappaport Soy Broth. L'incubation des trois milieux se fait à 37°C pendant 24 heures.

Dénombrement Coliformes totaux et Escherichia coli :

Le milieu bilié au vert brillant (BLBVB) est utilisé pour rechercher les coliformes et les E. coli. Ainsi, 0,1 ml de chaque dilution a été étalé à l'aide d'un râteau. L'incubation s'est faite à 37°C pour les coliformes totaux et 44°C pour les E. coli pendant 24 heures.

Lecture Et Expression Des Resultats

Les boîtes retenues sont celles contenant un nombre de colonies caractéristiques compris entre 15 et 150. La charge microbienne (UFC/g) a été calculée selon l'équation (3) [14]:

$$N = \frac{\sum C}{V \cdot (n_1 + 0,1 \cdot n_2) \cdot d} \quad (3)$$

Avec $\sum C$ = somme des colonies comptées sur toutes les boîtes à la dilution retenue pour le comptage, V = volume de l'inoculum dans chaque boîte (mL), n_1 = nombre de boîtes retenues à la première dilution, n_2 = nombre de boîtes retenues à la deuxième dilution, d = taux de dilution correspondant à la première dilution retenue.

Analyses Statistiques

Le logiciel utilisé pour le traitement statistique des différents résultats a été Statistica 8. Il a été effectué un test de significativité à partir d'une analyse de variance (ANOVA) multifactorielle. En cas de différence significative, le test de Newman-Keuls a permis d'identifier les moyennes responsables de la différence observée au seuil de 5%.

Resultats Et Discussion:-

Caracteristiques Physico-Chimiques

Evolution Du Ph Et De L'acidite Lactique

La figure 2 présente l'évolution du pH des différents types de légumes au cours de la fermentation. Quel que soit le type de légumes, les pH chutent pendant les sept (7) premiers jours pour se stabiliser autour d'une valeur moyenne comprise entre 4,2 pour l'essai « tomate » et 3,6 pour l'essai « salade + ail ». D'une part, les pH des essais « tomate » et « tomate + ail » et d'autre part ceux des essais « salade » et « salade + ail » ont la même tendance. En effet, les pH des essais « tomate » et « tomate + ail » passent de $5,2 \pm 0,01$ et $5,3 \pm 0,01$ à $4,1 \pm 0,01$ après sept (7) jours de fermentation puis connaissent une légère augmentation pour être constant à 14 et 21 jours de fermentation ($4,2 \pm 0,01$ et $4,3 \pm 0,01$). Quant aux pH des essais « salade » et « salade + ail », ils baissent respectivement de $6,1 \pm 0,01$ et $6,2 \pm 0,01$ à $3,4 \pm 0,01$ à sept (7) jours de fermentation ; puis augmentent légèrement pour être constant à 14 et 21 jours de fermentation avec des pH respectifs de $3,5 \pm 0,01$ et $3,6 \pm 0,01$. Toutefois les courbes relatives aux essais salades (« salade » et « salade + ail ») décroissent plus rapidement que celles des essais tomates (« tomates » et « tomates + ail »). Cette observation peut être due à la combinaison du chou et de la carotte qui donnent une fermentescibilité relativement plus élevée que les autres légumes car ils contiennent plus de saccharides fermentescibles [6]. Les analyses statistiques effectuées ont montré que seul le temps de fermentation à une influence sur le pH, car il apparaît une différence significative entre les moyennes de pH qui y sont obtenues ($p = 0,00$). Le test de Newman-Keuls regroupe ces moyennes en deux (2) groupes homogènes qui permettent de distinguer les légumes crus (T 0j) des légumes fermentés (T 7j, T 14j et T 21j). Les résultats obtenus sont en accord avec ceux de [15] qui a montré que lors de la fermentation lactique le pH est principalement influencé par le temps et la température. Notons qu'il n'y a pas de différence significative entre les moyennes des trois temps de fermentation. Par conséquent, le pH est sensiblement le même quel que soit le temps de fermentation appliqué. Les pH à sept (7) jours de fermentation des légumes (« tomate » et « tomate + ail » : 4,1 ; « salade » et « salade + ail » : 3,4) étant inférieur à 4,2 qui est le pH de fin fermentation [16]; ces légumes fermentés pourraient non seulement être consommables après sept (7) jours de fermentation mais aussi se conserver sur une longue durée. L'acidification est en effet un paramètre important à suivre, puisqu'elle assure la sécurité du produit. La valeur critique du pH doit être de 4,4 afin d'inhiber la croissance de bactéries pathogènes telles que *Clostridium botulinum* et *Listeria monocytogenes*.

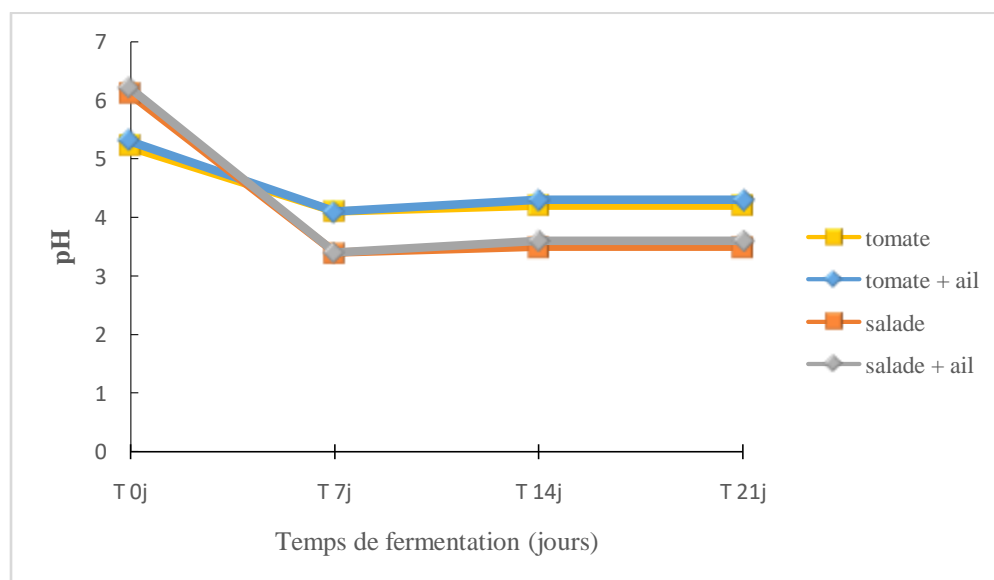


Figure 2:- Evolution du pH au cours du temps de fermentation selon le type de légumes.

L'évolution de la teneur en acide lactique des différents types de légumes au cours du temps de fermentation est présentée dans la figure 3. Pour chaque type de légumes le pic d'acide lactique est atteint à sept (7) jour de fermentation avec une valeur de l'acidité allant de $21 \pm 1,04$ méq.g/100g pour l'essai « tomate » à $40,2 \pm 1,04$ méq.g/100g pour « salade ». Après sept (7) jours de fermentation les teneurs en acide lactique baissent jusqu'à atteindre des valeurs comprises entre 32,4 méq.g/100g pour « salade » et 16,8 $\pm 1,04$ méq.g/100g pour l'essai « tomate » à 21 jours de fermentation. [17], a indiqué, dans son étude traitant de l'impact des paramètres de fabrication sur les légumes fermentés, que la concentration en acide lactique atteignait un pic 3,6 méq.g/100g à environ 13 jours de fermentation. Cette différence pourrait s'expliquer par les conditions mises en œuvre dans chaque expérience. Les différences majeures entre les expérimentations sont le légume fermenté (chou) et la température de fermentation (19 °C). De plus, selon la littérature, les températures élevées de fermentation provoquent une production accélérée d'acide.

Contrairement à l'analyse du pH où seul le temps de fermentation exerçait une influence avec deux (2) groupes homogènes ; pour l'acidité lactique, le type de légumes a également un effet sur l'évolution de l'acide lactique ($p=0,01$) en plus de celui du temps de fermentation ($p=0,00$). Le test de Newman-Keuls réalisé regroupe les moyennes d'acide lactique des différents légumes en deux (2) groupes homogènes distinguant les types de légumes « salade » de ceux « tomate » ; avec toutefois une similitude entre les moyennes de l'essai « salade + ail » et celles des types de légumes « tomate ». Cette similitude pourrait être expliquée par l'ajout de l'ail comme épices.

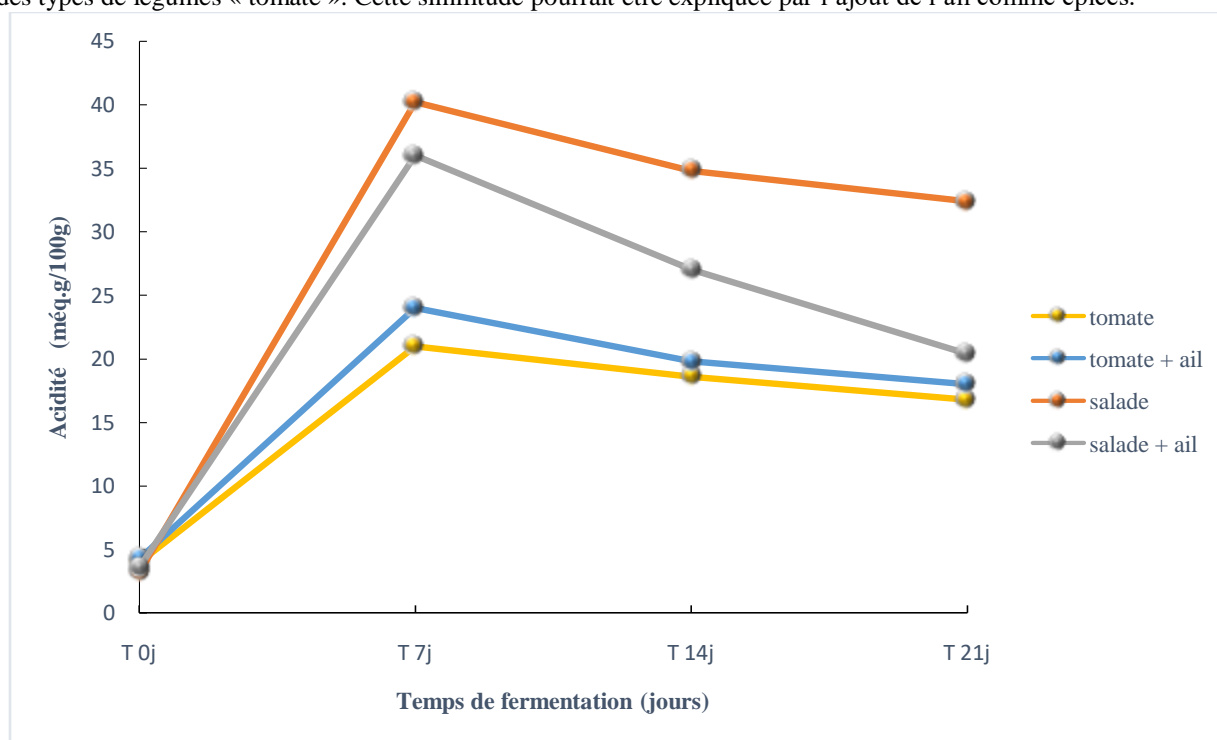


Figure 3:- Teneur en acide lactique au cours du temps de fermentation selon le type de légumes.

Evolution De La Teneur En Cendres

La teneur en cendres de tous nos essais a été augmentée au cours de la fermentation (figure 4). Les valeurs maximales varient entre $1,86 \pm 0,4$ % et $2,38 \pm 0,2$ % qui sont les taux de cendres respectif des essais « salade » et « salade + ail ». Seul le temps de fermentation a une influence significative ($p=0,00$) sur le taux de cendres. Le test de Newman-Keuls regroupe les moyennes obtenues en trois (3) groupes homogènes que sont les essais non fermentés ; les essais à sept (7) jours et ceux à 14 jours de fermentation ; et les essais à 21 jours de fermentations. En comparant les taux de cendres initiales avec ceux obtenus à 21 jours de fermentation l'on constate que plus grande est la durée de fermentation plus grande est le taux de cendres.

L'un des avantages de la fermentation lactique est l'amélioration de la disponibilité des minéraux [3] ; ce qui pourrait expliquer l'augmentation de la teneur en cendres en plus de l'utilisation du sel (NaCl).

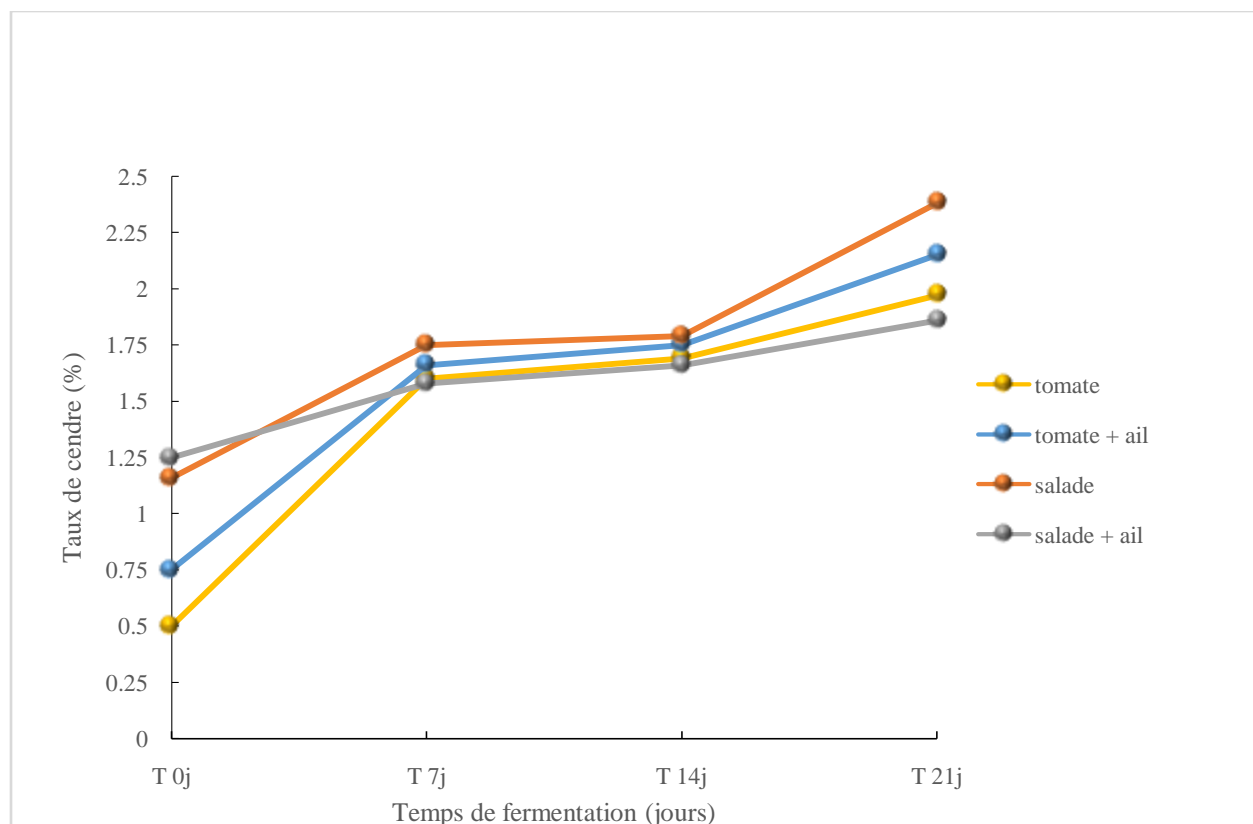


Figure 4:- Evolution de la teneur en cendres au cours du temps selon le type de legumes.

Caracteristiques Biochimiques

Evolution De La Teneur En Sucres Reducteurs Et Totaux

Les figures 5 et 6 montrent l'évolution de la teneur en sucres réducteurs et sucres totaux au cours du temps. Les tendances observées dans tous les essais sont une diminution progressive de la teneur en sucres réducteurs et sucres totaux au cours des sept (7) premiers jours de fermentation, suivi d'une légère diminution des teneurs jusqu'à 21 jours de fermentations. Les essais « salade » ($11,87\text{g}/100\text{g} \pm 0,02$ et $13,36\text{ g}/100\text{g} \pm 0,03$) et « salade + ail » ($12,18\text{ g}/100\text{g} \pm 0,02$ et $14\text{ g}/100\text{g} \pm 0,02$) ont une concentration initiale en sucres beaucoup plus élevée que les essais « tomate » ($2,6\text{g}/100\text{g} \pm 0,02$ et $3\text{g}/100\text{g} \pm 0,03$) et « tomate + ail » ($2,75\text{ g}/100\text{g} \pm 0,02$ et $3,10\text{g}/100\text{g} \pm 0,04$). De ce fait, la concentration en sucres observée après fermentation des essais « salade » et « salade + ail » est plus élevée que celle des essais « tomate » et « tomate + ail », ce qui favorise probablement un démarrage plus rapide de la fermentation.

Le temps de fermentation a un effet significatif sur la teneur des sucres ($p=0,00$) avec des moyennes qui se regroupent en deux (2) groupes homogènes. Ses groupes sont : les essais non fermentés (0 jours) et les essais fermentés (7, 14 et 21 jours). Ainsi la baisse de la concentration en sucres des essais est plus prononcée à sept (7) jours de fermentation.

Cette perte en sucres est due probablement à leur utilisation par les bactéries lactiques comme source de carbone pour la croissance et la production des métabolites notamment l'acide lactique. En outre, l'étude menée par [18] a montré que *L. acidophilus* et *L. plantarum* utilisent le sucre de jus de tomate pour leur propre métabolisme fermentaire, c'est-à-dire pour la production d'acide lactique.

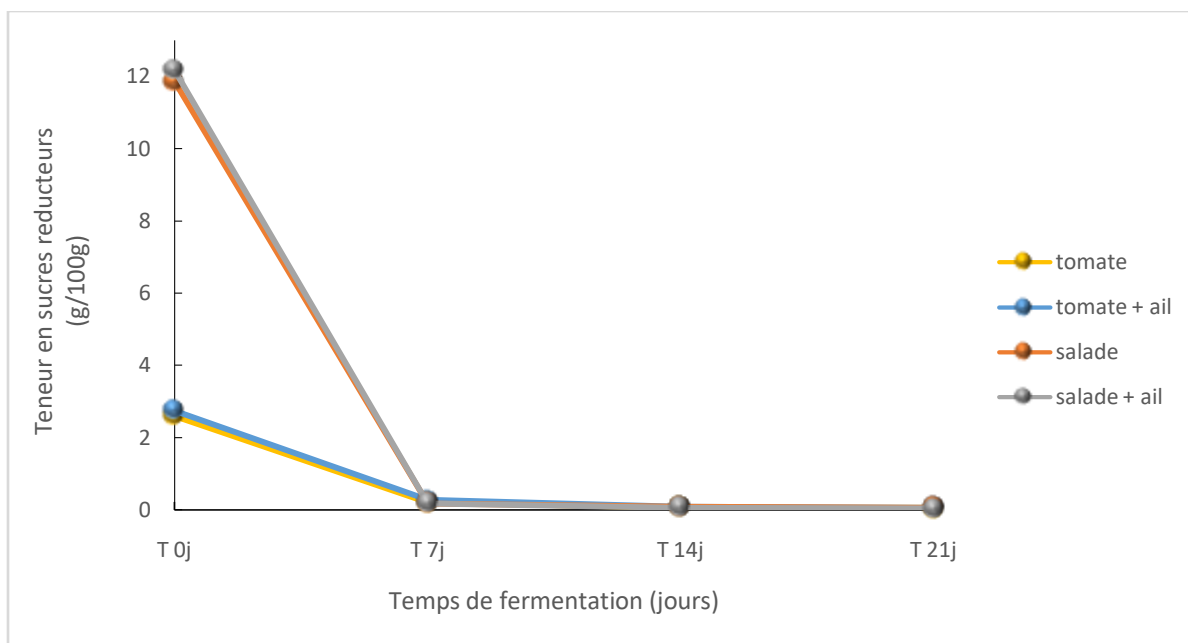


Figure 5:- Evolution de la teneur en sucre réducteurs au cours du temps de fermentation.

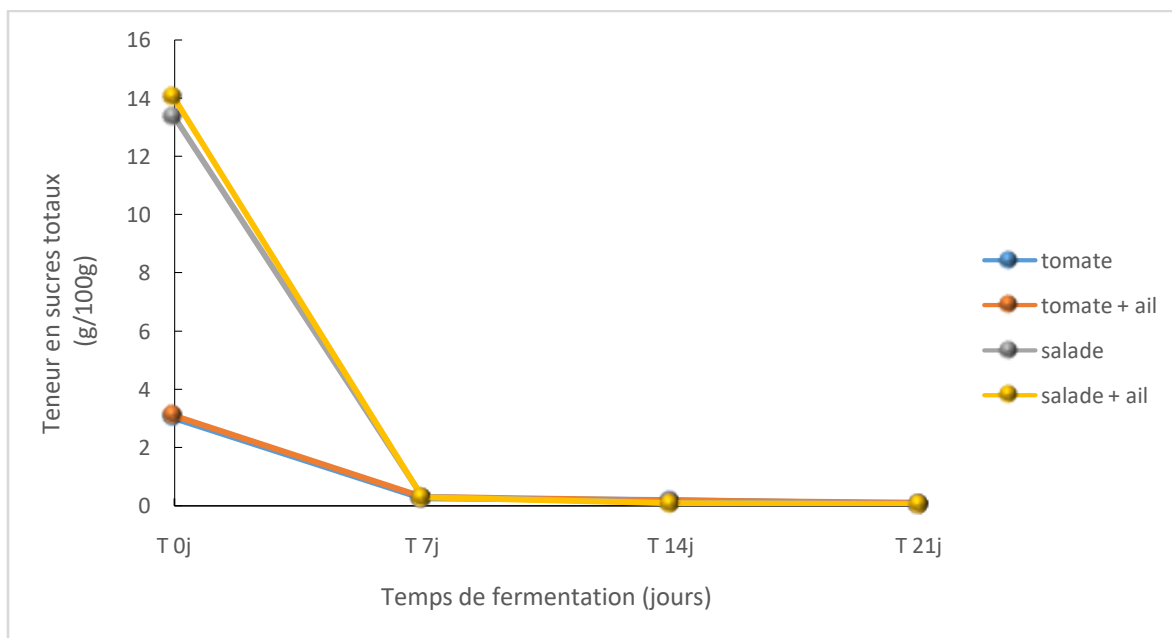


Figure 6:- Evolution de la teneur en sucres totaux au cours du temps.

Evolution De La Teneur En Vitamine C

L'évolution de la teneur en vitamine C est représentée dans la figure 7. Il apparaît que la fermentation a augmenté la teneur en Vitamine C dans tous les essais, même si cette teneur a baissé au cours du temps de fermentation. Après réalisations du test d'ANOVA, il a été constaté que seul le temps de fermentation a un effet significatif sur la teneur en Vitamine C ($p=0,00$). Les moyennes de cet effet regroupées en trois (3) groupes homogènes, par le test de Newman-Keuls permettent de distinguer les essais non fermentés, les essais à sept (7) jours de fermentations. Contrairement à l'évolution du taux de cendre, la teneur en Vitamine C est plus élevée ($0,87 \pm 0,03$ g/100g pour « tomate » à $1,44 \pm 0,03$ g/100g pour « tomate + ail ») lorsque le temps de fermentation est court (7 jours). Une étude du projet FLEGME sur l'intérêt nutritionnel des légumes fermentés a montré que la fermentation permet de maintenir les teneurs en vitamine C des légumes, voire de l'améliorer dans le

chou [19]. L'augmentation de la teneur en vitamine C serait dû au développement des bactéries lactiques qui sécrètent des vitamines hydrosolubles. En effet, certaines souches de bactéries lactiques peuvent synthétiser des vitamines du groupe B (B12, B3, B2, biotine et acide folique), parfois la vitamine C et la vitamine K [20]. Cependant, la variation de la teneur en vitamine dans les légumes fermentés est influencée par plusieurs facteurs qui incluent la matière première utilisée, le traitement qu'elle a subi, les microorganismes responsables de la fermentation, etc. [3]. Dans le cas présent, la baisse de la teneur en vitamine C à 14 et 21 jours de fermentation pourrait venir de la température élevée de fermentation (32,02°C) et d'une trop longue exposition à la lumière [3]. Les différents légumes fermentés de cette étude peuvent porter l'allégation « source de vitamine C », voire « riche en vitamine C » d'après le règlement CE 1924/2006 de la réglementation européenne, ce qui n'est pas le cas quand ceux-ci sont crus.

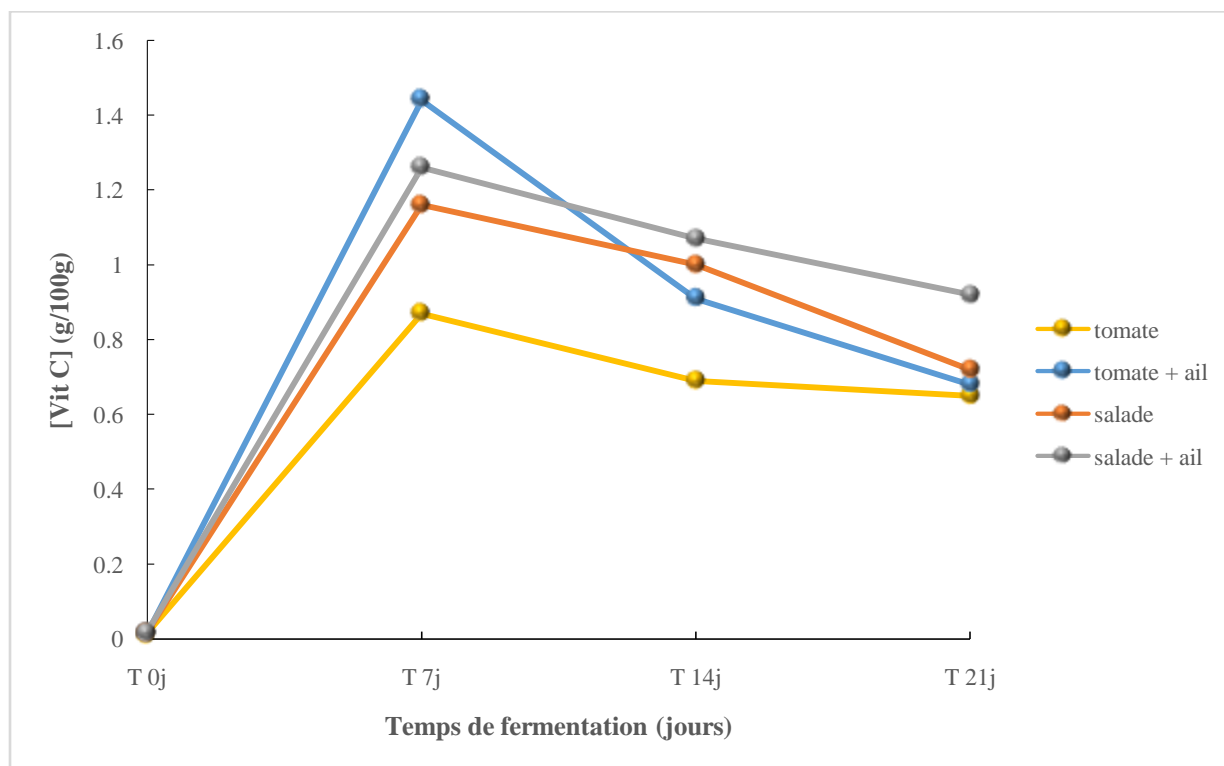


Figure 7:- Evolution de la teneur en Vitamine C au cours du temps de fermentation selon le type de légumes.

Evolution De La Teneur En Proteines

Les résultats obtenus après détermination de la teneur en protéines sont représentés dans la figure 8. Deux tendances se dégagent de la figure : une baisse de la teneur en protéines due à la fermentation et une légère augmentation de la teneur en protéine au cours du temps de fermentation. En effet, les sept (7) premiers jours, la teneur en protéines est passée de $2,26 \pm 0,02$ g/100g à $0,2 \pm 0,02$ g/100g pour l'essai « salade » et de $2,61 \pm 0,01$ g/100g à $0,18 \pm 0,01$ g/100g pour « salade + ail ». Les essais « tomate » et « tomate + ail » sont respectivement passés de $0,5 \pm 0,01$ g/100g à $0,11 \pm 0,01$ g/100g et de $0,55 \pm 0,02$ g/100g à $0,12 \pm 0,02$ g/100g. L'ANOVA réalisée nous montre que c'est uniquement le temps de fermentation qui influence statistiquement la concentration en protéine ($p=0,02$). Cette influence est classée en deux groupes homogènes grâce au test de Newman-Keuls réalisé sur ses moyennes. Ainsi, nous pouvons distinguer les essais à zéro (0) jours de fermentation des essais à sept (7), 14 et 21 jours de fermentation. Ce qui signifie que la teneur en protéine baisse dans les sept (7) premiers jours de la fermentation mais ne varie statistiquement pas après sept (7) jours. Cette dégradation des protéines pourrait révéler une activité métabolique importante des bactéries lactiques responsables de la fermentation, pouvant aboutir à la formation de nouveaux métabolites secondaires très bénéfiques à la croissance notamment les acides gras, les vitamines, les oligoéléments, etc. [21]. [22] a également remarqué une diminution des teneurs en protéines et en lipides de chou au cours de la fermentation par un taux pris de 60%.

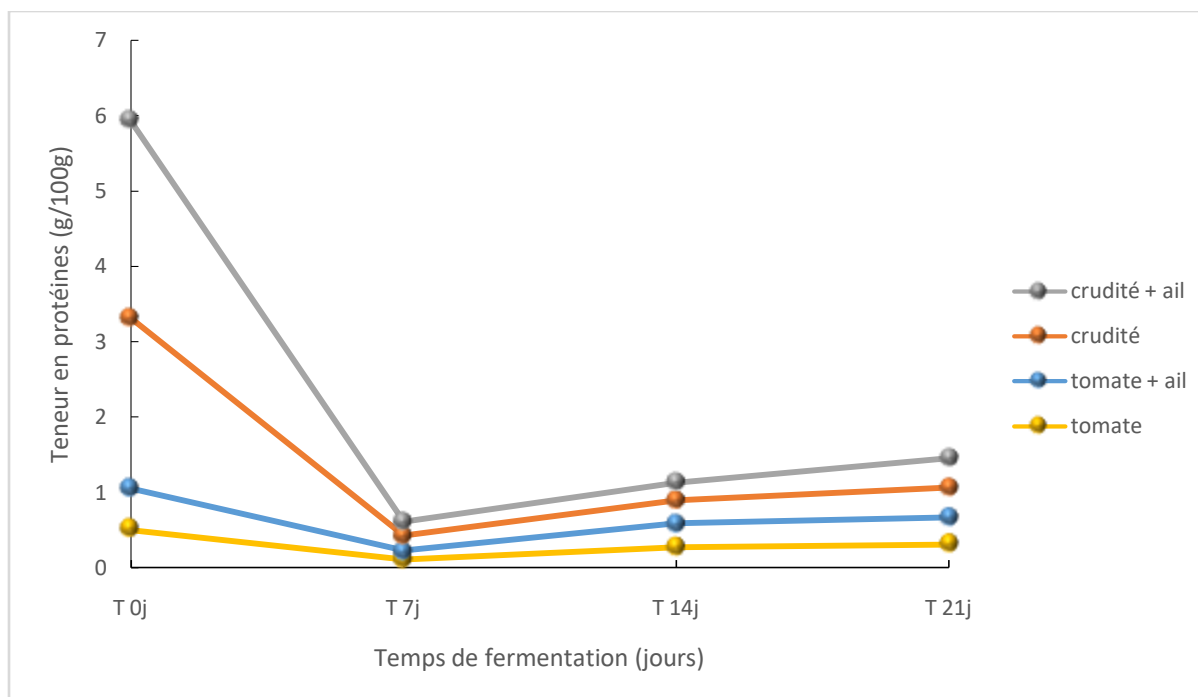


Figure 8:- Evolution de la teneur en protéines selon le type de légumes.

Caractéristiques Microbiologiques

Les analyses microbiologiques réalisées sur les légumes crus et les légumes fermentés ont porté sur les microorganismes pathogènes : Salmonella, les levures et moisissures, Coliformes totaux et E. coli ; et sur les bactéries lactiques. Les résultats obtenus pour les microorganismes pathogènes sont consignés dans le tableau I et ceux des bactéries lactiques sont représentés dans la figure 9. Pour tous les essais, la concentration de bactéries lactiques augmente rapidement durant les sept (7) premiers jours de fermentation pour atteindre une valeur moyenne comprise entre $7,47 \pm 0,01$ UFC/g (log10) et $7,65 \pm 0,01$ UFC/g (log10) ; avec « salade » ayant la plus forte valeur et « salade + ail » la plus faible. La concentration de bactéries lactiques baisse, ensuite jusqu'à $7 \pm 0,04$ UFC/g (log10) pour « tomate », $7,27 \pm 0,04$ UFC/g (log10) pour « tomate + ail », $7,12 \pm 0,03$ UFC/g (log10) pour « salade » et $6,94 \pm 0,04$ UFC/g (log10) pour « salade + ail », après 21 jours de fermentation. L'augmentation de la concentration de bactéries lactiques, après sept (7) jours de fermentation, peut s'expliquer par le fait que le milieu est favorable à la croissance des bactéries lactiques, à la suite du salage et à l'anaérobie du milieu. Cette augmentation est le signe que la fermentation a bien démarré. L'ANOVA des essais, réalisée au seuil de 5%, montre que les deux paramètres (temps de fermentation et types de légumes) ont un effet significatif sur la concentration de bactéries lactiques ($p = 0,00$; $p = 0,012$). Selon le test de Newman-keuls, les moyennes du temps de fermentation peuvent être rassemblées en quatre (4) groupes homogènes correspondant aux trois temps de fermentation et au jours zéro (0). Ainsi, chacun des temps de fermentation à un effet sur la baisse des populations de bactéries lactiques observée. Cet effet viendrait de la température élevée de fermentation $32,02^\circ\text{C}$ qui avec le temps pourrait constituer des conditions stressantes pouvant entraîner la mort des bactéries ou les faire passer au stade viable mais non cultivable. La littérature renseigne une gamme de température idéale pour les bactéries lactiques comprise entre 15 et 25°C [23] et [24]. Par exemple, [24] a prouvé, dans son article traitant de l'effet de la température sur les produits fermentés, que la température idéale de fermentation était de 20°C (obtenu après 15 jours). Nonobstant cela, la concentration de bactéries lactiques obtenue dans cette étude concorde avec les données disponibles dans la littérature. L'abondance des bactéries lactiques a été décrites dans divers échantillons de légumes fermenté et variaient entre 3 à 8 UFC/g (log10) et <1 à 8 UFC/g (log10) pour d'autres Légumes fermentés comme le kimchi et les concombres/cornichons [25].

Le type de légumes est rassemblé en deux (2) groupes homogènes grâce au test de Newman-Keuls sur les moyennes de ce paramètre. Ses deux groupes sont : « salade + ail » et « tomate » d'une part, et « salade » et « tomate + ail » d'autre part. nous remarquons que la concentration de bactéries lactiques dépend du légume choisi et de la composition faite.

La croissance des bactéries lactiques est corrélée à une diminution de pH comme montré dans les figures 3 et 5. Quant à la production d'acide, elle dépend de la concentration de bactéries viables capables d'utiliser les sources de glucides disponibles dans le substrat [6].

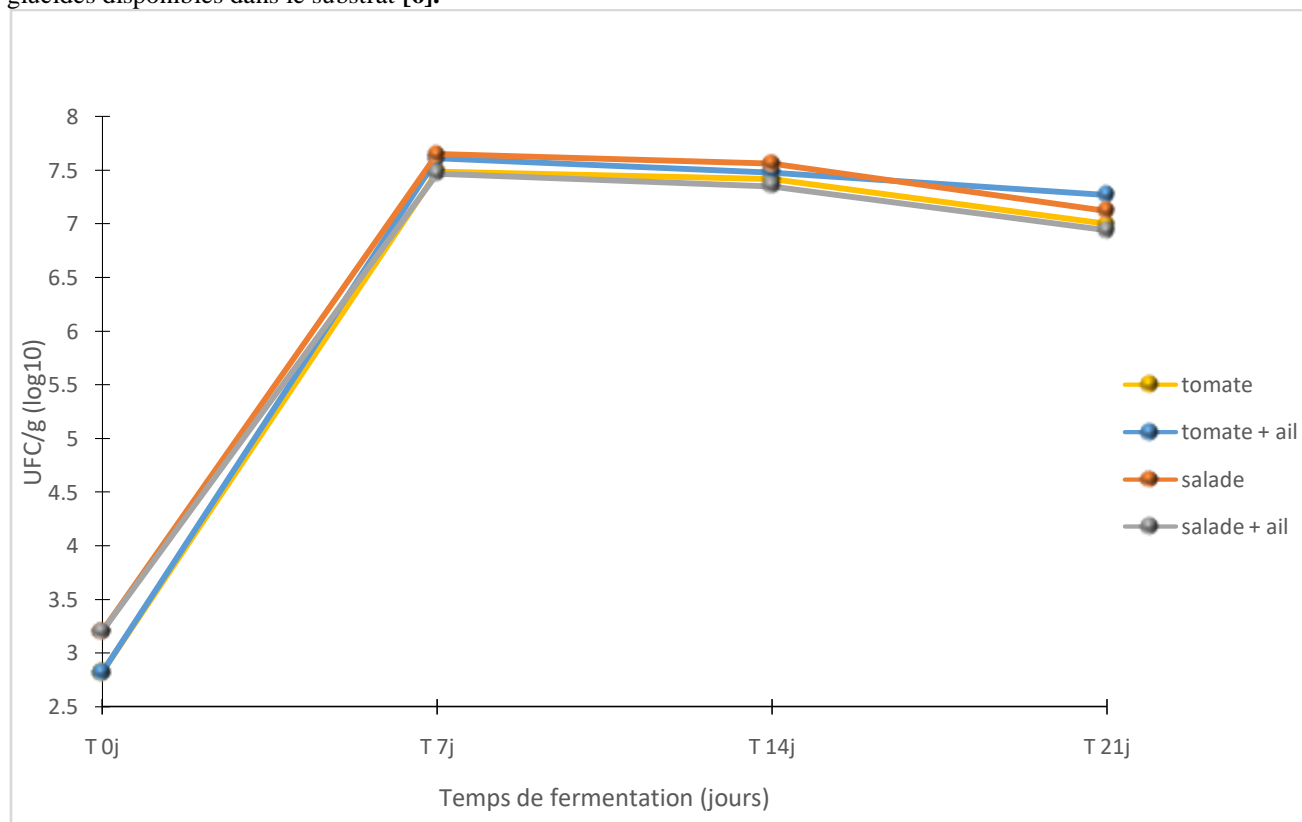


Figure 9:- Evolution moyenne des bactéries lactiques au cours du temps de fermentation selon le type de légumes.

En ce qui concerne le dénombrement des bactéries pathogènes, le tableau I montre que pendant les sept (7) premiers jours de fermentation aucune colonie de coliformes totaux ni de levures et moisissures n'a été détectée en dessous du seuil de détection. C'est également le cas pour les essais « tomate », « tomate + ail » et « salade + ail » après 14 jours de fermentation. Dans l'essai « salade », la concentration des coliformes totaux et de levures et moisissures a augmenté avec une valeur respective de 1.10^6 UFC/g et 2.10^6 UFC/g. La concentration de levures et moisissures a aussi été augmenté dans les essais de « salade » (3.10^6 UFC/g) et « salade + ail » (2.10^6 UFC/g) de 21 jours de fermentation traduisant une température de fermentation trop élevée et la probable introduction d'air dans les bocaux. Ce qui pourrait expliquer la baisse des concentrations de bactéries lactiques dans ces essais. En revanche, les coliformes totaux n'ont pas été détectés à ce temps de fermentation. De la même manière aucun *E. coli* et *Salmonella* n'ont été détectés dans tous les essais quel que soit le temps de fermentation.

L'absence, dans tous les essais, de *E. coli* et *Salmonella* ainsi que les coliformes totaux non détectés peut-être dû à l'acidification rapide des matrices alimentaires qui inhibe le développement de ces micro-organismes. De plus, les bactéries lactiques peuvent produire des composés antimicrobiens qui permettent d'inhiber la croissance de ces pathogènes [26]. La seule concentration de coliformes totaux obtenus est vraisemblablement due à une mauvaise manipulation des échantillons lors des analyses.

Tableau I:- Evolution des microorganismes pathogènes au cours du temps.

Temps de fermentation (jours)	Types de légumes	Nombre de germes comptés UFC/g			
		Levures et moisissures	Salmonella	Coliformes totaux	E. coli
0	Tomate	2.10^2	Absence	5.10^3	Absence
	Tomate + ail	2.10^2		4.10^3	
	Salade	3.10^2		2.10^3	

	Salade + ail	2.10^2		9.10^2	
7	Tomate	<15	Absence	<15	Absence
	Tomate + ail				
	Salade				
	Salade + ail				
14	Tomate	<15	Absence	<15	Absence
	Tomate + ail	<15		<15	
	Salade	1.10^6		2.10^6	
	Salade + ail	<15		<15	
21	Tomate	<15	Absence	Absence	Absence
	Tomate + ail	<15			
	Salade	3.10^6			
	Salade + ail	2.10^6			
Critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires		-	Non détectés dans 25g	-	≤ 100 UFC/g

Conclusion:-

Cette étude visait à valoriser les fruits et légumes locaux par la lactofermentation. Quatre types de légumes (« tomate », « tomate + ail », « salade », « salade + ail ») ont été fermentés avec des saumures à 1 % et 2 %. La fermentation a diminué le pH, augmenté l'acidité lactique, et atteint un pH stable après 7 jours. La teneur en cendres et en vitamine C a augmenté, tandis que les sucres et protéines ont diminué, indiquant une forte activité bactérienne. Les bactéries lactiques ont baissé avec le temps, mais l'absence de pathogènes (*E. coli*, *Salmonella*) confirme l'innocuité des produits. Les levures n'ont été détectées qu'après 14 et 21 jours dans certains cas. Les légumes fermentés offrent des atouts : conservation longue, richesse en vitamine C et naturalité. Il reste à évaluer leur acceptabilité sensorielle, soulignant leur potentiel pour des systèmes alimentaires durables.

Remerciements:-

Nos remerciements sont à l'endroit des laboratoires de Biochimie et de Microbiologie du LAPISEN qui ont fourni les réactifs nécessaires à la réalisation des différentes analyses.

References:-

- [1] Kinkela Savy Sunda (2001) L'apport du maraîchage dans la lutte contre l'insécurité alimentaire à Kinshasa, in K. Mukadi and E. Tollens (Eds), pp. 225–264.
- [2] Tano, K., & Bancal, V. (2019). Etude des modalités de réduction des pertes après récoltes dans les cultures maraîchères en Côte d'Ivoire, Rapport d'expertise 010, FIRCA/CIRAD 91p.
- [3] Nout, R., Hounhouigan, J. D., & Van Bookel, T. (2003) LES ALIMENTS, Transformation, Conservation et Qualité. Backhuys Publishers et CTA. 276p.
- [4] Gustavsson, J., Cederberg, C. and Sonesson, U. (2011) Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes and Prevention. Study Conducted for the International Congress Save Food! At Interpack, Düsseldorf, Germany. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 38p.
- [5] Briele, N. V. (2022). Caractérisation de l'évolution microbiologique et physico-chimique de carottes fermentées au cours du temps [Master en bioingénieur, Université de Liège]. 91p. <https://matheo.uliege.be/handle/2268.2/14922>
- [6] Urbonaviciene, D., Viskelis, P., Bartkiene, E., Juodeikiene, G., & Vidmantienė, D. (2015). The Use of Lactic Acid Bacteria in the Fermentation of Fruits and Vegetables-Technological and Functional Properties. In D. Ekinci (Ed.), *Biotechnology*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/59938>
- [7] AOAC (Association of Official Analytical chemists) (1980), Official methods of analysis (13th ed) Washington, DC, USA.
- [8] Thorne, C. J. R. (1978); in: *Techniques in Protein and Enzyme Biochemistry* (Kornberg, H. L., et al. eds.), Pt. 1, B 104, Elsevier-North Holland, Amsterdam, pp 1-18.
- [9] BERNFELD D. (1955), Amylase β et α , In *method in enzymology* 1, Colowick S.P. and Kaplan N.O., Academic Press, New York, pp. 149-154.

- [10] Dubois M., GILLES K., HAMILTON J., REBERS P. et SIMITH F. (1956), Colorimetric method for determinations of sugars and related substances, *Anal. Chim.*, 280, pp. 350- 356.
- [11] Cachau-Herreillat D. (2009). Des expériences de la famille acide-base, 3e Édition 366 pp.
- [12] Boli, Z. B. I. A., Goly, K. R. C., N'Sa, K. M. C., Kouacou, Y. S. S. H., & Koffi-Nevry, R. (2023). Variation des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques au cours de la production du ferment traditionnel des racines de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) bouillies avec la pelure. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 17(3), 1163-1179. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v17i3.31>.
- [13] Lebres A.D et Hamza A. (2002). Cours national d'hygiène et de microbiologie des aliments (Microbiologie des laits et produits laitiers), Institut Pasteur d'Algérie. pp : 704-706.
- [14] Gasmi, M., & Khadir, K. (2020). Isolement et dénombrement des bactéries lactiques de la viande de dromadaire réfrigérée [Thesis, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA]. 109 p. <http://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/handle/123456789/24708>.
- [15] Nathan V. B. (2022) Caractérisation de l'évolution microbiologique et physicochimique de carottes fermentées au cours du temps, Travail de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de master bioingénieur en sciences agronomiques, Université de Liège Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT), 93 p.
- [16] Begriche, L. (2021). Impact des paramètres de fabrication sur la composition microbiologique et physico-chimique des légumes fermentés [Master sciences, technologies, santé]. UNIVERSITE DE RENNES I. 34 p.
- [17] Hutkins, R. W. (2018). *Microbiology and Technology of Fermented Foods*, 2nd Edn. Hoboken, NJ: Wiley. 624 p.
- [18] Kumar, R., Arora, S., and Singh, S. (2016). Formation and Development of Herbal cucumber Gel For Sunscreen and Anti-oxidant Activities. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 5, 747-758.
- [19] Baty-Julien, C., Thierry, A., & Valence-Bertel, F. (2021). PROJET FLEGME : Intérêt nutritionnel des légumes fermentés.
- [20] Ettoumi, Y. L., & Mourad, S. (2011). Caractérisation physicochimique et biochimique d'un aliment fermenté traditionnel d'origine céréalière dans la région d'Ain Defla : Cas de Berouil. [Master II en biologie]. Université de Hassiba Ben Bouali Chlef. 93 p.
- [21] Lortal, S., Mecherfi, K.-E. E., Mariotti, F., Eutamène, H., Rul, F., Champomier-Vergès, M.- C., & Savary-Auzeloux, I. (2020). Aliments fermentés & bénéfices santé : Un défi pour la recherche. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 55(3), 136-148. <https://doi.org/10.1016/j.cnd.2020.02.004>.
- [22] Arachiche, A., & Ghessab, K. (2018). Caractérisation de la flore d'une choucroute locale et évaluation de sa valeur nutritive [Mémoire de fin d'étude, Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana]. 93 p. <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/2396>.
- [23] Matejčková Z., Liptáková D., Spodniaková S. & Valík E. (2016). Characterization of the growth of *Lactobacillus plantarum* in milk in dependence on temperature. *Acta Chim. Slovaca* 9(2), 104–108, DOI:10.1515/acs-2016-0018.
- [24] He Z, Chen H, Wang X, Lin X, Ji C, Li S, Liang H. (2020). Effects of different temperatures on bacterial diversity and volatile flavor compounds during the fermentation of suancai, a traditional fermented vegetable food from northeastern China. *LWT* 118:108773.
- [25] Picard, O. (2020). Impact des paramètres de fabrication des légumes fermentés sur leur composition microbiologique : Caractérisation par approche culture-dépendante des populations de micro-organismes dans divers légumes fermentés [Master sciences, technologies, santé]. UNIVERSITE DE RENNES I. 36 p.
- [26] Dortu, C., & Thonart, P. (2009). Les bactériocines des bactéries lactiques : Caractéristiques et intérêts pour la bioconservation des produits alimentaires. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 13(1). <https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=3626>.